

## INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

CONFIDENTIAL

50X1-HUM

COUNTRYUSSR

REPORT

SUBJECT Pamphlets on Soviet Prestressed Concrete Fabrication

DATE DISTR. 31 Dec 1959

NO. PAGES 2

REFERENCES

DATE OF INFO.  
PLACE &  
DATE AC

50X1-HUM

THIS IS UNEVALUATED INFORMATION

1. "NOVIYE PROSTRANSTVENNIYE STROITEL'NIYE KONSTRUKSII," AKADEMIYA STROITEL'STVA I ARKHITECTURY SSSR, LENINGRADSKIY FILIAL, 1959 50X1-HUM

"New Broad-Span Building Construction", Academy of Construction and Architecture of the USSR, Leningrad Branch, 1959

2. "DOKLADY MEZHVOZOVSKOY KONFERENTSII PO IZUCHENIYU AVTOKLAVNYKH MATERIALOV I IKH PRIMENIYU V STROITEL'STVE", LENINGRADSKIY ORDENA TRUDOVOGO KRASNOGO ZNAMENI INZHENERNOSTROITEL'NIY INSTITUT, LENINGRAD, 1959

"Reports of the Inter-College Conference on the Study of Autoclave Materials and Their Application to Construction", Leningrad (Order of Labor of the Red Banner) Engineering-Construction Institute, Leningrad, 1959

3. "ARMOTSEMENT I ARMOTSEMENTNIYE KONSTRUKSII", AKADEMIYA STROITEL'STVA I ARKHITECTURY SSSR, LENINGRADSKIY FILIAL, 1959

"Armo-Cement and Armo-Cement Construction", Academy of Construction and Architecture of the USSR, Leningrad Branch, 1959

4. "IZGOTOVLENIYE ZHELEZOBETONNYKH PANELEY V VERTIKAL'NIKH KASSETNYKH FORMAKH", NAUCHNO-ISSLEDOVATEL'SKIY INSTITUT ORGANIZATSII, MEKHAIZATSII I TEKHNIЧЕСКОY ПОМОЩЧИ STROITEL'STVU, AKADEMIYA STROITEL'STVA I ARKHITECTURY SSSR, MOSKVA, 1959

"Manufacture of Reinforced Concrete Panels in Vertical Adapter Forms", Research Institut for Management, Mechanization and Technical Assistance in Construction, Academy of Construction and Architecture of the USSR, Moscow, 1959

5. "PRIMENIENIYE SBORENYKH ZHELEZOBETONNYKH NAPRYAZHENNOARMIROVANNYKH KONSTRUKTSIY", SERIYA - STROITEL'NAYA PROMYSHLENNOST', VIPUSK 17, LENINGRADSKIY DOM NAUCHNOTEKHNIЧЕСКОY PROPAGANDY, 1957

"Utilization of Assembled Prestressed Reinforced Concrete Structures", Series - Construction Industry, No 17, Leningrad House of Scientific-Technical Propaganda, 1957

50X1-HUM

CONFIDENTIAL

STATE	ARMY	NAVY	AIR	FBI	AEC					50X1-HUM
-------	------	------	-----	-----	-----	--	--	--	--	----------

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

## C O N F I D E N T I A L

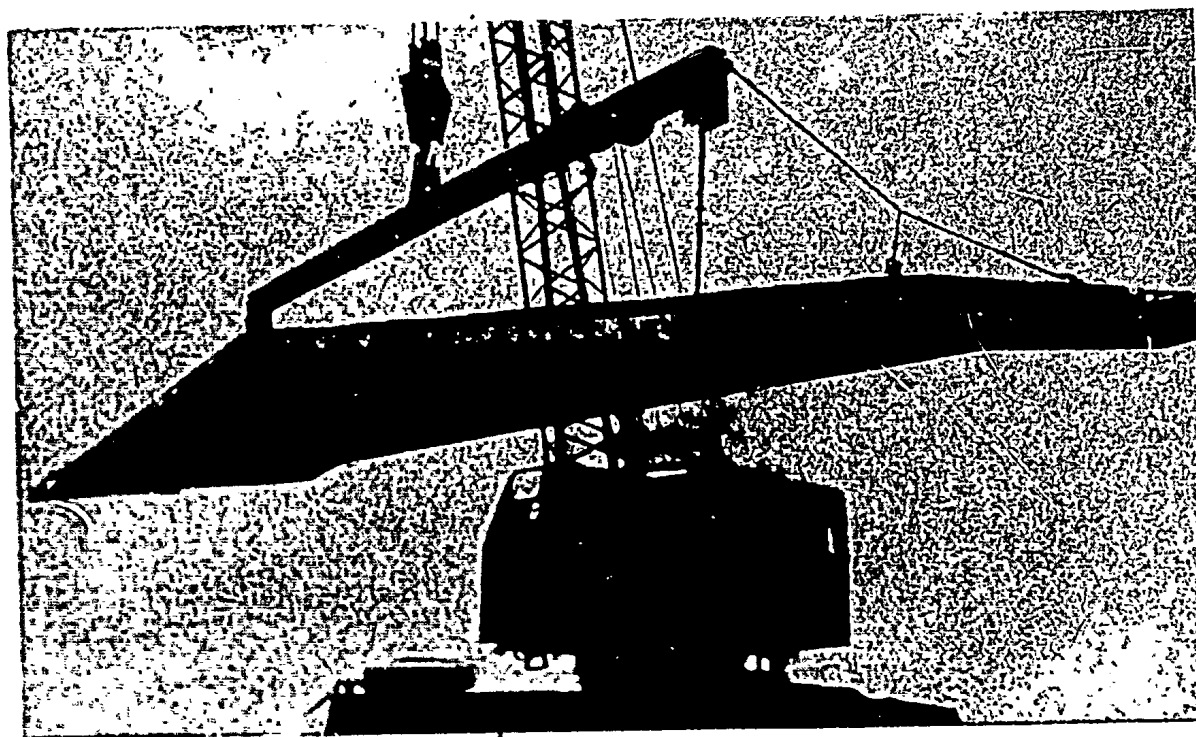
- 2 -

6. "NEKOTORYYE OSOBENOSTI PROIZVODSTVA KRUPNYKH STENOVYKH BLOKOV IZ GAZOBETONA", SERIYA - STROITEL'NAYA PROMYSHLENNOST', VYPUSK 18, LENINGRADSKIY DOM NAUCHNO-TEKHNICHESKOY PROPAGANDY, 1959  
 "Some Characteristics of the Production of Large-Scale Wall Blocks from Gas-Concrete", Series - Construction Industry, No 18, Leningrad House of Scientific-Technical Propaganda, 1959
7. "ZAVOD ZHELEZOBETONNYKH KONSTRUKTSIY NO. 6", MOSKVA, 1957  
 "Precast Reinforced Concrete Plant No. 6, Moscow, 1957 (Brochure)
8. "Precast Reinforced Concrete Works No. 6" (Pamphlet in English)
9. "LENINGRADSKIY ZAVOD ZHELEZOBETONNYKH IZDELII IMENI 40-LETIYA KOMSOMOLA", LENINGRAD, 1959  
 "The Leningrad Precast Reinforced Concrete Factory Named After The 40th Anniversary of the Komsomol" (Brochure)
10. "DOMOSTROITEL'NIY KOMBINAT GLAVLENINGRADSTROYA V AVTOVE", 1959  
 "Home-Construction Combine of the Glavleningradstroy in Avtovo", 1959 (Pamphlet)
11. "DOMOSTROITEL'NIY KOMBINAT GLAVLENINGRADSTROYA V OBUKHOVE", 1959  
 "Home-Construction Combine of The GLAVLENINGRADSTROY IN OBUKHOVO", 1959 (Pamphlet)
12. "DOMOSTROITEL'NIY KOMBINAT OF THE GLAVLENINGRADSTROYA V POLYSTROVE", 1959  
 "Home-Construction Combine of THE GLAVLENINGRADSTROY IN POLYSTROVO", 1959 (Pamphlet)] UNCLASSIFIED]

- end -

C O N F I D E N T I A L

# АРМОЦЕМЕНТ И АРМОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



Ленинград 1959

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР  
Ленинградский филиал

---

# АРМОЦЕМЕНТ И АРМОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

*Сборник статей*

ИЗДАНИЕ РЕДАКЦИИ ЖУРНАЛА  
„БЮЛЛЕТЕНЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ“  
ГЛАВЛЕНИНГРАДСТРОЯ  
Ленинград 1959

Научный редактор *канд. техн. наук М. А. Плакида*

---

В сборнике помещены материалы по вопросу армоцемента и армоцементных конструкций, разработанные Академией СнА в содружестве с Главленинградстроем

Брошюра содержит доклады, заслушанные на совещании в августе месяце 1958 года при Ленфилиале АСнА СССР

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

По инициативе Ленинградского филиала Академии строительства и архитектуры СССР в августе 1958 г. в Ленинграде было (впервые в Советском Союзе) организовано и проведено совещание, посвященное вопросам изучения армоцемента, как строительного материала, армоцементных конструкций и сооружений.

В совещании приняли участие представители строительных Министерств, Академии строительства и архитектуры, Главленинградстроя, научно-исследовательских и проектных институтов различных ведомств, ВУЗов, а также строительных трестов и организаций Москвы, Ленинграда, Тбилиси, Куйбышева, Новосибирска и других городов.

Заслушанные доклады о ходе и развитии работ, как в области изучения свойств армоцемента, так и в области внедрения его в строительную практику, дали возможность оценить исключительный интерес, проявленный в данное время к этому новому прогрессивному материалу, обладающему ценными свойствами, позволяющими осуществлять из него сооружения минимального веса, независимо от размеров перекрываемых пролетов.

Участники совещания пришли к единому мнению об исключительно большом народно-хозяйственном значении проблемы внедрения армоцементных конструкций в отечественную строительную практику.

Наряду с целым рядом мероприятий технического и организационного характера, зафиксированных в принятой резолюции, совещание признало необходимым издание материалов по докладам в виде отдельной брошюры.

В соответствии с принятым решением в настоящем сборнике публикуются статьи, являющиеся по своему содержанию докладами организаций, а также отдельных специалистов, принимавших участие в совещании.

В статьях, помимо моментов практического характера, отражающих работу ряда организаций, направленную на внедрение в строительную практику армоцементных конструкций, значительное место отводится также и чисто теоретическим и исследовательским вопросам.

В данном случае необходимо учесть, что в нашей отечественной строительной практике армоцемент является материалом новым, пока еще недостаточно изученным. Физико-механические свойства его, как известно, резко отличаются от обычного железобетона. Армоцементные сооружения по принципам конструирования и расчета также имеют свою, свойственную только им специфику.

Учитывая эти обстоятельства, фактический материал исследовательских работ по изучению физико-механических свойств армоцемента, впервые публикуемый в настоящем сборнике, может представить известный интерес для всех специалистов, работающих в данной области.

То же самое можно сказать и о теории армоцемента, некоторые вопросы которой впервые были освещены в сообщениях докладчиков.

При ознакомлении с материалами сборника необходимо, однако, иметь в виду, что большая часть публикуемого материала освещает лишь первые результаты исследований в области армоцемента. Это дает основания полагать, что при более глубоком изучении некоторые из приведенных положений будут развиты, уточнены, а, возможно, и совсем отвергнуты. Поэтому публикуемые данные ни в коем случае не могут рассматриваться как нормативные.

Редакционная коллегия сборника надеется, что опубликование материалов совещания поможет широкому коллективу инженеров-производственников и научных работников, занимающихся армоцементом, в деле внедрения нового материала в отечественную строительную практику.

*РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ*

*Действ. член АСИА А. П. Морозов,*

*канд. техн. наук Н. Г. Базилевский, инж. Г. Ф. Волков,*

*канд. техн. наук Е. Н. Митрофанов,*

*канд. техн. наук М. А. Плахица*

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВНЕДРЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Действ. член Академии СИА СССР*

*А. П. МОРОЗОВ*

В Советском Союзе тонкостенные железобетонные оболочки получают с каждым годом все большее распространение как в типовых покрытиях для предприятий легкой индустрии, так и в виде уникальных сооружений больших пролетов и площадей. Однако в данном случае необходимо констатировать, что количество осуществленных у нас в Советском Союзе пространственных сооружений еще далеко от уровня, диктуемого экономикой данного вида строительства.

В связи с этим дальнейшее внедрение в строительную практику пространственных конструкций, изыскание новых эффективных решений и усовершенствование существующих ставит перед инженерами, работающими в этой области, важные задачи.

Одним из наиболее актуальных вопросов в разрешении этих задач является снижение веса конструкций. Как известно, характерными показателями любого железобетонного покрытия, в том числе и пространственного, считается, во-первых, приведенная толщина бетона, зависящая в основном от толщины скорлупы оболочки, и, во-вторых, расход металла на квадратную единицу перекрываемой площади.

Осуществленные за последние годы пространственные конструкции покрытий гражданских и промышленных зданий как у нас в Советском Союзе, так и за рубежом имеют толщину стенки обычно в пределах 50—75 мм. В исключительных случаях эта величина может быть снижена до 30—35 мм. Тогда приведенная толщина сооружения с учетом затраты материала на бортовые элементы, ребра жесткости и пр. выражается, как минимум, в пределах 60—70 мм.

Дальнейшее облегчение веса пространственных конструкций за счет уменьшения толщины стенки в условиях применения обычного железобетона с нормальными заполнителями наталкивается, как показал опыт, на почти непреодолимые затруднения и в большинстве случаев невозможно.

В разрешении этой первоочередной по значимости задачи переход от обычного железобетона к мелкозернистому армирован-

ному стальными сетками — армоцементу приобретает исключительную актуальность.

Первыми опытами применения армоцементных конструкций в пространственных сооружениях в Советском Союзе явились работы Ленинградского филиала Академии строительства и архитектуры, осуществленные в содружестве с Главленинградстроем.

Сектором новых железобетонных сооружений Ленфилиала АСИА был разработан ряд совершенно новых конструктивных схем и решений армоцементных покрытий промышленных и гражданских зданий с доведением толщины несущих и ограждающих элементов до минимума.

К этим конструкциям относятся армоцементные своды-оболочки двоякой кривизны, покрытия типа «волна», «границ», «бабочка», сборные тонкостенные покрытия из унифицированных элементов и другие конструктивные решения.

Единым объединяющим признаком всех этих конструкций являются оптимальные экономические показатели при сохранении необходимых статических качеств, которым должно отвечать любое правильно спроектированное пространственное сооружение.

Некоторые из этих конструкций на сегодняшний день вышли из стадии экспериментального изучения и уже внедрены в строительную практику, другие конструкции разработаны в стадии технических проектов и рабочих чертежей, третьи — находятся в процессе изучения.

Первым из осуществленных пространственных армоцементных сооружений, задуманных и спроектированных Ленфилиалом АСИА в содружестве с трестом № 105 Главленинградстроя, явилось покрытие торгового зала рынка Московского района Ленинграда.

Осуществленное в натуре покрытие торгового зала пролетом 15 м представляет собой тонкостенный армоцементный свод, имеющий в поперечном сечении волнообразное очертание. Каждый отдельный сборный элемент свода представляет собой геометрическую поверхность двоякой кривизны. В поперечном направлении ширина элемента, равная одной волне, составляет 150 см при высоте самой волны 50 см. Толщина стенок свода 20 мм.

Армирование элемента состоит из двух слоев стальной сетки из проволоки диаметром 0,7 мм и стержней диаметром 6 мм, расположенных между сетками на расстоянии 20 см в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Покрытие в целом работает как двухшарнирная арка с большим моментом инерции поперечного сечения. Распор воспринимается затяжками из круглой стали диаметром 36 мм, расположенными на взаимном расстоянии 6,0 м.

Основные технико-экономические показатели данного покрытия выражаются в следующих цифрах. Приведенная толщина кон-

струкции (армоцемента) — 3,98 см, расход металла на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади — 4,1 кг.

Экономические показатели первоначального варианта этого покрытия, запроектированного в виде сборных железобетонных арок, поддерживающих двухпустотные типовые настилы, соответственно составляли. Приведенная толщина 10,9 см, расход металла 10,4 кг на 1 м<sup>2</sup>.

Сопоставление приводимых цифр дает ясное представление о достигнутом экономическом эффекте.

До начала монтажа на полигоне было организовано испытание изготовленных армоцементных волн. Испытания производились с доведением нагрузки до разрушения испытываемого элемента, причем, как показали результаты, фактический запас прочности несколько превысил нормативный.

Дальнейшее практическое применение армоцементных конструкций, разработанных Ленфилиалом АСИА в содружестве с трестом № 105 Главленинградстроя имело место уже в области жилищного строительства как совершенно новое решение проблемы кровельного покрытия жилого дома.

Необходимо напомнить, что первые опыты использования железобетона для кровельных покрытий жилых зданий шли по пути слепого подражания традиционным деревянным стропильным конструкциям. Эти конструктивные решения кровельных покрытий по вполне понятным причинам широкого распространения не получили.

Более свойственные природе железобетона решения в виде ребристых наклонных панелей, применяемых в крупноэлементном домостроении, в том числе и в Ленинграде, явились значительным сдвигом вперед в деле рационального и экономичного разрешения кровельных конструкций жилых зданий. Тем не менее это решение нельзя все же считать вполне удовлетворительным, учитывая, что в кровле не использованы все конструктивные возможности, заложенные в железобетоне. Отсюда вытекают все еще высокие показатели расхода материалов на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади.

В основу нового конструктивного решения кровельного покрытия жилого дома авторский коллектив Ленфилиала АСИА заложил принцип максимального использования всех преимуществ тонкостенной пространственной конструкции.

Многokrатно и ритмично повторяющаяся волна является, как известно, простейшей и в то же время одной из рациональных форм, обеспечивающих жесткость тонкостенному элементу. Эта конструктивная схема и была использована в проекте, разработанном сектором инженерных сооружений Ленфилиала АСИА в содружестве со стройтрестом № 105 для покрытия построенного в Ленинграде дома (Лиговский проспект, № 168), причем толщина армоцементной стенки покрытия в этой конструкции была уже доведена до 15 мм.

Покрытие скомпановано по наклонной схеме. Сборные элементы представляют собой тонкостенные армоцементные панели шириной 160 см. Длина элемента соответствует расстоянию между наружной и внутренней стенами типового жилого дома и составляет (с учетом наклонного положения) 650 см. Каждая панель состоит из двух волн, армированных двумя слоями сетки с расположенными между ними стержнями диаметром 4 мм.

Основные показатели этого кровельного покрытия выражаются в следующих цифрах: приведенная толщина армоцемента 27 мм, расход металла 4,6 кг на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади.

Помимо отмеченных сооружений, уже внедренных в строительную практику, Ленфилиалом в соответствии с планом научно-исследовательской работы по изучению конструктивных особенностей тонкостенных пространственных покрытий разработан ряд проектов покрытий промышленных и гражданских зданий. Основным отличительным признаком этих проектов является использование тонкостенной армоцементной оболочки в качестве основного несущего и ограждающего элемента.

Положительные результаты проведенных испытаний конструкций и достигнутый экономический эффект позволили перейти к реализации широкой программы внедрения армоцементных пространственных конструкций для покрытия зданий самого различного назначения, осуществляемых в текущем и ближайших годах.

Для этой цели используются предложенные и разработанные Ленфилиалом АСнА унифицированные тонкостенные сборные конструкции для пролетов 12, 15, 18, 24, 30 и 36 м.

Из уникальных сооружений, намеченных к осуществлению в ближайшее время с использованием пространственных армоцементных конструкций, следует отметить покрытие ангара пролетом 90 м, плавательного бассейна пролетом 36 м, а также складских помещений предприятий пищевой промышленности площадью 10 га и некоторые другие.

К сожалению, приходится констатировать, что все осуществленные до настоящего времени в Ленинграде сборные армоцементные конструкции изготовлялись на строительных площадках и полигонах самым примитивным способом в деревянных опалубках без применения какой-либо механизации.

Вопрос создания индустриальных методов изготовления армоцементных элементов является на сегодняшний день одним из наиболее актуальных. От разрешения этой задачи в значительной мере будет зависеть и успех широкого внедрения армоцементных тонкостенных конструкций в строительную практику.

Достигнутые в последнее время большие успехи в области новой технологии изготовления мелкозернистых бетонов (способ Козлова, Станкевича, Шестоперова, Михайлова и др.), к сожалению, не могут быть непосредственно использованы для армоце-

ментных конструкций, так как вся технология проката приспособлена для выпуска плоских элементов постоянного поперечного сечения. Неотъемлемым же признаком любой армоцементной конструкции является пространственность ее геометрической формы. Следовательно, для армоцементных изделий требуется изыскать какие-то совершенно новые методы организации технологических процессов.

Работа в этом направлении уже ведется. В частности, Ленинградстроем в содружестве с Ленфилиалом АСнА сконструирован и изготовлен агрегат для механизированного формования и профилирования армоцементных панелей. Опытный механизм построен для изготовления панелей, имеющих поверхность гиперболического параболоида размерами в плане 12 × 3 м.

В ближайшее время приступят к освоению вновь созданного оборудования.

Не следует однако упускать из вида, что даже в случае самых оптимальных результатов работы построенного агрегата, будет решен только небольшой участок всего технологического процесса. Вопросы заготовки и укладки сетчатой арматуры, уплотнения уложенного раствора, обеспечения необходимой марки армоцемента и многие другие до настоящего времени не нашли у нас еще своего разрешения.

Другой вопрос, не менее актуальный, тесно связанный с развитием начатого дела, — глубокое изучение физико-механических свойств армоцемента. Имеющиеся на сегодняшний день некоторые данные, полученные в результате испытаний армоцементных конструкций, нельзя рассматривать как исходный материал для решения задач более широкого масштаба.

Армоцемент является для нас материалом новым. Армоцементные конструкции по принципам конструирования и расчета резко отличаются от обычного железобетона. Это различие вызвано как физико-механическими свойствами армоцемента, так и технологией его изготовления. Армоцемент ближе подходит по своим свойствам к изотропному телу. Мы располагаем данными, подтверждающими способность армоцемента хорошо работать на сжатие, растяжение и изгиб.

Эти свойства материала должны быть глубоко изучены и обоснованы путем проведения соответствующих экспериментальных работ.

Деформативная способность материала характеризуется, как известно, модулем упругости, модулем сдвига и коэффициентом Пуассона. Следовательно, в процессе испытаний необходимо выявить модули упругости армоцемента при сжатии, растяжении и изгибе. Помимо этого необходимо также определить поведение тонкого армоцементного элемента под действием касательных напряжений.



В соответствии с изложенными соображениями Ленфилиалом намечена программа испытаний, подготовка к которым уже начата.

Учитывая, что физико-механические свойства армоцемента в значительной мере зависят от процентного насыщения арматурой, содержания цемента, гранулометрического состава песка и способа уплотнения раствора, испытания будут проводиться на серии образцов, отвечающих отмеченным факторам.

Ко второй очереди испытаний отнесены вопросы определения устойчивости тонкой армоцементной оболочки. В процессе этих испытаний будет выявлена зависимость между толщиной стенки элемента, радиусом кривизны и критическим напряжением.

Успешно завершенная в прошлом году работа по созданию армоцементной тонкостенной кровли для жилого дома дает все основания предполагать, что это конструктивное решение найдет широкое применение в жилищном строительстве.

В этом вопросе выдвигаемая для применения армоцементная кровля должна сама по себе обладать достаточной водонепроницаемостью, чтобы не требовать дополнительной защиты в виде рулонного или какого-либо другого покрытия. Это заставило нас включить в общую программу испытаний вопрос водонепроницаемости, а также атмосферостойкости армоцемента.

Последним, не менее актуальным вопросом, с нашей точки зрения, является повышение коррозионной стойкости армоцементных конструкций.

Учитывая, что в армоцементе защитный слой по своей толщине значительно ниже нормативного и измеряется всего лишь несколькими миллиметрами, вопрос предохранения арматуры от коррозии приобретает исключительную актуальность, тем более, что процесс корродирования может вызвать отслаивание и обрушение защитного слоя и обнажение арматуры.

В связи с изложенными соображениями этот вопрос также включен в общую программу испытаний.

Переходя к вопросу испытаний армоцементных сооружений и конструкций, уже законченных строительством, необходимо в первую очередь отметить, что здесь также должна быть выработана методика, учитывающая все специфические свойства армоцемента.

Основные положения этой методики сводятся к следующему.

Как уже отмечалось, армоцемент, по сравнению с железобетоном, близко подходит к однородному телу. Следовательно, правильно изготовленная армоцементная конструкция во время испытания должна деформироваться плавно, с большими прогибами, без внезапных разрушений.

Тонкостенные армоцементные конструкции представляют собой разного рода оболочки, подвергающиеся не только осевым силам, но и изгибающим моментам. В соответствии с этим тензометры должны расставляться на обеих поверхностях тонких стенок конструкции. Выбор места расположения приборов опреде-

ляется либо проверкой расчетных напряжений, либо условием проверки предположки расчета.

Прогибы тонких оболочек типа балочек составляют большие величины порядка  $1/200$  длины, что вызывает изменения соответствующей аппаратуры. При полном загрузении тонкие оболочки ведут себя как плоский лист, занимающий площадь большую, чем конструкция. В связи с этим необходимо принимать соответствующие меры для защиты персонала и инструмента от боковых ударов.

При всех испытаниях необходимо предусматривать страховочные подмости, проверять их расчетом на интенсивность нагрузки, при которой ожидается разрушение испытываемой конструкции.

Вопросам внедрения армоцементных конструкций в строительную практику занимаются в настоящее время в Советском Союзе уже много организаций, в том числе научно-исследовательские институты различных ведомств, проектные институты, строительные тресты и др.

Насколько известно, армоцемент благодаря своей высокой экономической эффективности начал находить применение во всех отраслях строительной индустрии — гражданском и жилищном строительстве, промышленном, культурно-бытовом, гидротехническом, транспорте и г. д.

Тем не менее нам совершенно ясно, что для осуществления поставленной задачи — освоения и внедрения армоцементных конструкций в строительную практику на уровне реализации всех технико-экономических преимуществ, которые может дать этот новый прогрессивный материал, нам всем предстоит проделать еще большую работу.

Как уже отмечалось раньше, не решены еще такие кардинальные вопросы, как разработка новой технологии изготовления армоцементных элементов, базированной на промышленных методах с применением механизации, изучение физико-механических свойств армоцемента, методика испытаний армоцементных сооружений и ряд других, не говоря уже об основной задаче — создании новых наиболее совершенных, рациональных и экономически оправданных армоцементных конструкций.

Для разрешения всех этих вопросов нашему инженерному коллективу предстоит еще большая творческая работа.

## АРМОЦЕМЕНТ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ

*Действ. член Академии СнА СССР  
К. В. САХНОВСКИЙ*

Армоцемент, или ферроцемент, представляет разновидность железобетона. Характерной особенностью его является насыщение сечения элемента тонкими сетками из проволоки диаметром от 0,5 до 1,5 мм, с ячейками до 1 см и весом от 0,6 до 1,5 кг/см<sup>2</sup> Цементнопесчаный раствор, с количеством цемента 800—1000 кг/м<sup>3</sup>, должен только обволакивать сетки, без какого-либо избытка. При этих условиях получается упругий материал, близкий к однородному.

Физико-механические свойства армоцемента находятся в зависимости от того, как он выполнен.

Если количество арматуры менее 100—200 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона, эластичность армоцемента примерно такая же, как обычного бетона; при содержании же арматуры в пределах 400—500 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона эластичность увеличивается в 5 и более раз. В то же время результаты испытаний показали возможность применения армоцементных конструкций предельно малой толщины 1,5—2—3 см.

Нельзя назвать армоцементом конструкцию, если между двумя тонкими сетками проложены отдельные стержни или обычная сетка, хотя бы и при толщине только 2 см. Совершенно неправильно называют армоцементной конструкцией обычный железобетон из цементно-песчаного бетона, армированного сварной сеткой.

Большое преимущество истинного армоцемента состоит в том, что он трещиностойчив и потому не нуждается в предварительном напряжении. Считается, что армоцемент морозостоек; однако, в нашем климате это подлежит самой тщательной проверке.

Затем армоцемент водонепроницаем. Это свойство достаточно доказано опытом судостроения в Италии. Построенная яхта имеет толщину стенок всего 1,2 см, которые оказались вполне водонепроницаемыми.

Отмеченные ценные свойства армоцемента — трещиностойкость, морозостойкость и водонепроницаемость (которые должны быть все же у нас тщательно проверены) позволяют (при холодных

кровлях) поверх его не устраивать рулонного ковра. Отсюда вытекает основной вывод, что армоцемент должен найти преимущественное применение для покрытий (крыш) и стен.

В перекрытиях (междуэтажных) трудно ожидать получения каких-либо выгод от применения армоцемента. Там целесообразны предварительно-напряженные железобетонные конструкции.

Вид покрытия из армоцемента находится в зависимости от назначения здания, формы его в плане, величины пролета и пр.

Необходимая несущая способность и жесткость тонких конструкций из армоцемента достигается приданием им складчатой или волнообразной формы, или другого вида оболочки двойной кривизны.

При средних пролетах покрытия могут быть сконструированы в виде волнистых сводов, составляемых из отдельных (на весь пролет) сборных тонкостенных элементов толщиной 2—3 см, армированных несколькими сетками, с укладкой и в самом элементе отдельных стержней внизу волны, где получается некоторое утолщение, и сверху — вдоль продольных ребер.

Для купольных, плоских и других покрытий армоцемент может быть использован для выполнения сборных тонкостенных элементов, которые, являясь составной частью сборно-монолитной конструкции, одновременно служат ее опалубкой. В такую корытообразную опалубку (с толщиной стенок 2 см), временно поддерживаемую легкими передвижными подмостями, укладывают необходимую рабочую арматуру и производят бетонирование. Замоноличенная армоцементная опалубка остается на месте, как составная часть конструкции.

Из армоцемента могут быть выполнены покрытия до 100 м и больше. В этих случаях изготавливают тонкие элементы (скорлупы), обычно в виде отдельных волн с диафрагмами в торцах, армированные сетками, длиной 4,5 и до 10 м, при толщине 3 см. Затем осуществляется монтаж сборных элементов, с использованием облегченных трубчатых лесов, и укладывается арматура в разжелобки и гребни собранных элементов; после этого (пользуясь съёмной опалубкой) производится бетонирование. В данном случае тоже налицо сборно-монолитное железобетонное покрытие.

В Италии (в г. Турине) таким путем, как известно, выполнен свод выставочного зала пролетом 95 м (автор П. Л. Нерви), с прокладкой обычной стержневой арматуры. Последняя явилась и средством связи (по пролету) отдельных сборных элементов между собой. Для подобной связи в настоящее время обычно применяют предварительно-напряженную арматуру в виде пучков или отдельных стержней. При армоцементе, как трещиностойчивом материале, можно обойтись без предварительного напряжения. Это большое преимущество конструкций, составленных из армоцементных блоков.

Относительно формы оболочек из армоцемента можно заметить, что у нас нашел применение волнистый свод. Это выгодная форма, но она особенно целесообразна в Италии, где в боковых крутых поверхностях волн оставляют проемы для верхнего света.

Если же применить подобную конструкцию покрытия в наших снежных местностях, то все впадины будут занесены снегом и никакого света сверху не будет.

Волнистые своды, особенно с глубокими волнами, могут найти применение в малоснежных районах. В северных же и центральных районах чаще применяются выпуклые формы, которые легко могут быть получены и из волнистых сводов путем перекрытия впадин плоскими плитами из легких материалов. В этом случае конструкция сборных элементов в виде волн может быть комбинированной, то есть в качестве рабочей арматуры волн будут сетки и стержни между ними из обычной арматуры. Так примерно выполнено покрытие колхозного рынка в Московском районе Ленинграда.

При использовании тонкостенных армоцементных конструкций, учет климатических условий является обязательным.

Остается коснуться некоторых вопросов по армоцементу, которые должны быть разрешены в скорое время.

Отметим, что в настоящее время работы по исследованию физико-механических и других свойств армоцемента ведутся научно-исследовательскими институтами, в том числе и Ленинградским филиалом АСИА СССР. Это подает надежды на быстрое внедрение армоцемента в значительных размерах в строительство.

Ленинградский филиал АСИА первый запроектировал и осуществил тонкостенные конструкции (1,5—2 см) еще до всестороннего изучения и освоения армоцемента. Однако эти конструкции, по существу, представляют нечто среднее между обычными железобетонными и армоцементными. Запроектированные филиалом новые тонкостенные конструкции уже более совершенны.

Надо полагать, что в результате производимой исследовательской работы будут разработаны тонкостенные конструкции покрытий, наиболее выгодные в техническом и экономическом отношениях. При этом необходимо сопоставить результаты испытаний этих конструкций с чисто железобетонными, имеющими одинаковую несущую способность.

На основе же полученных данных будет разработан и соответствующий метод расчета конструкций из армоцемента.

Серьезным вопросом является снижение количества расходного цемента на  $1 м^3$ . Такой мелкозернистый бетон как цементно-песчаный, вообще требует много цемента; при изготовлении элементов из песчаного бетона методом непрерывного проката расход цемента колеблется в пределах 600—700 кг/м<sup>3</sup>.

Марка цемента для конструкций из армоцемента должна быть выше обычной (например, «500») для получения вполне надеж-

ного сцепления тонких сеток с раствором, последний целесообразно уплотнять при помощи вибрации.

Следующий вопрос — это толщина защитного слоя. При высококачественном жирном цементном растворе защитный слой при тонких сетках может быть небольшой, но должен быть обязательно. Некоторые из наших исследователей считают, что не следует делать защитный слой толщиной больше обволакивающего сетки слоя, во избежание получения в нем трещин.

Очень важным является вопрос о технологии изготовления армоцементных конструкций. Разумеется, желательно добиться изготовления его механизированным способом, например, методом проката, при котором для некоторых видов конструкций можно получить наилучшие результаты, особенно в отношении скорости и качества выполнения. Это вопрос недалекого будущего.

## ИССЛЕДОВАНИЯ НИИСЕЛЬСТРОЯ В ОБЛАСТИ СВОЙСТВ АРМОЦЕМЕНТА И ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Канд. техн. наук П. И. КРУТОВ,  
инженеры Е. Я. ГРОДСКИЙ, А. Б. ГРОДЕК*

В 1957 году НИИСельстрой приступил к изучению свойств армоцемента с целью применить этот материал в сельском строительстве для покрытия зданий и емкостей различного назначения.

Имевшиеся к началу работы над темой литературные данные (в основном о работах итальянского инженера П. Л. Нерви) были явно недостаточны для практического применения армоцемента в отечественной практике строительства, поэтому пришлось приступить к полному и всестороннему изучению этого материала по выработанной методике.

Большая часть работы по изучению армоцемента проводилась в содружестве и при содействии экспериментальной базы САКБ АПУ Мосгорисполкома.<sup>1</sup>

В процессе работы над темой НИИСельстрой, учитывая важность быстрого внедрения армоцемента в практику строительства, установил деловой контакт с рядом научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, также занимающихся изучением этого материала, что позволило быстрее и шире решать возникающие вопросы.

Весь комплекс исследований армоцемента был подразделен на следующие три группы.

1. Изучение физико-механических свойств армоцемента.
2. Разработка методов проектирования и возведения тонкостенных армоцементных конструкций.
3. Изучение проблем, связанных с внедрением этого материала и конструкций в практику строительства.

Предварительные результаты проделанной работы кратко изложены в такой же последовательности.

В процессе работы над первым разделом нами были проведены испытания большого количества образцов песчаных бетонов, стальных тканых сеток и армоцемента. Исследовались песчаные бетоны, изготовленные на чистых речных песках естественного

<sup>1</sup> От экспериментальной базы принимал участие в работе инженер С. А. Титов

гранулометрического состава (с модулем крупности от 1,6 до 2,7) и на специально подобранных составах (с модулем от 1,5 до 3,5). В последнем случае фракции песка подбирались с целью получения наиболее плотных смесей.

Вяжущими служили силикатные цементы марки «400» и «500». При изготовлении различных серий образцов расход цемента на кубометр песка изменялся в пределах от 300 до 1000 кг.

В целях изучения влияния расхода цемента и водоцементного отношения на удобоукладываемость и марку бетона, В/Ц изменялось в пределах от 0,25 до 0,75, а время удобоукладываемости — от 5 до 70 сек.

Влияние способа уплотнения смеси на прочность и плотность песчаного бетона было изучено на сериях образцов, изготовленных из пластических смесей при укладке вручную и из более жестких смесей, уплотненных на вибростоле, с применением поверхностных вибраторов без пригрузки и с пригрузкой, а также с направленной вибрацией, и отформованных соплованием смеси цемент-пушкой. Изучалось также влияние режимов твердения на качество бетонов. Образцы твердели при воздушном хранении, во влажных условиях и в пропарочной камере с обычным и со строго заданным (автоматически регулируемым) режимом. Исследовалось влияние всех перечисленных выше факторов на изменение физико-механических свойств песчаных бетонов.

Были изучены изменения прочности при сжатии и растяжении, плотности, усадочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

Все испытания проводились по методике, предусмотренной соответствующими ГОСТами. Кроме того, механическая прочность при растяжении, а также усадочность, водонепроницаемость и морозостойкость дополнительно изучались на плоских образцах толщиной 15—25 мм, что больше соответствует толщине песчаного бетона в армоцементных конструкциях.

Для проведения таких исследований нами были запроектированы и изготовлены специальные приспособления и оборудование, а также разработана соответствующая методика проведения испытаний.

Результаты испытаний указывают на ряд закономерностей изменения физико-механических свойств песчаных бетонов в зависимости от его состава, методов уплотнения и режимов твердения.

В частности, было установлено, что изменение модуля крупности чистых песков естественного гранулометрического состава (от 1,6 до 2,7) при высоких расходах цемента, практически не сказывается на физико-механических свойствах неармированных песчаных бетонов.

Одновременно было выяснено, что применение механического уплотнения, при соответствующем уменьшении водоцементного отношения, позволяет снизить расход цемента без ущерба для физико-механических свойств бетона.

Исследования песчаных бетонов, уложенных и уплотненных сопловоанием, показали, что использование обычных штукатурных растворов насосов требует применения более подвижных смесей и приводит к излишнему расходу цемента.

Цемент-пушка позволяет использовать более жесткие смеси и лучше уплотнять бетон, но существующие модели этих агрегатов мало приспособлены для изготовления конструктивного песчаного бетона. Количество воды, поступающей в сухую песчано-цементную смесь, не поддается точной регулировке, а степень уплотнения изменяется в зависимости от толщины укладываемого слоя. Поэтому уложенный торкретированным бетон неоднороден по своему составу и свойствам.

Следует также отметить, что термовлажностная обработка образцов из неармированного и армированного песчаного бетона в паровоздушной среде (что характерно для подавляющего большинства типов пропарочных камер) без дополнительного укрытия поверхности отрицательно сказывается на их физико-механических свойствах.

Мы кратко остановились именно на этих выводах, так как они имеют наибольшее практическое значение при подборе составов бетона и разработке технологии изготовления армоцементных конструкций.

Для выяснения свойств стали, применяющейся для изготовления армоцемента, была специально исследована проволока тканых сеток.

Проверялись сетки №№ 3—2  $\varnothing$  0,4 мм, № 5  $\varnothing$  0,7, № 11  $\varnothing$  1,2, № 15  $\varnothing$  1,5 и № 20  $\varnothing$  2,0 мм (обозначения соответствуют ГОСТу 3826), изготовленные Солнечногорским заводом имени Лепсе и комбинатом строительных материалов.

Были проверены размеры ячеек, диаметры проволоки и упругие свойства стали.

Механические испытания стальной проволоки производились на разрывной машине РПМ-500 и универсальной испытательной машине Р-5. Испытывались отдельные стержни, а также целиком пакеты сеток.

Концы пакетов сеток перед испытанием замоноличивались песчаным бетоном так, чтобы они могли быть закреплены в захватах испытательной машины. В середине каждого пакета проволока на длину 25—30 мм оставалась незамоноличивенной.

Испытания проволоки в виде отдельных стержней и пакетов, изготовленных из различных партий тканых сеток, показали, что диаметры, прочность и упругие свойства стальных стержней в этих сетках не всегда соответствуют ГОСТу. Так, отклонения в диаметрах стержней достигают  $\pm 15\%$ , пределы текучести изменяются от 17 до 25 кг/мм<sup>2</sup>, относительные удлинения — от 5 до 30% и пределы прочности, соответственно, от 25 до 40 кг/мм<sup>2</sup>.

Как выяснилось, основными причинами неоднородности стали в тканых сетках являются применение проволоки из неконди-

ционной стали и несовершенство технологии изготовления самих сеток (в частности, непостоянный режим отжига проволоки перед ее поступлением на ткацкие станки). Поэтому в процессе проведения испытаний армоцемента, неоднородность стали и нестабильность диаметров проволоки пришлось дополнительно учесть путем значительного увеличения количества экспериментальных образцов.

При изучении механических свойств армированного песчаного бетона основное внимание было уделено изучению факторов, влияющих на растяжимость, потому что именно эта характеристика бетона предопределяет его упругость. При проектировании образцов учитывалось влияние состава и консистенции бетона, способа его уплотнения и режима твердения, а также конструкция и количество арматуры.

Для испытаний применялись два типа образцов — плоские, сечением от 20  $\times$  80 до 25  $\times$  100 мм, длиной 400 мм и образцы тех же размеров, но утолщенные к концам (по типу «восьмерок»).

Второй тип образцов более сложен в изготовлении, но такая форма концевых участков позволила в значительной мере устранить проскальзывание образцов в захватах и добиться его более точного центрирования при испытании.

При проведении испытаний специально изучалось влияние количества и расположения арматуры на растяжимость нескольких видов песчаных бетонов. Образцы армировались ткаными сетками, число слоев которых изменялось от 1 до 17. Часть образцов была армирована только обычными арматурными стержнями. Испытывались также образцы, армированные комплексными каркасами, состоящими из тканых сеток и одиночных арматурных стержней значительно больших диаметров. Таким образом, было изготовлено большое количество серий образцов различного состава бетона, содержащих от 1 до 3% рабочей арматуры (с интервалом 0,5%). При подсчете процента армирования в каждом отдельном случае учитывалась только площадь сечения стержней, расположенных вдоль образца.

Так, например, серия образцов, содержащих 2% рабочей арматуры, проектировалась следующим образом.

Эти образцы для каждого из типов песчаного бетона армировались отдельно арматурными стержнями  $\varnothing$  8 мм,  $\varnothing$  4 мм и пакетами сеток № 20  $\varnothing$  2 мм, № 15  $\varnothing$  1,5, № 11  $\varnothing$  1,2, № 5  $\varnothing$  0,7 и № 3,2  $\varnothing$  0,4 мм.

Площадь сечения каждого образца этой серии назначалась из расчета, чтобы процент армирования отдельными стержнями и пакетами сеток равнялся 2. В этом случае размеры сечения были приняты 25 и 100 мм.

В образцы, армированные отдельными стержнями, укладывались соответственно: при  $\varnothing$  8 мм — 1 стержень, при  $\varnothing$  4 мм — 4 стержня, а в образцы, армированные пакетами сеток, в зависимости от типа сеток при № 20  $\varnothing$  2 мм — 16 стержней или 3 слоя

сетки, № 15  $\varnothing$  1,5—28 стержней (4 слоя), № 11  $\varnothing$  1,2—44 стержня (5 слоев), № 5  $\varnothing$  0,7—132 стержня (7 слоев) и № 3,2  $\varnothing$  0,4 мм 386 стержней или 14 слоев сетки. Кроме того, применялось комбинированное армирование сочетаниями разных типов сеток и сеток с отдельными продольными стержнями. Для обеспечения проектного положения сетки в образцах (при армировании отдельными стержнями или малым числом слоев сетки) в необходимых случаях применялись поперечные прокладки из арматурных стержней. Следует отметить, что при одном и том же проценте армиро-

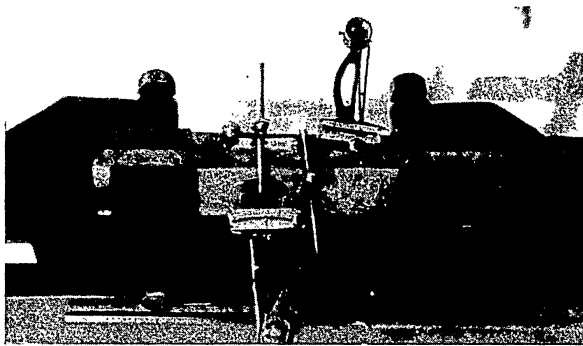


Рис. 1. Испытание армоцементных образцов на осевое растяжение

вания одинаковых по размерам образцов, переход от одиночных стержней рабочей арматуры к пакетам сеток (с большим количеством поперечных стержней) приводит к увеличению расхода стали до 2 раз. В тех случаях, когда упругость стали стержней диаметрами от 3 до 8 мм оказывалась выше проволоки тканых сеток, для получения сравнимых результатов эта сталь предварительно отжигалась. Для соблюдения постоянного процента армирования сечения отдельных типов образцов изменялись до необходимых в каждом случае размеров. По такому принципу проектировались и изготавливались все необходимые серии образцов.

Перед бетонированием поверхность арматуры очищалась от масла, грязи и окислы.

Испытание образцов на осевое растяжение (рис. 1) проводилось на универсальных гидравлических испытательных машинах Р-5 и ГМС-50. Величина нагрузки фиксировалась по манометру с тарированной шкалой. Общие удлинения регистрировались за-

писывающим устройством испытательной машины, а местные — замерялись рычажными тензодатчиками с базой 20 и 100 мм, устанавливаемыми по обе стороны образца. Загружение производилось постепенно, с выдержкой после каждого этапа, соответствующего увеличению нагрузки на 100 кг. В процессе испытаний фиксировался момент появления первых трещин. Попытка применить для этих целей метод «мокрых литей» практически не дал положительных результатов. Видимо, это объясняется пониженной влагоемкостью армоцемента, по сравнению с обычным бетоном, а длительное замачивание образцов перед окраской и известковым раствором и испытание не обеспечивало их необходимого насыщения водой для реализации процесса, предусмотренного этим методом.

Поэтому момент появления трещин мы определяли путем повторных нагружений образцов после каждой ступени нагрузки (в процессе испытания каждого образца). Получаемые контрольные замеры позволяли с достаточной точностью отмечать в каждом отдельном случае появление остаточных деформаций по характерной петле гистерезиса на графике.

Растяжимость армированных песчаных бетонов проверялась также при поперечном изгибе. На изгиб были испытаны образцы армированных песчаных бетонов длиной 1100 мм, шириной 180 мм и толщиной от 20 до 40 мм. Проверялись также же составы бетонов и схемы армирования, что и в описанном ниже случае чистого растяжения. Испытания проводились на универсальной машине ГМС-50 по следующей статической схеме: расстояние между опорами 800 мм, между грузами — 1000 мм. Под грузовые и опорный ролики подкладывались распределительные пластинки. Нагрузка создавалась гидравлическим прессом и фиксировалась на манометре с соответствующей шкалой. Увеличение нагрузки производилось постепенно. После каждой ступени в 100 кг давалась выдержка до стабилизации деформации. Прогобы регистрировались индикаторами, установленными на опорах, прогибомерами, расположенными по обе стороны каждого образца в середине пролета, и записывающим устройством испытательной машины. Деформации сжатой и растянутой зон сечения замерялись рычажными тензодатчиками с базой 20 мм и 100 мм.

Момент появления первых трещин определялся путем повторных нагружений (график 1—5 рис 2). Причем величина напряжений, соответствующих появлению первых трещин при изгибе во всех случаях оказывалась несколько выше, чем при осевом растяжении.

При испытаниях армированных песчаных бетонов на осевое растяжение и изгиб было установлено, что момент появления первых трещин, как правило, соответствует пределу пропорциональности между напряжениями и деформациями или, иными словами, момент появления трещин соответствует пределу упругости материала. Предел упругости возрастает не только с увеличением рас-

хода и активности цемента, степенью уплотнения бетонной массы и повышением процента армирования, но и с увеличением поверхности продольных арматурных стержней, равномерно распределенных по всему сечению бетона. Было также установлено, что увеличение количества поперечных стержней с развитой поверхностью сцепления приводит к дополнительному увеличению растяжимости бетона.

Таким образом, результаты проведенных испытаний показали, что предел упругой растяжимости песчаного бетона зависит не только от качества самого бетона и площади поперечного сечения рабочей арматуры, но и от суммарной площади поверхностей всей арматуры, равномерно распределенной в бетоне.

Для более точного учета этого фактора возникла необходимость введения нового понятия «удельная поверхность арматуры».

Удельной поверхностью арматуры мы называем суммарную поверхность всей арматуры в бетоне, отнесенную к единице его объема.

Влияние увеличения удельной поверхности арматуры на повышение предела упругой растяжимости бетона видно из следующего примера. В рассмотренной выше серии образцов с постоянным процентом армирования ( $\mu = 2\%$ ) и с одинаковыми характеристиками песчаного бетона и стали, величина удельной поверхности арматуры из-

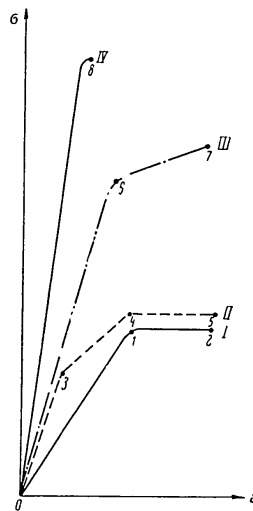


Рис 2 Совмещенная диаграмма стесненной деформации стали

менялась в десятки раз. Так, если принять за единицу суммарную поверхность арматуры в образцах, армированных только одним стержнем  $\varnothing 8$  мм, то в таких же образцах, но армированных пакетом сеток № 3,2  $\varnothing 0,4$  мм, общая поверхность сцепления с бетоном увеличивается почти в 40 раз. При этом предел упругой растяжимости бетона повышается в 10 и более раз. Одновременно было отмечено, что с повышением предела упругости бетона снижалась деформативность арматуры (при переходе к армированию стержнями более мелких диаметров).

Влияние величины суммарной поверхности сцепления арматуры с бетоном сказывается на характере деформаций при осевом растяжении и поперечном изгибе и за пределами упругости. На этой стадии, в образцах с развитой поверхностью арматуры

при продолжающемся повышении несущей способности деформации развиваются более интенсивно и сопровождаются появлением большого количества мелких и часто расположенных поперечных трещин. К моменту разрушения испытываемый образец покрывается сплошной сеткой очень мелких трещин, причем, как правило, наблюдается также и расслоение бетона вдоль образца (между плоскостями отдельных сеток). Разрушение образцов, армированных не пакетами сеток, а отдельными стержнями, сопровождалось появлением и значительным раскрытием только одной или нескольких трещин, далеко расположенных друг от друга.

Было также отмечено, что фактическая несущая способность арматуры и после появления трещин в бетоне во всех случаях повышалась по сравнению с расчетной. Причем, это дополнительное увеличение прочности было тем больше, чем меньше применялись диаметры арматуры. Особенно заметное повышение прочности арматуры было установлено в образцах, армированных пакетами сеток. Если совместить в одном графике зависимости деформаций арматуры от нагрузки, то отмеченные выше особенности работы стали в бетоне имеют вид, показанный на рис. 2. Кривая I показывает зависимость между нагрузками и деформациями при осевом растяжении арматурной стали, свободной от бетона. Этот случай характерен двумя, четко выраженными этапами работы стали — упругой стадией и площадкой текучести.

На кривой II показана та же зависимость для растянутой арматуры в обычном железобетоне. В этом случае имеют место уже три стадии работы стали. На участке 0—3 сталь и бетон работают совместно и упруго. В пределах упругой работы бетона арматурные стержни деформируются как бы с повышенным модулем упругости, но напряжения в арматуре, соответствующие пределу упругости бетона, малы по сравнению с пределом текучести стали.

На участке 3—4 продолжается нарастание величины напряжений в арматуре сопровождается более интенсивным ростом линейных деформаций. Условный модуль упругости стали на этом этапе резко снижается. Однако предел текучести стали за счет работы бетона между трещинами несколько повышается, но это увеличение прочности арматуры в обычном железобетоне незначительно и практически не учитывается.

Кривая III показывает зависимость между напряжениями и деформациями арматуры в армоцементе. Влияние рассредоточенной продольной арматуры и введения большого количества поперечных стержней на растяжимость бетона настолько велико, что в этом случае напряжения, соответствующие пределу совместной упругой работы арматуры с бетоном в армоцементе значительно превосходят предел упругости самой стали сеток. При этом условный модуль упругости стали значительно повышается. После появления трещин в бетоне величина этого условного модуля

упругости арматуры резко уменьшается, однако деформация арматуры при растяжении характеризуется отсутствием площадки текучести и двумя стадиями работы.

Как показывают кривые II и III, совместная работа арматуры с бетоном как в упругой стадии, так и после появления трещин в последнем, приводит к уменьшению пластичности и повышению предела прочности стали.

Работу стального стержня в жесткой среде приблизительно можно представить работой стального стержня с местными заточками.

На кривой IV показана зависимость между напряжениями и деформациями в стальном стержне с местными заточками. Как известно (см. «Стальные конструкции» под ред. проф. Н. С. Стрелецкого, 1952 г., стр. 50), по мере уменьшения длины заточки, по постоянной ее глубине, резко понижается деформативность и повышается предел прочности стального стержня, потому что сталь переходит из пластичного состояния в хрупкое.

Таким образом, на кривых I и IV изображены два предельных случая деформации стали при растяжении: на кривой I — свободная, а на кривой IV — предельно стесненная деформация. Причем деформации ограничиваются только касательными и нормальными к поверхности стержня усилиями. В статическом отношении такое ограничение деформации может быть объяснено работой растянутого стержня в упругой среде.

Из графиков II, III и IV видно, что чем выше упругие свойства окружающей среды, тем большей оказывается несущая способность самого растянутого стержня. Так, в обычном железобетоне упругой средой для растянутого стержня является неармированный бетон, поэтому повышение предела прочности арматуры в этом случае незначительно.

В растянутых армоцементных образцах роль упругой среды выполняет сильно армированный продольными и поперечными стержнями бетон и его влияние на повышение несущей способности арматуры значительно.

В растянутом стержне с острой заточкой упругой средой является та же сталь, поэтому здесь в наиболее явном виде проявляется изменение упругих свойств стали — происходит качественный переход из пластичного в хрупкое состояние.

Поскольку равновесие арматурного стержня в бетоне при растяжении обеспечивается, в основном, силами сцепления, то с увеличением суммарной поверхности сцепления влияние бетона на несущую способность арматуры увеличивается. Кроме того, наличие часто расположенных поперечных стержней увеличивает упругие свойства самого бетона, а применение стержней малых диаметров приводит к повышению абсолютной величины сил сцепления стали с бетоном.

Для более наглядного представления о механизме совместной работы арматуры с бетоном в армоцементе, считаем уместным

привести несколько положений, известных из многочисленного опыта изучения классического железобетона.

Известно, например, что часть бетона, расположенная в непосредственной близости к арматуре, обладает повышенной упругостью по сравнению с остальной массой бетона.

Повышенной упругостью обладает также бетон, заключенный в жесткую обойму.

В этих случаях наблюдается с повышением упругости уменьшение усадочности бетона в воздушно-сухой среде (или разбухания — во влажной).

Кроме того, известно, что с уменьшением диаметра применяемых арматурных стержней их фактическая прочность в бетоне, при прочих равных условиях, возрастает.

Однако в обычном бетоне, в силу сложившихся принципов проектирования состава самого бетона и схемы армирования, эти скрытые запасы прочности бетона и стали не могли быть сколько-нибудь широко использованы.

В армоцементе же именно эти факторы предопределяют повышенную упругость и прочность материала.

При переходе от бетона с крупным заполнителем к мелкозернистому песчаному бетону и от обычной стержневой арматуры к пакетам тонких тканых сеток взаимодействие арматуры с бетоном проявляется более полно. В армоцементе размеры ячеек и диаметры стержней в пакетах стоек соизмеримы с частицами самого бетона и арматура в этом случае выполняет по существу роль структурообразователя. Поверхность сцепления арматуры с бетоном в армоцементе настолько велика, что суммарная величина сил сцепления становится соизмеримой с действующими растягивающими усилиями. Хотя сама природа возникновения сил сцепления и изменения их величины в бетоне по мере удаления от арматурного стержня еще мало изучена и существующие гипотезы не позволяют сделать каких-либо окончательных выводов, все же можно констатировать, что величина этих сил зависит от таких факторов, как активность цемента и плотность бетонной смеси, от диаметра и характера поверхности арматуры, а практическая величина зоны бетона, где влияние арматуры сильно сказывается на увеличении упругости и прочности бетона, измеряется несколькими миллиметрами.

Исходя из приведенных выше соображений, на рис. 3 показана упрощенная модель макроструктуры армоцемента, где подчеркивается структурообразующая роль арматуры, состоящей из пакета тонких сеток.

Вокруг каждого арматурного стержня образуется оболочка из бетона с повышенными упругими свойствами. Поскольку размеры ячеек сетки соизмеримы с диаметрами этих бетонных оболочек, то образуется довольно четкая структурная решетка из системы перекрестных арматурных стержней, замкнуμένων между собой



Бетон, заключенный между ячейками образовавшейся структурной решетки, находится в условиях, аналогичных приведенному выше случаю жесткой облоймы. Поэтому, упругие свойства в этой части бетона также повышаются.

Упругие свойства и предельная прочность самой арматуры тоже оказываются выше, чем в случае обычного железобетона, так как повышается упругость окружающего ее бетона и значительно увеличивается поверхность сцепления.

Исходя из результатов многочисленных опытов и пользуясь понятием об удельной поверхности арматуры, приводим следующее определение армоцемента.

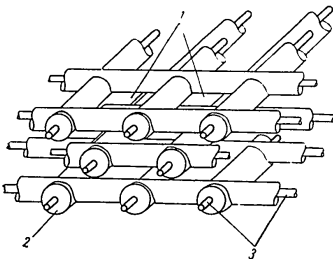


Рис 3 Модель макроструктуры армоцемента

1 — бетон в жесткой облойме, 2 — бетонная оболочка с повышенными упругими свойствами, 3 — проволока тканых сеток

Армоцементом следует считать песчаный бетон марки не ниже «250», равномерно армированный пакетами тканых стальных сеток, величина удельной поверхности которых составляет не менее  $2,5 \text{ см}^2/\text{см}^3$ . Учитывая приведенные выше результаты испытания стали тканых сеток, а также принимая во внимание существенное влияние технологии изготовления на качество армоцемента, мы не считаем возможным приводить в настоящей статье физико-механические параметры армоцемента.

Помимо прочностных характеристик, для практического использования армоцемента в строительстве необходимо также выяснить и другие его физические свойства, и в первую очередь, долговечность материала.

Нами уже проведены довольно большие работы по определению водонепроницаемости и морозостойкости армоцемента, результаты которых мы коротко приводим. Испытания армоцемента на водонепроницаемость проводились на плоских образцах размерами  $360 \times 80 \text{ мм}$  толщиной  $20 \text{ мм}$  на приборе (рис. 4)\*, где образцы зажимались между двумя стальными фланцами с укладкой кольцевых резиновых прокладок. Давление воды создавалось при помощи ручного насоса и контролировалось по манометру. Образцы испытывались под давлением до  $16 \text{ атм}$ .

Исследовалось влияние следующих факторов на водонепро-

\* В дальнейшем эта модель прибора нами была усовершенствована

ницаемость армоцемента: расход цемента; гранулометрический состав песков; водоцементное отношение и удобоукладываемость бетонной смеси; процент и тип армирования; способ уплотнения песчаного бетона; режим твердения.

Анализ полученных результатов позволил сделать определенные выводы, важнейшие из которых мы считаем возможным отметить.

1. Армирование песчаного бетона пакетом тканых стальных сеток с развитой поверхностью арматуры резко повышает его

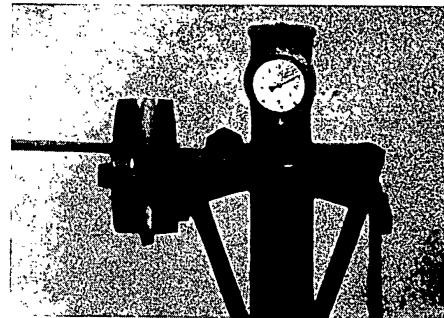


Рис 4 Испытание армоцементных образцов на водонепроницаемость.

водонепроницаемость. Если все неармированные и армированные обычным способом образцы пропускали воду при давлении не более  $2 \text{ атм}$ , то подавляющее большинство армоцементных образцов выдерживало длительное давление воды в  $16 \text{ атм}$  без признаков течи.

2. При увеличении расхода цемента от  $300$  до  $1000 \text{ кг}$  на  $1 \text{ м}^3$  песка водонепроницаемость армоцемента повышается.

3. Увеличение размера ячейки сетки от  $3$  до  $15 \text{ мм}$ , а также уменьшение процента армирования влечет за собой понижение водонепроницаемости армоцемента.

4. При повышении водоцементного отношения водонепроницаемость армоцемента понижается.

5. Армоцементные образцы, пропаренные в обычной пропарочной камере (в паровоздушной среде) имеют меньшую водонепроницаемость, чем образцы естественного или влажного хранения.

Морозостойкость армоцемента изучалась на таких же образцах, успешно прошедших испытание на водонепроницаемость.

Все образцы выдержали испытание на морозостойкость при 100 циклах попеременного замораживания и оттаивания. Трещин, расслоения и других признаков нарушения структуры материала не наблюдалось. Имело место лишь незначительное выкрашивание бетона по угловым граням образцов. Потеря в весе составляла всего 0,5%. Водонепроницаемость образцов после их испытания на морозостойкость практически не изменялась.

Вопросы же, связанные с атмосфероустойчивостью армоцемента, а также с влиянием агрессивных вод на коррозионную стойкость, еще почти не изучены. То же можно сказать и о величине защитного слоя в армоцементе.

Несмотря на отсутствие ряда проверенных данных о расчетных характеристиках армоцемента, имеющиеся уже результаты позволили нам разработать некоторые основные положения проектирования армоцементных конструкций.

Из приведенных выше сведений о методах изготовления и свойствах самого материала видно, что благодаря высокой прочности и плотности, а также ввиду специфики армирования и формирования, армоцемент наиболее пригоден для применения, в первую очередь, в тонкостенных конструкциях.

Практика классического железобетона показывает, несмотря на то, что тонкостенные пространственные конструкции в виде различного рода оболочек в статическом отношении наиболее совершенны, они до сих пор не могут найти сколько-нибудь широкого применения в массовом строительстве.

Основной причиной являются недостатки обычного железобетона (большой собственный вес, малая трещиностойкость) и трудоемкость изготовления таких конструкций (сложность опалубки, арматурных работ, бетонирования).

В этом отношении армоцемент обладает рядом неоспоримых преимуществ. Практическая толщина армоцементной конструкции может быть от 15 до 30 мм. Необходимая жесткость создается приданием соответствующей формы поверхности.

Поскольку толщина армоцемента предопределяется, в основном, конструкцией его арматуры, то даже при изготовлении геометрически сложных тонкостенных систем, в ряде случаев опалубка для их изготовления не только упрощается, но может быть полностью исключена. Значительно упрощаются также арматурные и бетонные работы. Таким образом, переход в ряде проектных решений от тонкостенных железобетонных конструкций к армоцементным позволяет снизить трудоемкость их изготовления и открывает реальные возможности применить тонкостенные оболочки в массовом строительстве.

При разработке основных проектных решений по применению армоцемента, в частности, в сельских зданиях и сооружениях нами в первую очередь учитывалась технико-экономическая сто-

рона задачи. Специфика сельского строительства, заключающаяся в первую очередь в том, что отдельные ч, как правило, небольшие по величине объекты расстредоточены и находятся на значительных расстояниях друг от друга. Поэтому из-за высоких транспортных расходов и ограничений в грузоподъемности и габаритах транспортных средств решения, обычные в промышленном и городском строительстве, оказываются в данном случае неприемлемыми.

Практически исключаются возможности заводского изготовления конструкций, а также применение высокоэффективных средств механизации монтажа.

Результаты технико-экономического анализа ряда проектных решений (в том числе действующих типовых) показали, что применение армоцемента в сельском строительстве наиболее эффективно в совмещенных покрытиях, где несущий элемент одновременно обеспечивает водонепроницаемость кровли, а также в различного рода напорных конструкциях и сооружениях. В последнем случае применение армоцемента приводит к прямому и значительному сокращению расхода такого дефицитного материала, как листовая сталь в конструкциях водонапорных баков, трубопроводов и т. д.

При разработке выполненных нами проектных решений совмещенных и холодных кровель и емкостей из армоцемента, помимо обычных требований к конструкциям, на первый план выдвигалась задача максимального упрощения технологии их изготовления и монтажа.

Был разработан и применен беспалубочный способ изготовления тонкостенных пространственных армоцементных конструкций.

Сущность этого способа заключается в том, что вместо сплошной опалубки для изготовления оболочек гиперболического типа применялась только жесткая бортовая оснастка, фиксирующая проектное положение наружных граней конструкции или сборной детали. К элементам бортов оснастки крепилась система прямолнейных арматурных стержней из катанки диаметром от 3 до 8 мм. Эти арматурные стержни, располагаясь в соответствии с требуемой формой оболочки, являлись в геометрическом отношении прямолнейными образующими, свойственными любой оболочке гиперболического типа и создавали своего рода пространственный несущий арматурный каркас.

На стадии изготовления конструкции этот арматурный каркас воспринимал все монтажные нагрузки (вес привязанных к нему с двух сторон пакетов сеток и свежеложенного бетона), а в эксплуатационной стадии отдельные арматурные стержни служили прокладками между слоями сетки и являлись одновременно частью рабочей арматуры.

На рис. 5 показано несколько типов кровель, состоящих из сборных тонкостенных армоцементных оболочек.

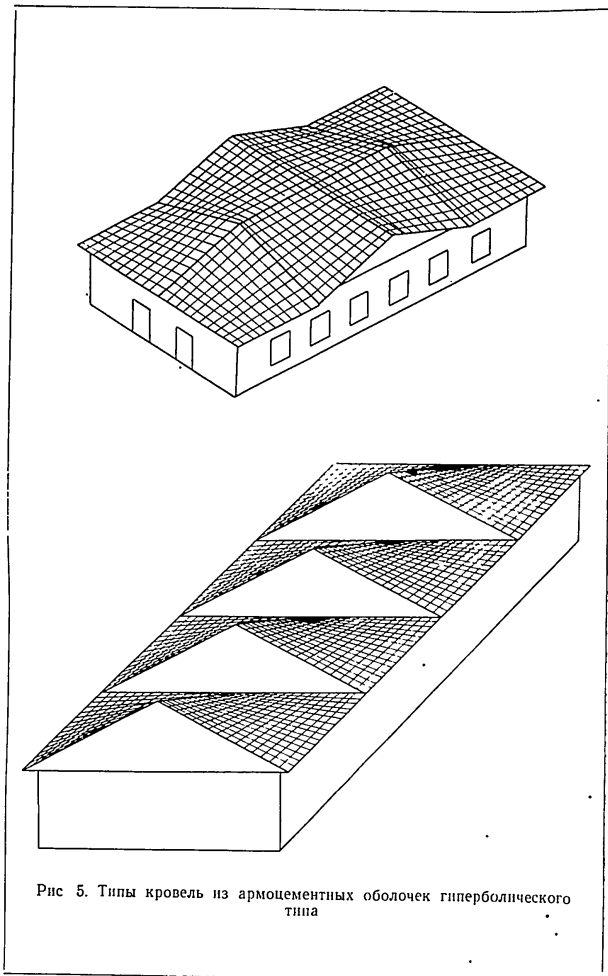


Рис 5. Типы кровель из армоцементных оболочек гиперболического типа

30

Каждая оболочка представляет собой прямоугольный в плане элемент гиперboloида вращения. Стыки отдельных элементов между собой осуществляются путем соединения электросваркой выпусков прямолинейных арматурных стержней и замоноличивания линии примыкания цементно-песчаным бетоном по стыковым накладкам из узких полос тканых сеток. Геометрическое построение типов скатных кровель несложно. В каждом случае применяются однотипные гиперболические оболочки, образующие без-

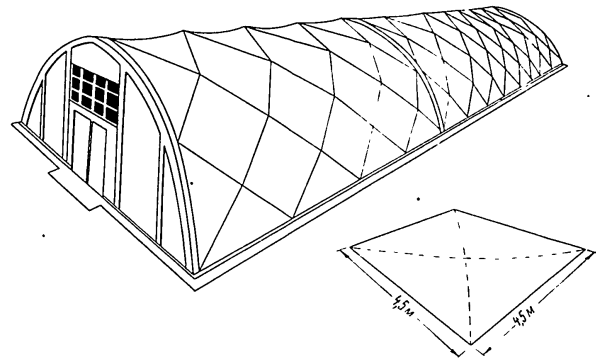


Рис 6. Сетчатый свод из армоцементных оболочек гиперболического типа.

распорный шатровосомкнутый свод с опиранием на четыре грани, либо такой же свод с затяжками, опирающийся на четыре точки.

Для проектирования таких оболочек был разработан приближенный метод расчета, надежность которого подтверждается результатами испытаний конструкции.

Для перекрытия больших пролетов нами разработана конструкция сетчатого свода, также состоящая, по существу, из одного типоразмера сборной тонкостенной армоцементной панели двойной кривизны и перекрестной системы железобетонных контурных элементов (рис. 6). В отличие от существующих конструкций сборных сетчатых сводов (кружально-сетчатые, пластинчатые, своды из треугольных и складчатых элементов), в этом случае материал используется более полно. Дело в том, что каждый замкнутый контур, образованный прямолинейными элементами цилиндрического сетчатого свода кругового очертания, проще всего перекрывается пологой гиперболической оболочкой.

31

При устройстве равнопрочных стыков отдельных элементов между собой, благодаря кривизне поверхности каждой отдельной оболочки, образуются жесткие складки, чем обеспечивается высокая общая жесткость свода в продольном и поперечном направлениях.

Описанный способ возведения тонкостенных армоцементных конструкций оказался наиболее эффективным при изготовлении водонапорных емкостей.

На рис. 7 показана схема арматурного каркаса водонапорного бака, со стенками, имеющими форму гиперболоида вращения с коническим дном.

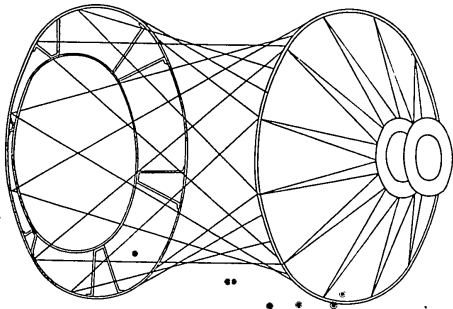


Рис. 7. Схема арматурного каркаса армоцементного резервуара

Несущий арматурный каркас был образован двумя кольцами из арматурных стержней  $\varnothing 16$  мм, обрезка стальной трубы  $\varnothing 360$  мм с двумя приваренными к нему фланцами и системы струн из проволоки  $\varnothing 3$  мм.

Каркас был установлен в перевернутом положении и закреплен на вертикальной стойке так, что была обеспечена возможность его вращения вокруг вертикальной оси.

Струны были натянуты грузами, подвешенными к нижнему опорному кольцу. К арматурному каркасу крепились четыре слоя тканых сеток. Сетки в пределах стенок резервуара натягивались параллельно струнам (один слой сетки изнутри и три слоя — снаружи) с нахлестом в 10 см для образования рабочих стыков.

Сетки связывались между собой проволокой во всех узлах каркаса и образовывали вместе с последним достаточно жесткое основание для нанесения бетонной смеси.

Бетонирование осуществлялось вручную с наружной стороны (рис. 8). Изнутри поверхность бетона только заглаживалась.

32

Толщина стенок оказалась постоянной во всех точках (с отклонениями в пределах 10%) и равной проектной — 2 см.

Была проверена транспортабельность резервуара в процессе его перевозки и монтажа.



Рис. 8. Безопалубочное изготовление армоцементного резервуара.

Одновременно был разработан и проверен другой способ изготовления пологих тонкостенных оболочек двойной кривизны. Показанные на рис. 9 тонкостенные кровельные панели изготавливались в опалубке пакетным способом.

3 Армощемент

33

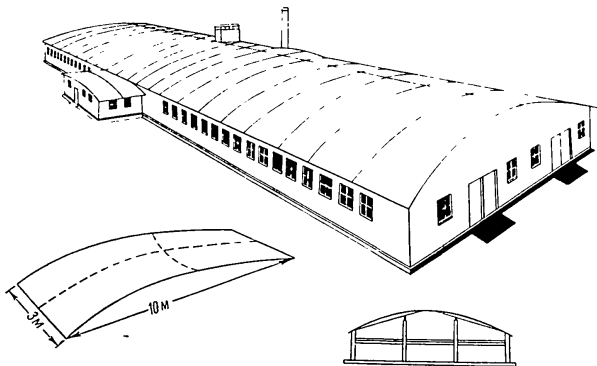


Рис. 9. Кровля из армоцементных оболочек гиперболического типа переменной кривизны

На форму, состоящую из системы кружал и обрешетки, обшитой листами фанеры, настилался слой строительной бумаги. Затем нагигивался пакет сеток и отдельные стержни, в соответствии с проектом. Укладка и уплотнение слоя бетона толщиной 2 см производилась с помощью обычного площадочного вибратора И-117.

После схватывания бетона, панель укрывалась слоем промасленной бумаги и служила формой для изготовления следующей панели.

На одной форме последовательно изготовлялся пакет из 8—10 панелей. Затем вся ферма с пакетом панелей укрывалась брезентом и пропаривалась.

Съем панелей с форм и их монтаж осуществлялся с помощью специальной рычажной траверсы (рис. 10).

Транспортability этого типа панелей также была проверена в процессе перевозки и монтажа (рис. 11).

Сейчас в стадии разработки и опытной проверки находятся еще несколько типов тонкостенных армоцементных конструкций (в частности, бесшовных напорных труб диаметром 100—150 мм), где также учтена специфика состава бетона и схемы армирования армоцемента.

В заключение следует отметить трудности, связанные с практическим применением армоцемента в строительстве.

Основная проблема, возникающая в связи с внедрением армоцементных конструкций, помимо продолжения исследований

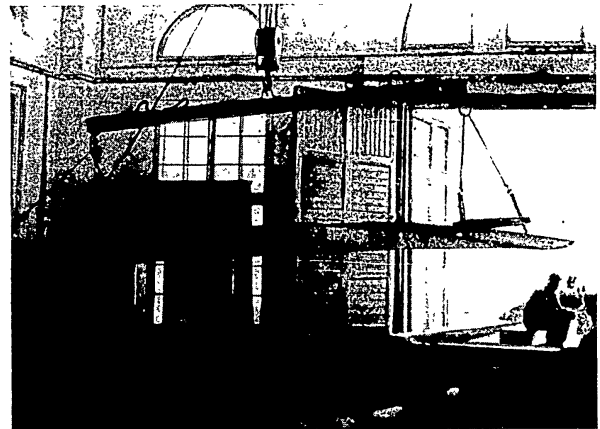


Рис. 10 Рычажная траверса для подъема панелей

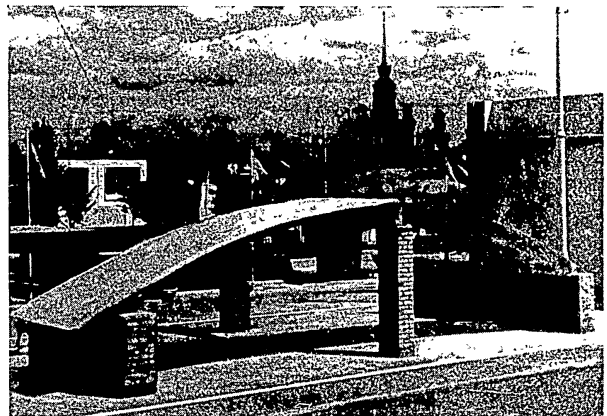


Рис. 11 Фрагмент кровли

армоцемента и определения всех его расчетных параметров — это необходимость в ближайшее время обеспечить выпуск требуемого количества тканых сеток нужного сортамента и гарантированного качества.

В настоящее время такие сетки выпускаются в малом количестве, низкого качества и с высокой себестоимостью изготовления.

Второй важный вопрос заключается в том, чтобы отечественная промышленность наладила массовый выпуск бетономета с устойчивым технологическим режимом и необходимой для изготовления армоцементных конструкций производительностью.

Применение для этих целей существующих средств механизации бетонных и штукатурных работ, как правило, оказывается нецелесообразным.

## АРМОЦЕМЕНТ И НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ АРМОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Инженер В. К. БАЛАВАДЗЕ*

Первые в истории техники железобетонные изделия, по существу являлись армоцементными, так как для их изготовления использовались цементно-песчаный раствор и проволочная сетчатая арматура.

Однако потребовалось целое столетие для перехода от первых примитивных армоцементных изделий прошлого века к современным армоцементным сооружениям в том виде, как их осуществил в наше время известный итальянский инженер Луиджи Нерви.

Как известно, Нерви армировал создаваемые им конструкции значительным количеством стальных сеток с таким расчетом, чтобы получить дисперсное (частое и равномерное) распределение арматуры по всему телу конструктивного элемента. В результате этого удалось получить новый вид железобетона, качественно отличного от обычного, получивший название армоцемента.

Все исследователи, работающие в области изучения свойств армоцемента, приходят к единому мнению, что этот материал обладает целым рядом весьма ценных качеств, в том числе повышенной прочностью, упругостью и трещиностойчивостью.

В современной строительной практике армоцемент нашел рациональное применение при возведении тонкостенных пространственных сооружений как с криволинейными, так и с линейчатыми поверхностями.

К сожалению, приходится констатировать, что до настоящего времени армоцементу, как строительному материалу, не дано точное определение. В результате в технической литературе можно нередко встретить слово армоцемент совершенно неправильно используемое для характеристики обычной бетонной конструкции, армированной одним или двумя слоями металлической сетки.

С нашей точки зрения, для наиболее правильного определения армоцемента, как материала, можно применить следующую формулировку.

Армоцементом называется новый вид железобетона, представляющий собой часто и равномерно армированный стальными сетками мелкозернистый бетон с песчаным заполнителем, характеризующийся высокими упругими свойствами и трещиноустойчивостью. Основное назначение армоцемента — изготовление тонкостенных пространственных конструкций.

В Тбилиском научно-исследовательском Институте сооружений и гидроэнергетики за последние годы были проведены многочисленные опыты, направленные на исследования вопросов возникновения трещин в железобетоне и, в частности, влияния характера армирования на работу бетона.

Проф. Г. Д. Цискрели [1] (работающий с 1940 г. в области исследования появления трещин в железобетоне) пришел к интересному выводу, а именно, что армирование повышает растяжимость бетона тем больше, чем больше заложено в бетон арматуры и чем равномернее она распределена в теле элемента. Исходя из этого проф. Г. Д. Цискрели на IV Всесоюзной конференции по бетону и железобетону выступил с предложением комбинированного армирования, заключающегося в том, что к обычному арматурному каркасу со стороны растянутой зоны элемента прикрепляется стальная сетка.

Экспериментальная проверка подтвердила рациональность подобного армирования [2].

Весьма интересные данные были получены в результате исследовательских работ, проведенных в ТНИСГЭИ в течение последних пяти лет [3, 4, 5, 6].

В частности, этими исследованиями было установлено, что армирование повышает не только предельную растяжимость бетона, но и предельную прочность на растяжение и тем больше, чем ближе бетон расположен к поверхности арматуры, чем выше процент армирования и чем чаще размещена арматура.

Обычно принято считать, что бетон является малорастяжимым и хрупким материалом, то есть, его относительное предельное удлинение составляет в среднем всего [10—15]  $10^{-5}$  и что разрыв наступает внезапно, без предварительного появления чисто пластических деформаций растяжения. Однако, опыты этого не подтверждают. В данном случае не имеется в виду связанное состояние бетона, когда он проявляет большую предельную растяжимость, как это, например, имело место еще в опытах Консидера с армированным бетоном или как было установлено в сравнительно недавних опытах проф. В. В. Михайлова [7] (испытание бетона в замкнутых стальных кондукторах) или, наконец, как этого добился проф. Нерви в своих армоцементных конструкциях. [8]

В данном случае мы имеем в виду опыты над свободным неармированным бетоном, подвергнутым осевому растяжению или изгибу.

Многочисленная серия опытов была нами проведена над призмами (восьмерками) и балками из легкого и тяжелого бетона.

Необходимо отметить, что исследование вопросов трещинообразования в легком железобетоне во многом помогло нашей работе, так как в легком бетоне лучше проявляются пластичность и деформативные свойства этого материала.

Всякий бетон, в особенности легкий, как это было экспериментально установлено, обладает ясно выраженной пластичностью (текучестью). Нам удалось получить характерную диаграмму деформаций бетона при осевом растяжении и изгибе.

Следует напомнить, что несколько диаграмм, отображающих работу бетона на изгиб, было получено еще проф. Я. В. Столяровым [9], однако чисто-пластические деформации растяжения бетона им изображались в виде прямой, параллельной оси абсцисс, то есть он считал, что не происходит уменьшения прочности бетона на растяжение при его пластическом удлинении. Дальше мы покажем, что фактически такое уменьшение прочности всегда имеет место.

Раньше чисто-пластическая деформация растяжения бетона не улавливалась исследователями в кратковременных опытах на осевое растяжение, так как эти опыты во избежание порчи измерительных приборов, а главным образом, в результате недооценки пластичности бетона перед самым разрывом, не доводились до конца и прекращались при напряжении, равном  $(0,7—0,8) R_p$  — предела прочности на растяжение. Полученную при этом кривую экстерполировали до значения  $R_p$ .

Поэтому мы считали необходимым поставить опыты таким образом, чтобы измерения на образцах не прекращались вплоть до момента разрыва. С этой целью бетонные образцы устанавливались на универсальном прессе двумя способами (схематически показано на рис. 1, а, б). При этом вокруг образца на стойках пресса устраивали веревочную сетку и между нижней гранью образца и нижней плоскостью пресса перед разрывом (за одну, две ступени загрузки до разрыва) оставляли расстояние 3—4 мм. Благодаря этому при разрыве образцы приборы были гарантированы от повреждения, а фиксация деформаций производилась вплоть до момента разрушения образца.

Результаты опыта на осевое растяжение, а также на изгиб показаны на диаграмме ОАВ (рис. 1).

Область текучести бетона получается перед разрывом в каждом опыте и улавливается, когда трещина проходит в пределах базы тензометра (или вне, но близко от ножек тензометра).

Таким образом, полное предельное относительное удлинение бетона представляет собой сумму предельной упруго-пластической деформации растяжения и предельного чистого пластического растяжения

Наши опыты производились главным образом (за исключением экспериментов для установления изменения прочности и растяжимости бетона во времени) над бетонными образцами месячного и двухмесячного возраста и показали, что относительное предельное чисто-пластическое удлинение тяжелого бетона колеблется в пределах от  $20 \cdot 10^{-5}$  до  $60 \cdot 10^{-5}$ , относительная предельная упруго-пластическая растяжимость легкого бетона достигает  $(40 - 50) \cdot 10^{-5}$ , в среднем  $(10 - 25) \cdot 10^{-5}$ ; полное относи-

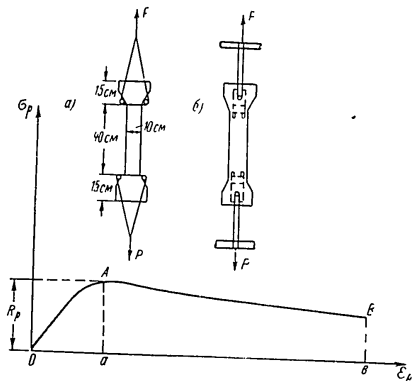


Рис. 1. Схема установки образцов на универсальном прессе и диаграмма осевого растяжения  
 OA — область упруго-пластических деформаций (текучести).  
 AB — область чисто-пластической деформации

тельное предельное удлинение легкого бетона в отдельных случаях имеет и даже превышает значение  $100 \cdot 10^{-5}$

Бетон, как сложную многофазную систему, схематически можно представить в виде пространственной решетки из цементного камня, содержащего по всей своей массе зерна заполнителя, макро- и микропоры, насыщенные водными растворами минеральных веществ и воздухом. Бетон содержит также множество беспорядочно разбросанных микрощелей.

Из материалов бетона главным, определяющим его качество, является цементный камень, который состоит, как известно, из двух основных структурных составляющих: коллоидной массы — геля и пронизывающего геля кристаллического сростка, являющегося скелетом цементного камня.

Для объяснения приведенной выше диаграммы (см рис. 1) зависимости между напряжением и деформацией бетона при ра-

стяжении нами был предложен механизм пластической деформации бетона, представляющий в следующем виде:

Бетонный элемент, подвергнутый растяжению в самом начале нагружения, деформируется упруго. Гель, вскоре достигнув предела упругости, пластически растягивается, в то время как кристаллический сросток продолжает работать упруго и одновременно сдерживать течение геля.

В этой стадии напряженности бетон работает упруго-пластически, и у пор и микротрещин (имевшихся еще в ненагруженном бетоне) начинается концентрация напряжений и интенсивная текучесть. В результате этого происходит перераспределение внутренних сил в бетоне. Места концентрированных напряжений, где уже началась интенсивная текучесть, разгружаются за счет дополнительного нагружения все еще упруго работающего кристаллического сростка.

При дальнейшем возрастании нагрузки, когда бетон достигает предельной прочности на растяжение —  $R_p$ , напряжение цементного камня (в бетоне) дойдет до его предела прочности  $R_{рн}$  равного сумме «пределов прочности» геля —  $R_{рн}^g$  и кристаллического сростка —  $R_{рн}^k$ .

В данном случае «пределы прочности» мыслятся как критические силы, предельно выдерживаемые, соответственно, гелем и сростком — порознь поделенные на площадь сечения цементного камня (так как гель и кристаллический сросток, являющиеся структурными составляющими цементного камня, представляются часто и равномерно распределенными по всей массе цементного камня).

В это время в кристаллическом сростке произойдут пластические деформации: одни кристаллы сдвинутся, другие будут отрываться друг от друга, некоторые — разрушаться (по слабым местам спаянности); появится много новых ориентированных микрощелей, количество и размеры которых будут увеличиваться. Кристаллический сросток начнет слабеть, и освобожденный гель потечет более интенсивно под действием почти равновесного напряжения; точнее — с дальнейшим ослаблением кристаллической структуры бетон потечет при уменьшающемся (но не до нуля, а до  $R_{рн}^g$ ) напряжении.

Достигнув предельной растяжимости, бетон при напряжении, почти равном  $R_{рн}^g$ , разрывается (дает трещину). Разрыв бетона в этот момент обуславливается тем, что быстрое перегружение освобождающегося от связей со сростком геля вызывает также быстрое его пластическое удлинение. В результате этого гель не успевает до конца развить свою текучесть и разрывается подобно пластическому материалу, подвергнутому внезапному действию разрывающей силы.

Арматура не придает пластических свойств бетону. Бетон сам



имеет способность пластически деформироваться по достижении предела прочности. Арматура, если она достаточно сильная, способствует постепенному развитию чисто-пластической деформации растяжения бетона. До получения предела прочности бетона на растяжение, арматура повышает устойчивость структуры бетона, в частности, цементного камня, приняв на себя дополнительную нагрузку в результате перераспределения внутренних сил и сдерживая возможную в отдельных местах бетона пластичность (от концентрации напряжений у имевшихся в бетоне пор и микрощелей). Этим самым разгружается кристаллический сросток и как бы уплотняется бетон, то есть делается более однородным; повышается его упругость, предельная прочность и растяжимость.

Свойства армоцемента, как весьма упругого, прочного и трещиностойчивого материала, лишний раз подтверждает справедливость высказанного положения.

ТНИСГЭИ в творческом содружестве с Министерством строительства Грузинской ССР проводит экспериментальные исследования армоцемента и армоцементных конструкций. В настоящее время эти работы еще не закончены. В результате исследований была установлена высокая упругость армоцемента и его большое предельное относительное удлинение, достигающее величины  $(250 - 300) \cdot 10^{-5}$ , почти равной упругой предельной растяжимости арматуры. При этом испытывались на изгиб армоцементные плиты-полоски размерами  $2 \times 13 \times 100$  см, армированные стальными сетками с ячейкой  $5 \times 5$  мм и диаметром проволоки 0,6 мм. Измерения удлинения армоцемента производились двумя тензометрами с базой в 20 и 100 мм, поставленными на участке чистого изгиба. Оба тензометра показывали почти одинаковые удлинения, что говорит о том, что армоцемент упруг и работает почти как однородный материал. О высокой упругости армоцемента говорит тот факт, что при изгибе до удлинения  $(250 - 300) \cdot 10^{-5}$  и затем постепенном ее разгрузении, плита не давала остаточных деформаций и возвращалась в первоначальное состояние.

Значение полученных результатов заключается в том, что они открывают возможность рассчитывать армоцементные конструкции по теории упругости и эффективно использовать высококачественные стали без предварительного напряжения армоцемента; эти же результаты дают основание предполагать о весьма малой ползучести армоцемента, что конечно, должно быть еще проверено экспериментальным порядком.

Наши выводы вполне согласуются и с результатами опытов растяжения армоцементных призм-восьмерок, полученных НИИСельстройем<sup>1</sup>. К сожалению авторы из НИИСельстроя не сделали

<sup>1</sup> Армоцемент. Исследования НИИСельстроя П. Крутов, Е. Гродский, С. Титов «Строительная газета» № 17 от 7 февраля 1958 г.

всех необходимых выводов из результатов своих опытов. Анализ построенного ими графика (рис 2), помимо высокой упругости и большой предельной растяжимости показывает 8-кратное превышение предела прочности раствора в армоцементе, по сравнению с неармированным раствором той же марки.

Рассматривая с позиций установившейся теории и практики армоцемента известные опыты проф. В. В. Михайлова над бетонными балками в стальных кондукторах, надо полагать, что бетон в кондукторе работал как упругий материал и тогда, когда он давал большие относительные удлинения, достигающие  $250 \cdot 10^{-5}$ .

Что эти высокие деформации были упругими, а не пластическими, видно из указания самого проф. В. В. Михайлова о том, что испытание бетонных балок, не доведенных до разрушения и «сохранившихся целыми после изгиба в кондукторе, показали, что прочность их, а также предельная растяжимость не изменились от предварительного изгиба в кондукторе». Так мог вести себя только упругий материал, способный после сильной деформации вернуться в первоначальное свое положение.

Таким образом, есть основание предполагать, что связанный очень сильной упругой средой бетон способен работать упруго вплоть до момента образования в нем трещины, то есть до разрыва.

Никто, даже Нерви, до сих пор не решился предложить изготовление армоцемента на легком заполнителе и его применение в ответственных тонкостенных конструкциях, хотя преимущества легкого бетона на пористых заполнителях, по сравнению с тяжелым, общеизвестны. Он имеет малый объемный вес, пониженную звуко- и теплопроводность, повышенную деформативность (растяжимость и сжимаемость).

Есть еще одна, очень важная положительная особенность легкого бетона, подтвержденная опытами, проведенными нами в ТНИСГЭИ, а именно: в железобетоне легкий бетон, при прочих равных с тяжелым бетоном условиях, приобретает большую прочность и растяжимость. Следовательно, армирование оказывает большее влияние на легкий бетон, чем на тяжелый, повышая у первого предельную растяжимость и прочность больше, чем у второго. Опыты также показывают, что влияние армирования растет в зависимости от количества и распределения арматуры.

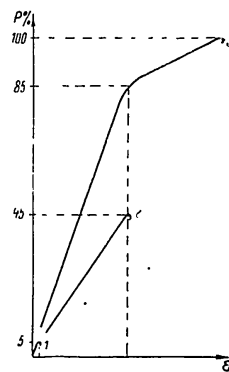


Рис 2 Диаграмма опытов на растяжение, по данным НИИСельстроя.

Имея опытные данные о более сильном влиянии армирования на легкий бетон, чем на тяжелый, мы подвергли испытанию на изгиб одинаково армированные стальными сетками плиты-доски из цементного раствора на чистом туфовом песке с отношением весовых количеств цемента и песка 1 : 1 и тоже на чистом вольском (твердом) песке с тем же весовым отношением. Таким образом, легкий армоцемент имел значительно меньший расход цемента на один кубометр раствора.

Несмотря на это, результаты испытания показали большую (на 20—25%) прочность и трещиностойчивость легкого армоцемента.

Опытами было установлено, что легкий бетон на естественных заполнителях достаточно морозоустойчив и не менее водонепроницаем, чем тяжелый бетон.

Исходя из сказанного, мы нашли возможным сделать предложение о применении в ответственных тонкостенных конструкциях легкого армоцемента.

В результате исследований армоцементных элементов, проведенных ТНИСГЭИ, было установлено, что тонкостенным плоским армоцементным плитам в молодом возрасте (24—48 часов) можно придать криволинейное очертание путем их непосредственного гнутья.

При этом происходит пластическая деформация армоцемента без трещинообразования, заметного нарушения структуры и снижения прочности.

Оптимальным возрастом армоцемента для его формирования путем гнутья, как было установлено опытом, является 24 часа. Гнуть плиты можно любым способом, в частности, непосредственным нагружением или натягиванием на форму нужного очертания.

Наши опыты показали, что выгибанием плоских тонкостенных армоцементных плит можно получить пологие оболочки с отношением стрелы прогиба (подъема) к пролету  $\frac{1}{18}$  -  $\frac{1}{12}$ .

Для легкого армоцемента (в наших опытах применялся туфовый песок) можно достичь отношения, равного  $\frac{1}{12}$ , а для обычного армоцемента  $\frac{1}{18}$ .

Состав раствора, применявшийся в наших опытах, был 1 : 1, то есть цемента и песка по весу в одинаковых количествах. Защитный слой армоцементных плит имел толщину 2 мм.

Указанная особенность армоцементных плит молодого (24 часа) возраста успешно может быть использована для упрощения и удешевления изготовления сборных тонкостенных конструкций — вспарушенных плит, пологих оболочек и пр. Изготовление криволинейных опалубок при этом способе не требуется, а сами элементы могут быть привибрированы.

44

ТНИСГЭИ в содружестве с Министерством строительства Грузинской ССР разработал также новую технологию формирования свежензготовленного вибрированного армоцемента, позволяющую весьма простым способом изготавливать армоцементные трубы, складчатые и криволинейные, тонкостенные сборные элементы, в том числе и волнистые.

В основу новой технологии формирования армоцемента легко установленное нами положение о том, что свежензготовленный тонкостенный, вибрированный, армоцементный плоский элемент, освобожденный от бортов формы (опалубки), сохраняет свои геометрические размеры не только в состоянии покоя, но и при скольжении по плоскому поддону, или же при перемещении вместе с поддоном по плоскому дну. Элемент при перемещении с плоскости на криволинейную поверхность не повреждается, проявляет большую трещиностойчивость и сохраняет постоянную толщину. Это свойство объясняется устойчивой связностью армоцемента и большой эластичностью в результате дисперсного сеточного армирования.

Разработанная нами технология чрезвычайно проста. Она состоит в том, что свежензготовленные армоцементные тонкостенные плиты сразу же после вибрации освобождаются от съемных бортов, после этого к опалубке вплотную подводятся замкнутые или незамкнутые формы нужного криволинейного очертания. На эти формы и перемещаются посредством скольжения или путем наматывания отформованные армоцементные плиты.

При косой намотке следует брать узкую армоцементную плиту-полоску шириной 15—20 см.

Опыты показали, что получение армоцементных труб свободной намоткой возможно при следующих условиях:

1) при прямой намотке плиты толщиной 2 см диаметр формы должен быть не менее 25 см;

2) при спиральной косой намотке плиты толщиной 2 см диаметр формы должен быть не менее 40 см.

Армоцементные трубы любого сечения и диаметра можно изготовить пользуясь предлагаемой технологией при условии обеспечения плотности прилегания плиты к поверхности формы и наружного обжатия.

Сравнительно слабым местом при спиральной намотке являются швы между плитами-полосками. Но это затруднение легко преодолевается двойной намоткой, когда на первый намотанный свежий слой армоцемента толщиной в 1 см, наматывается второй такой же слой со смещением на половину ширины плиты-полоски. Этим достигается надежное перекрытие швов. Если требуется по расчету, можно между слоями уложить продольные арматурные стержни, связанные между собой провололочной сеткой в виде замыкающегося корсета.

На рис. 3 показаны изготовленные на основе новой технологии некоторые армоцементные изделия.

45

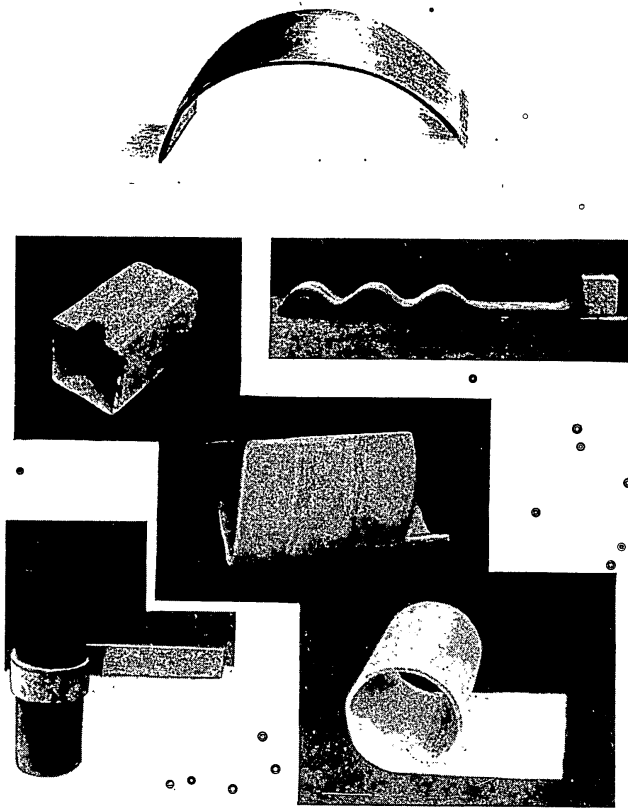


Рис 3 Образцы армоцементных изделий, отформованных по новой технологии, предложенной ТНИСГЭИ.

ТНИСГЭИ и Министерство строительства Грузинской ССР разработали ряд проектов армоцементных сборных конструкций для покрытий и перекрытий с применением элементов, изготовляемых по описанной выше технологии.

В настоящее время идет подготовка к испытанию этих конструкций для последующего их внедрения

В частности, авторским коллективом (З. С. Джапаридзе, В. К. Балавадзе и Г. М. Чомахидзе) предложен проект армоцементной сборной пустотелой панели междуэтажного перекрытия (рис. 4).

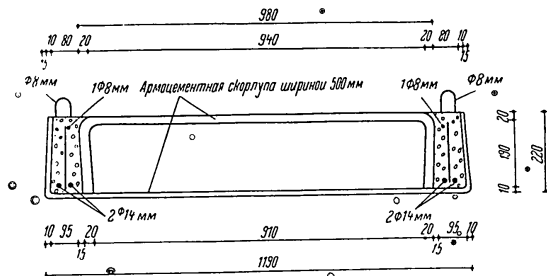


Рис 4. Армоцементная пустотелая панель междуэтажного перекрытия

Министерство строительства Грузинской ССР в содружестве с ТНИСГЭИ наряду с дальнейшим изучением свойств армоцемента и разработкой новых видов конструкций из него, наметило мероприятия для создания агрегатов по изготовлению армоцементных изделий на основе новой технологии формования.

Создание этих агрегатов является значительным вкладом в дело улучшения и удешевления армоцементного строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Цискрели Г. Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов. Госстройиздат, М 1954.
- 2 Цискрели Г. Д. Вопросы расчета железобетонных конструкций на трещинообразование. Труды IV Всесоюзной конференции по бетону и железобетонным конструкциям. М 1949.
- 3 Балавадзе В. К. Некоторые вопросы трещинообразования в легком железобетоне. Сообщения АН ГССР, т. XVII, № 4, Тбилиси, 1956.
- 4 Балавадзе В. К. К вопросу о несущей способности легких железобетонных конструкций по трещинообразованию. Сообщения АН ГССР, т. XVII, № 8, Тбилиси, 1956.

5. Балавадзе В. К. О некоторых особенностях легкого железобетона. Сообщения АН ГССР, т. XVII, № 5, Тбилиси, 1957.
6. Балавадзе В. К. Определение предельной растяжимости и предела прочности при растяжении армированного бетона методом Фере. Сообщения АН ГССР, т. XVII, № 3, Тбилиси, 1957.
7. Михайлов В. В. Самонапряженный железобетон. Научное сообщение ЦНИПС, Госстройиздат, М 1956.
8. Нерви Пьер Лунджи. Строить правильно. Госстройиздат, М, 1956.
9. Столяров Я. В. Введение в теорию железобетона. Госстройиздат, М 1941.
10. Симонов М. З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. Госстройиздат, М, 1956.
11. Джиншелейшвили Г. А., Джапаридзе З. С., Балавадзе В. К. Армоцемент — упругий материал «Строительная газета» от 20 августа 1958 г.

## АРМОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

(по материалам Института Оргэнергострой)

Инженеры В. Б. МИНЦ, А. Е. НОВИЦКИЙ

Исследования физико-механических свойств армоцемента ведутся институтом Оргэнергострой с 1957 г.

Первоочередным вопросом данного исследования явилось определение модуля упругости и прочности армоцемента на растяжение при изгибе.

Для испытания были подготовлены серии опытных армоцементных плит толщиной 10—15 мм и размером в плане 1200 × 475 мм. Образцы изготовлялись на высокопрочном цементе марки «500» и обычном речном песке (песок волжский).

Предел прочности раствора, определяемый на балочках размером 13 × 2 × 2 см, составлял 95 ± 105 кг/см<sup>2</sup>. Расход цемента принимался из расчета 1000 кг на 1 м<sup>3</sup> песка.

Раствор приготавливался с водоцементным отношением 0,24 ± 0,3, что соответствовало его подвижности 12—19 см (ГОСТ 310-51). Формование образцов производилось в металлических формах со съёмными бортиками, позволяющими изменять толщину формируемых плит.

В качестве арматуры использовалась металлическая тканая сетка с ячейкой 8 × 8 мм и диаметром проволок 0,7 ± 1,2 мм, причем количество сеток в образцах было различным (1, 2, 4, 6, 8, 10) и назначалось с таким расчетом, чтобы общий расход металла во всех образцах был приблизительно одинаков и составлял 400 ± 500 кг на 1 м<sup>3</sup> армоцемента. Это дало возможность проследить зависимость механических свойств армоцемента от диаметра проволоки сеточного каркаса и количества сеток при постоянной толщине образца.

Основные характеристики образцов и полученные опытным путем механические характеристики приводятся в табл. 1.

Испытание образцов производилось на специальном стенде (рис. 1), на котором опытные плитки изгибались по схеме свободно опертой плиты с четырьмя сосредоточенными силами.

В процессе испытаний на каждой ступени загрузки измерялся полный прогиб, соответствующий данному усилию, а также деформации в растянутой зоне испытываемой плитки. Величина ступени загрузки принималась с таким расчетом, чтобы с уве-

Таблица 1

№№ серии плит	Индекс	Расчетная толщина плиты, мм	Характеристики сетки			Расход металла на 1 м <sup>2</sup> армоцемента	Трещиностойчивость				Примечание		
			диаметр проволоки, мм	размер ячеек, мм	предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>		напряжение в растнутой зоне при раскрытии трещин						
							значение постоянного модуля упругости	максимальное значение модуля упругости	0,01 мм	0,05 мм		0,1 мм	0,2 мм
14	1 с	15,0	2,0	0,8×0,8	36	420	45	150	27	33	51	99	
2	1с—4ш—1с	11,5	1,2	0,8×0,8	36	328	50	200	29	54	137	164	
6	4с—6ш	16,0	1,2	0,8×0,8	36	500	40	540	53	83	160	211	
16	2с—ш—2с—ш—2с	11,5	0,7	0,8×0,8	76	358	55	630	100	115	195	250	
18	4с—3ш—4с	11,5	0,7	0,8×0,8	36	529	60	660	215	300	364	393	

Условные обозначения: с—сетки; ш—шайбы; бш—без шайб

личением нагрузки напряжения в образце увеличивались не более чем 12 → 15 кг/см<sup>2</sup>, после чего давалась десятиминутная выдержка, необходимая для стабилизации показаний измерительной аппаратуры.

Измерение прогибов производилось прогибомерами типа ПМ-3, расположенными попарно, симметрично относительно оси изгиба, в трех сечениях плитки (в середине пролета и на опорах).

Деформации измерялись электротензотрами омического сопротивления с выходом на статический измеритель деформаций, представляющий собой одинарный мост, работающий в равновесном режиме.

Схема размещения измерительной аппаратуры показана на рис. 2.

Измеренные при испытании величины прогибов и деформаций явились исходным материалом для вычисления модуля упругости и зависимости его от напряжения в материале (график на рис. 3).

Здесь необходимо отметить, что в качестве рабочей гипотезы проводимых исследований было принято высказанное инженером Нерви предположение, что при насыщении бетонного тела тонкой проволочной сеткой с расходом металла 400 → 500 кг на 1 м<sup>2</sup> изделия получаемый материал начинает работать как однородный. В соответствии с этим, все расчеты производились по методам и формулам, принятым для однородного материала. Модуль упругости для однородного тела можно вычислить по деформациям при изгибе пользуясь формулой:

$$E = \frac{AP}{Jl}$$

где:  $A$  — коэффициент, зависящий от схемы приложения нагрузок, величины пролета и формы сечения,

$P$  — нагрузка, кг,

$f$  — прогиб, полученный в процессе опыта,

$J$  — момент инерции сечения опытной плиты.

Рассматривая зависимость (рис. 3) модуля упругости от напряжений при изгибе образцов можно отметить следующее: во-первых, модуль упругости на растяжение при изгибе (в пределах напряжений 50—70 кг/см<sup>2</sup>) является величиной постоянной.

Во-вторых, величина численного значения модуля упругости зависит от количества сеток и диаметра проволоки в них. Максимальный модуль упругости зарегистрирован в образце с восемью сетками.

Рассматривая зависимость, представленную на графике (рис. 3), нельзя не отметить еще одно, чрезвычайно интересное обстоятельство: при изготовлении сеточных каркасов опытных образцов между сетками вкладывались металлические шайбы. Предполагалось, что включение шайб увеличивает момент инерции сечения и повышает несущую способность конструкции. Однако, испытания серии образцов, изготовленных без шайб, дали самые неожиданные результаты. Оказалось, что их прочностные показатели значительно выше, чем в таких же плитах с шайбами. Модуль упругости этих плит (серии 2, 6, 14, 16, 18, рис. 3) приближается по своему значению к модулю плит, имеющих сеточный каркас из шести и восьми сеток. Это позволило отказаться от применения шайб в сеточных каркасах, что намного облегчит технологию изготовления армоцементных конструкций в производственных условиях.

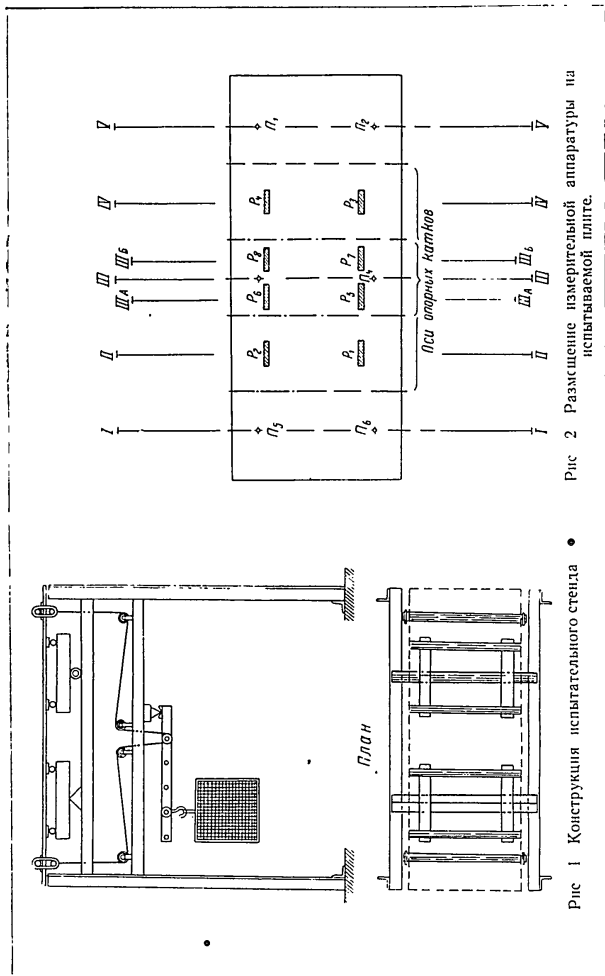


Рис 1 Конструкция испытательного стенда • Рис 2 Размещение измерительной аппаратуры на испытываемой плите.

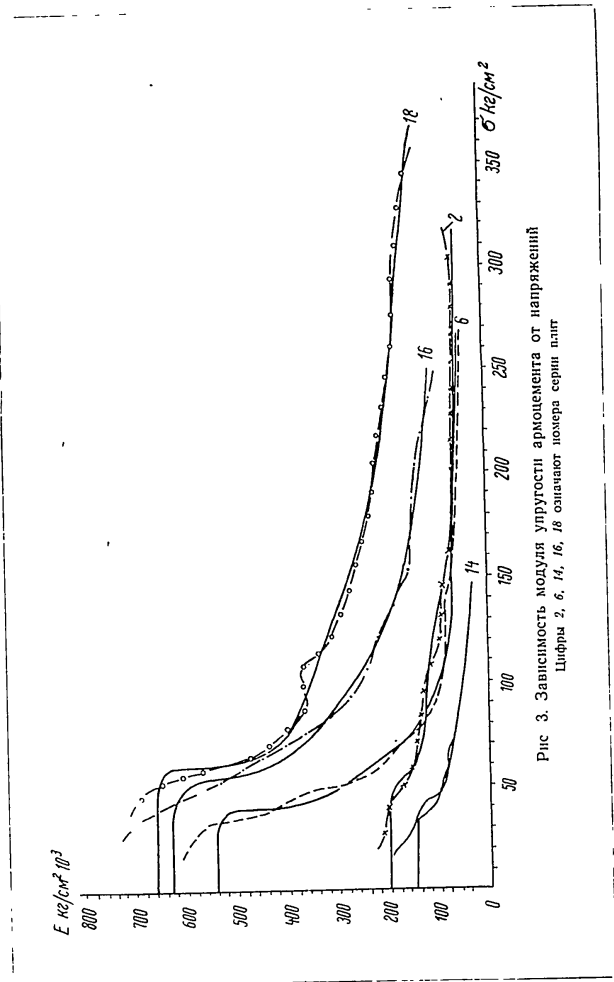


Рис 3. Зависимость модуля упругости армостента от напряжений  
Цифры 2, 6, 14, 16, 18 означают номера серии плит

Не менее важным направлением в исследовании армоцемента является изучение его деформативности и трещиностойчивости. Образование даже незначительных по ширине раскрытия трещин может вызвать коррозию сеточного каркаса и привести к разрушению конструкции.

На рис. 4 приводится зависимость относительных деформаций от напряжений в армоцементных образцах. На каждой кривой нанесены точки, соответствующие максимальной ширине раскрытия трещин. Положение точек на кривой говорит за то, что дефор-

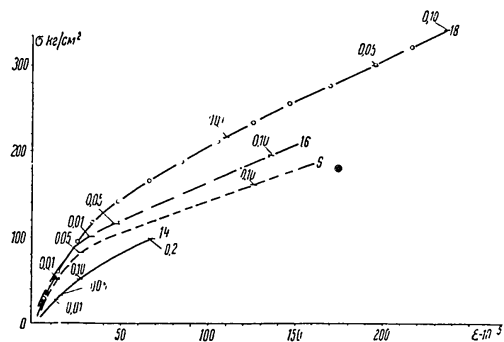


Рис. 4. Зависимость относительных деформаций от напряжений и ширина раскрытия трещин.

мативность и трещиностойчивость находятся в прямой зависимости от степени насыщения армоцемента тонкой сеткой. Для образца с двумя сетками раскрытие трещин на 0,05 мм происходит при деформации 0,15 мм/м и напряжении 25 кг/см<sup>2</sup>, а для образца с восемью сетками, та же ширина раскрытия происходит уже при деформациях 0,45 мм/м и напряжении 185 кг/см<sup>2</sup>.

В начале процесса трещинообразования развитие трещин очень незначительно, причем с увеличением нагрузки наблюдается появление новых трещин без увеличения первоначальных. На последних ступенях нагрузки трещины располагаются по узлам сеточного каркаса на расстоянии 7—9 мм, что в среднем соответствует шагу ячейки сеточного каркаса. Такое распространение трещин показывает, что в элементах, работающих в одном направлении, можно уменьшить число поперечных проволок, применяя прямоугольную сетку с отношением сторон ячейки 1:2, 1:3, и тем самым сократить расход стали в армоцементе на 15—20%.

На рис. 5 показана плита после испытания. Для рельефности все трещины закрашены тушью.

В отличие от бетона, армоцемент не имеет хрупкого разрушения, и даже после раскрытия многих трещин на величину до 0,1 мм продолжает нести значительные нагрузки (см. график на рис. 4). Однако, из условий водонепроницаемости и коррозиестойчивости арматурной сетки при незначительном защитном слое, толщина которого составляет 1—1,5 мм, максимальную величину раскрытия трещин следует в расчетах принимать, по нашему мнению, не более 0,05 мм. На рис. 6 представлен график,

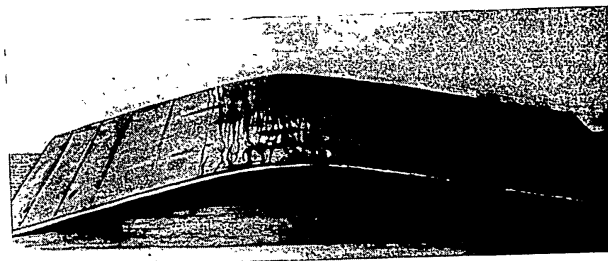


Рис. 5. Характер распространения трещин при испытании на изгиб.

показывающий зависимость между величиной раскрытия трещин и напряжением в материале, который подтверждает сделанное заключение о том, что несущая способность армоцемента при одинаковом раскрытии трещин тем выше, чем больше насыщенность его тонкой сеткой.

Полученные в результате испытаний данные безусловно не могут считаться окончательными и носят интуитивный характер, однако, позволяют сделать некоторые предварительные выводы.

1. Армоцемент можно считать довольно высокопрочным материалом, хорошо работающим на растяжение при изгибе.

2. В пределах рабочих растягивающих напряжений 50—70 кг/см<sup>2</sup> армоцемент работает упруго и может рассматриваться как однородный материал.

3. Абсолютное значение модуля повышается с уменьшением диаметра проволоки при равном расходе металла на 1 м<sup>3</sup> материала.

4. С увеличением количества сеток при одинаковом диаметре проволоки и для данной толщины элемента величина модуля

Таблица 2

№ п/п	Наименование объекта	Пролет, м	Ширина, м	Толщина, см	Показатели на одну арку		Показатели на 1 м <sup>2</sup> горизонтальной проекции покрытия					Примечания	
					вес стали, т	вес оболочки (всей арки), т	Привезенная толщина, см	расход раствора, м <sup>3</sup>	расход стали, кг				всего
									сетки тканей	круглой арм.	закладных деталей		
1	Ставропольский завод «Строммашина». Компрессорная	18,0	2,0	1,5	1,14	3,1	3,15	0,032	3,90	1,14	1,13	6,17	Пролет перекрывается двумя оболочками
2	Картофельохранилище на 400 т	11,0	1,5	2,0	0,19	1,36	3,03	0,03	4,85	1,70	—	6,55	Пролет перекрывается одной оболочкой
3	Сантехзавод в г. Куйбышеве	12,0	1,5	1,5	0,16	1,84	3,75	0,038	3,80	5,05	0,13	8,98	Пролет перекрывается двумя оболочками

упругости на растяжение при изгибе и прочность армоцемента повышаются.

5. Армоцемент обладает более высокой деформативностью, чем железобетон (до 2 мм/м при ширине раскрытия трещин 0,05 мм).

6. Армоцемент обладает высокой трещиностойкостью. Ширина раскрытия трещин в 0,01 мм достигается в отдельных случаях, при растягивающих напряжениях около 200 кг/см<sup>2</sup>.

7. Трещины распространяются параллельно поперечной арматурной проволоке на расстоянии друг от друга, равном размеру сеточной ячейки.

8. Ширина раскрытия трещин из условий водонепроницаемости и коррозиестойчивости не должна превышать 0,05 мм. Наряду с проведением испытаний плоских плит для определения физико-механических свойств армоцемента, институт запроектировал и изготовил две опытные армоцементные оболочки двоякой кривизны пролетом 12 м, шириной 3 м и толщиной 1 см.

В поперечном направлении оболочки имеют волнообразное сечение с утолщениями по концам. Оболочка собирается из двух одинаковых элементов, соединяемых в коньке болтами. Распор от действующих нагрузок воспринимается металлическими затяжками Ø 16 мм.

Армирование оболочек состоит из четырех сеток с ячейкой 8 × 8 мм и диаметром проволоки 0,7 мм. Для равномерного распределения сеток по сечению элемента между ними вдоль обо-

лочки укладывалась 4-миллиметровая проволока с шагом 20 см. Торцовые диафрагмы армируются сеткой из стержней Ø 6 мм периодического профиля.

Для подъема и монтажа элементов в диафрагме и в коньковом сечении заложены 4 монтажные петли Ø 16 мм.

Обе оболочки изготовлены на Березовском заводе строительных конструкций в г. Свердловске. Интерес, проявленный строительными организациями г. Свердловска к этой конструкции, побудил институт выставить первую изготовленную опытную оболочку на постоянную строительную выставку, где она и находится в настоящее время (рис. 7).

Транспортировка элементов и монтаж оболочки на выставке, явились как бы технологическим испытанием конструкции на транспортные и монтажные нагрузки. Наблюдения, проводимые в процессе всех этих операций, дали вполне удовлетворительные результаты.

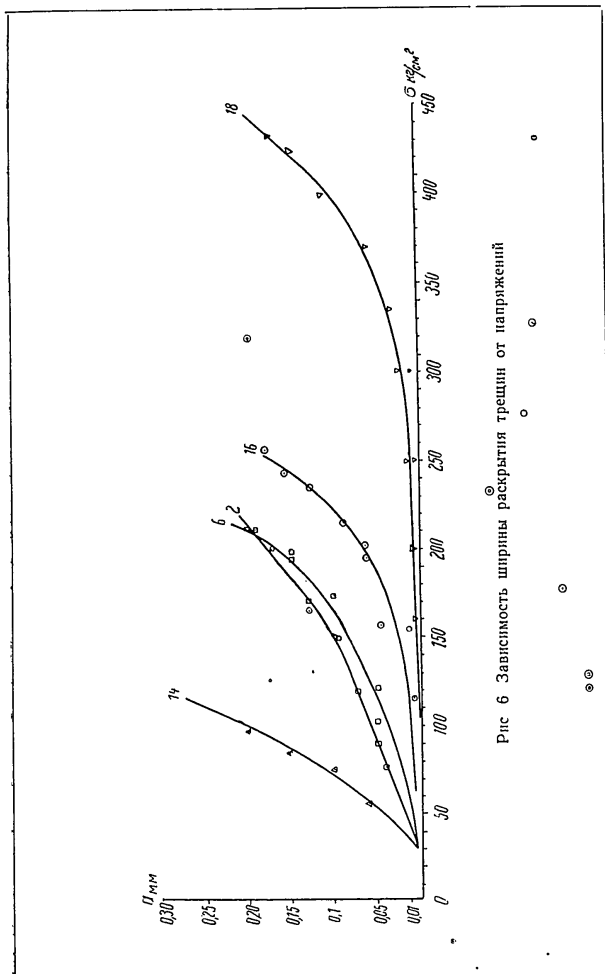
Никаких видимых дефектов по окончании монтажа на оболочке не обнаружилось.

Вторая оболочка в настоящий момент проходит испытание под нагрузкой.

Полученные результаты позволяют более конкретно судить о работе армоцемента в пространственных конструкциях, а также подтверждают правильность принятой методики их расчета.

Работы по изготовлению опытных оболочек, проводимые в основном вручную, показали, что наряду с изучением механиче-





58

ских свойств нового материала, необходимо в самое ближайшее время разработать индустриальную технологию изготовления армоцементных конструкций, так как ручное изготовление может стать серьезным препятствием массового внедрения их в производство.

Наиболее трудоемкой операцией является нанесение раствора на сеточный каркас, уложенный в матрицу. Первые шаги на пути

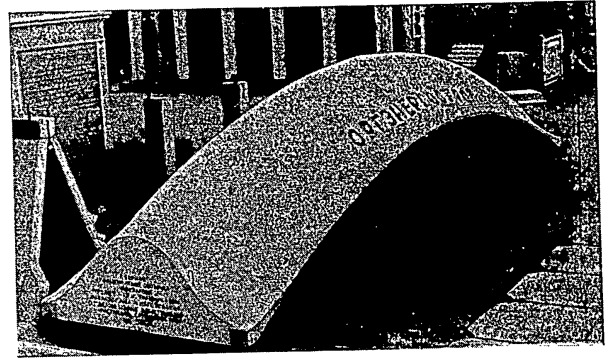


Рис 7 Общий вид готовой оболочки.

механизации этого процесса институтом уже сделаны. Так, при изготовлении последнего элемента оболочки для нанесения раствора был использован растворонасос.

Применение растворонасоса позволило сократить время бетонирования почти в 3 раза (первая оболочка бетонировалась 10 часов, вторая 3,5 час.).

Однако, применение растворонасосов не решает вопроса уплотнения уложенного раствора. Были сделаны попытки использовать для бетонирования цемент-пушку, но они пока не увенчались успехом.

Один из рабочих моментов изготовления оболочки показан на рис. 8.

Параллельно с исследованием физико-механических свойств армоцемента институтом проводится конкретное проектирование объектов энергетического строительства с покрытием из армоцементных оболочек. В настоящее время принят к строительству ряд объектов, запроектированных в армоцементных конструкциях.

Среди них компрессорная Ставропольского завода «Стром-

59

машинна» с пролетом 18 м; центральный материальный склад с пролетом 16 м и картофелехранилище на 400 т с пролетом 11 м;

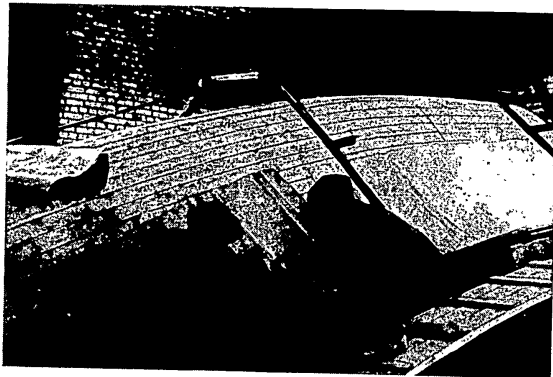


Рис 8 Оклейка формы промасленной бумагой

котельно-сварочный цех Сантехзавода в г. Куйбышеве с пролетами 9 и 12 м и др.

В табл. 2 приводятся технико-экономические показатели для этих объектов с применением армоцементных оболочек.

## ПРИМЕНЕНИЕ АРМОЦЕМЕНТА В ЖИЛИЩНОМ И ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Инженер В. Г. КРЕЙТАН

Важнейшей тенденцией развития крупнопанельного домостроения является создание все более и более легких конструкций. Экономический эффект, получаемый при внедрении их в строительство, общепризнан.

В ограждающих бетонных и железобетонных конструкциях облегчение достигается двумя путями: использованием бетонов на легких заполнителях и созданием тонкостенных конструкций из тяжелого бетона.

Однако, тонкостенность требует применения новых способов армирования, которые позволили бы давать конструкции минимальную толщину, обеспечивая одновременно необходимые эксплуатационные качества (прочность и жесткость, сопротивление трещинообразованию и местным воздействиям).

Материалом, в наибольшей степени отвечающим требованиям тонкостенности, явился мелкозернистый рассредоточенно-армированный бетон — так называемый армоцемент.

Основной областью применения армоцемента были покрытия крупных сооружений, где он чаще всего использовался в пространственных конструкциях и оболочках двоякой кривизны.

Существует мнение, что только такие конструкции и являются наиболее подходящей областью применения армоцемента. Хотя есть все основания утверждать, что мелкозернистый рассредоточенно-армированный бетон может быть эффективно использован и для создания весьма легких ограждающих конструкций жилых и гражданских зданий (школ, больниц, конторских зданий).

В Научно-исследовательском институте строительной физики и ограждающих конструкций АСИА СССР в лаборатории междуэтажных перекрытий и полов проводится работа по применению мелкозернистого бетона с рассредоточенным армированием в ограждающих конструкциях жилых и гражданских зданий.

Целью исследования является разработка рекомендаций по конструированию и расчету армоцементных междуэтажных перекрытий и проектных предложений по таким конструкциям.

Ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий, в том числе и междуэтажные перекрытия, имеют свою специ-

фику Здесь армоцемент может быть применен в «плоскостных» конструкциях со строго ограниченной высотой. Это ставит на первый план вопросы жесткости таких конструкций.

Для успешного проектирования надо располагать экспериментально подтвержденным методом расчета жесткости. Поэтому основным направлением работы явилось изучение физико-механических свойств материала и в первую очередь его деформативных свойств в изгибаемых элементах. Ниже излагаются основные теоретические предпосылки, этапы и ход исследования, приводятся описания проводимых экспериментов разработанных конструкций.

В работе изгибаемых элементов из мелкозернистого рассредоточенно-армированного бетона отличие этого материала от обычного железобетона конкретно выражается двумя явлениями: увеличением момента образования трещин и большей жесткостью элемента до и после образования трещин.

При объяснении этих явлений надо учитывать следующие основные факторы.

1. Наличие в двух взаимно перпендикулярных направлениях рассредоточенной арматуры малого диаметра (от 0,5 до 1,5 мм), имеющей значительно большую поверхность сцепления с бетоном, при высоких процентах армирования

2. Более равномерное распределение арматуры по бетонному сечению

3. Применение мелкозернистого бетона с более однородной структурой, чем бетоны с крупным заполнителем.

Сопrotивление изгибаемого железобетонного элемента трещинообразованию, при заданных геометрических характеристиках сечения, армирования и модуля упругости бетона, зависит от предела прочности бетона при растяжении  $R_p$ , предельной растяжимости  $\epsilon_p$  и степени развития пластических деформаций в растянутой и сжатой зонах бетона.

Величина  $R_p$  и степень развития пластических деформаций в растянутой зоне определяют долю участка растянутого бетона в общем сопротивлении элемента, а величина  $\epsilon_p$  определяет степень использования арматуры в момент появления трещин. Предельная растяжимость наиболее растянутых волокон бетона в свою очередь зависит от степени развития пластических деформаций.

С ростом пластических деформаций в растянутой зоне и с увеличением предельной растяжимости бетона возрастает упруго-пластический момент сопротивления элемента образованию трещин.

Существующий расчет образования трещин принимает коэффициент пластичности в растянутой зоне в момент образования трещин  $\lambda_p$  постоянный и равный 0,5. Таким образом, предельная растяжимость для данного бетона принимается постоянной, не зависящей от факторов армирования. Однако в теории железобетона существует направление, ставящее величину предельной

растяжимости бетона в зависимости от этих факторов.

В 1898—1899 гг Консидер на основании опытов с армированными балочками из цементно-песчаного бетона, сделал вывод о влиянии армирования на предельную растяжимость бетона.

Явление значительного увеличения (в 10—20 раз) предельной растяжимости бетона он объяснял появлением в армированном бетоне при достижении предела прочности состояния текучести, когда бетон претерпевает значительные деформации, сохраняя неизменной свою несущую способность.

Этот вывод, подтвержденный опытами Мерсье, Менаже, Шюле, явился предметом продолжительной дискуссии.

Авторитетные ученые, в том числе Клейнлогель, Бах и Пробст, выступили против, и их мнение продолжительное время было доминирующим.

Вопрос этот вновь был поднят в 1930 г проф. А. Ф. Лолейтом, который утверждал, что в армированных конструкциях бетон способен претерпевать удлинения, в 6 раз превышающие предельную растяжимость неармированного бетона.

В своей работе «Введение в теорию железобетона» (1941 г) проф Я В Столяров писал: «Можно утверждать, что предельная растяжимость бетона в присутствии арматуры всегда повышается по сравнению с растяжимостью бетона без арматуры. Это повышение тем больше, чем лучше распределена арматура, и может сильно увеличиться при медленном нагружении элемента». Одновременно он отмечает недостаточность данных для правильной оценки положительного влияния армирования на растяжимость бетона.

К таким же выводам пришел и проф В А Бушков. Крупное исследование влияния степени и способов армирования на растяжимость бетонов было проведено проф Г Д Цискрели («Сопrotивление растяжению неармированных и армированных бетонов» 1954 г).

На основании экспериментов проф Г. Д. Цискрели выведена формула, выражающая зависимость предельной растяжимости от прочности бетона на растяжение, процента армирования и диаметра арматуры.

Проф В. В. Михайловым были проделаны опыты по изгибу бетонных балочек в металлических кондукторах, в которых были получены предельные растяжимости до  $160 \cdot 10^{-5}$ . В. В. Михайловым сделаны выводы о том, что бетон при нагрузках, близких к разрушающим, способен проявлять пластичность, выражающуюся в большой деформации, не влекущей за собой потери прочности, и что это явление особенно проявляется в тех случаях, когда бетон связан с упругой средой и прирост деформации бетона невозможен без увеличения нагрузки.

Основные положения рассмотренного направления в теории железобетона сводятся к следующему.

Армированный бетон способен развивать предельную растяжимость, превосходящую предельную растяжимость неармированного бетона, что вызвано развитием в расплюснутом бетоне значительных пластических деформаций, величина которых тем больше, чем выше процент армирования, чем сильнее рассредоточена арматура (то есть чем меньше диаметр отдельных стержней) и чем равномернее она распределена по бетонному сечению.

В основе природы этого явления лежит, по-видимому, влияние сил сцепления и других факторов, действующих на контактной поверхности и в бетоне, находящемся в непосредственной близости к арматуре (в пределах «радиуса влияния» арматуры).

В бетонном сечении, ввиду значительной неоднородности, происходят большие концентрации напряжений, и процесс разрушения, локализуясь вначале в наиболее слабом месте, быстро распространяется на все сечение. Сосредоточенное армирование крупными стержнями скорее увеличивает неоднородность сечения. Рассредоточенное армирование большим количеством стержней малого диаметра, более равномерно распределенных по сечению, приводит к тому, что арматура выравнивает напряжения в бетоне, принимая на себя излишние усилия в ослабленных местах сечения. С другой стороны наличие арматуры создает условия, при которых деформация элемента не может происходить без увеличения усилия, что дает возможность более плавного развития пластических деформаций в бетоне.

Изложенные выше положения могут послужить основой для объяснения и оценки явления увеличения момента образования трещин, имеющего место в изгибаемых элементах из мелкозернистого бетона с рассредоточенным армированием.

Важным фактором, которым может быть объяснена повышенная жесткость изгибаемых армоцементных элементов, является наличие рассредоточенной поперечной арматуры с площадью сечения равной сечению продольной арматуры. Эта арматура сдерживает поперечные деформации бетона, создает некоторые разгружающие напряжения и снижает таким образом деформации в продольном направлении. Материал приобретает повышенный модуль деформации. Вместе с тем создается двухосное напряженное состояние, что может оказать определенное влияние и на несущую способность элемента. Влияние этого фактора сказывается в растянутой и в сжатой зонах как до, так и после образования трещин.

Жесткость элемента после образования трещин в значительной мере определяется работой растянутого бетона между трещинами. Влияние этой работы на жесткость элемента зависит от величины перепада напряжений в арматуре и бетоне на участке между трещинами, что в свою очередь является функцией сил сцепления между арматурой и бетоном и зависит от способности

арматуры и бетона работать совместно, без сдвига. Значительно увеличенная суммарная поверхность сцепления арматуры с бетоном и повышенная предельная растяжимость должны способствовать лучшей работе растянутого бетона между трещинами. Кроме того, само увеличение момента образования трещин за счет предельной растяжимости бетона способствует этому явлению, уменьшая разность усилий в растянутой арматуре до и после

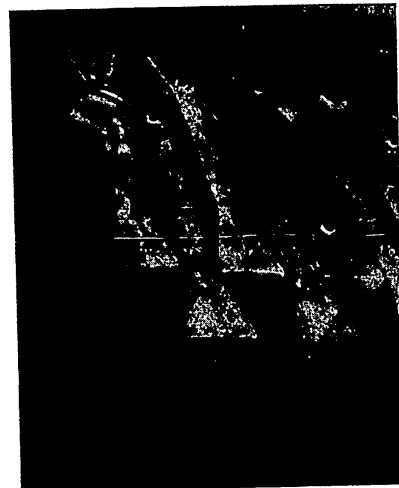


Рис 1 Образцы восьмерки для испытания на центральное растяжение

образования трещин, создавая тем самым более плавный переход между двумя стадиями работы изгибаемого элемента.

Экспериментальные работы, организованные в лаборатории междуэтажных перекрытий и полов НИИ строительной физики и ограждающих конструкций, включают исследование прочностных и деформативных свойств мелкозернистого бетона с рассредоточенным армированием при центральном растяжении, центральном сжатии и изгибе.

В настоящее время проводятся испытания на центральное растяжение образцов — восьмерок, с шейкой длиной 350 мм и сечением  $40 \times 120$  мм (рис 1).

Образцы армированы пакетами из стальных тканых сеток (от 2 до 22 слоев в пакете, рис. 2). Образцы испытываются на универсальной испытательной машине с помощью специальных захватывающих устройств (рис. 3).

Имеющиеся уже результаты этих испытаний в основном подтверждают теоретические положения, изложенные выше.

Завершены испытания на изгиб двух серий образцов, представляющих фрагменты часторебристых плит ребрами вверх с рассредоточенно армированной растянутой полкой.

Целью эксперимента было выявить эффект, получаемый при рассредоточенном армировании растянутой зоны обычных часторебристых плит, в которых, ввиду малой высоты ребер, сечение арматуры определяется расчетом на жесткость.

Образцы I серии представляли фрагменты нижней плиты перекрытия раздельного типа, состоящего из двух железобетонных плит (рис. 4).

Фрагменты пролетом 3,2 м шириной 0,8 м имели ребра высотой 8 см, шириной 4—6 см, расположенные в обоих направлениях с шагом 40 см, и полку толщиной 1 см. Полка армировалась 1—2 слоями тканой сетки из проволоки диаметром 0,7 мм с ячейкой  $8 \times 8$  мм и диаметром 1,2 мм с ячейкой  $12 \times 12$  мм. Одновременно изготавливались фрагменты с обычной арматурой.

В соответствии с работой плиты в конструкции раздельного перекрытия фрагменты подвергались испытанию на изгиб под действием двух сосредоточенных сил, приложенных на расстоянии 14 см от оси опоры (рис. 4).

Образцы II серии — фрагменты плит ребрами вверх, пролетом 3,2 м,

шириной 0,8 м с ребрами высотой 10 см, шириной 5—7 см, с полкой толщиной 2 см. Фрагменты армировались 1, 2 и 3 слоями тканой сетки из проволоки диаметром 1,2 мм с ячейками  $12 \times 12$  мм. Фрагменты II серии подвергались изгибу равномерно распределенной нагрузкой.

Результаты испытаний подтверждают приведенные выше теоретические предположения. У всех образцов с рассредоточенным армированием были отмечены увеличение момента образования

трещин и повышенная жесткость как до, так и после образования трещин.

В качестве примера на рис. 5 приведены диаграммы прогибов двух фрагментов с рассредоточенным и обычным армированием, имевших равное суммарное сечение арматуры.



Рис. 2 Арматурный каркас образца-восьмерки из пакетов, по 5 слоев тканой сетки из проволоки  $\varnothing 1,2$  мм с ячейкой  $12 \times 12$  мм

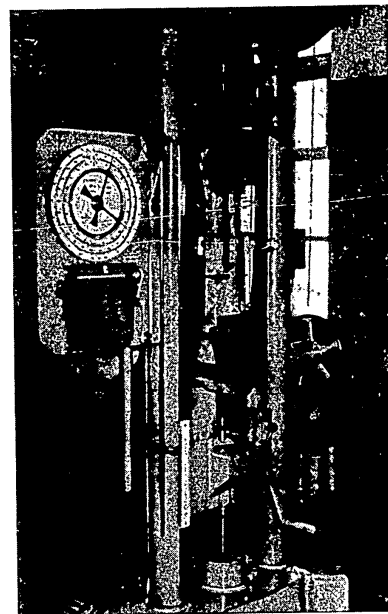


Рис. 3 Универсальная машина со специальными захватами для испытания образцов.

Если разрушающие моменты для обоих фрагментов примерно равны (для фрагмента с рассредоточенным армированием на 10% больше), то деформативное поведение их существенно отличается. Момент образования трещин у рассредоточенно армированного фрагмента на 20% выше, а жесткость в 1,5—2 раза больше (на различных стадиях работы), чем у фрагмента с обычным армированием.

Анализ результатов испытаний показывает, что увеличение момента образования трещин происходит за счет большего раз-

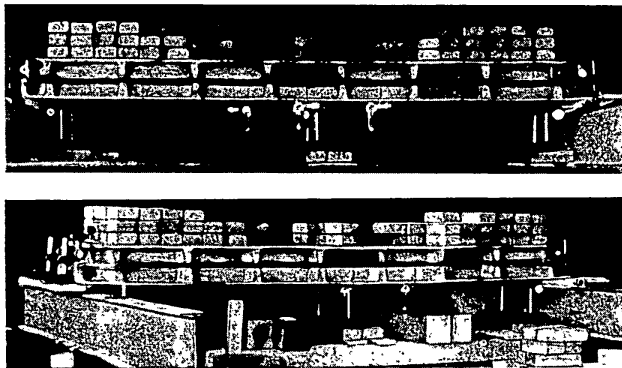


Рис 4 Испытание образцов плит перекрытия раздельного типа

вития пластических деформаций в растянутой зоне, то есть за счет увеличения предельной растяжимости бетона.

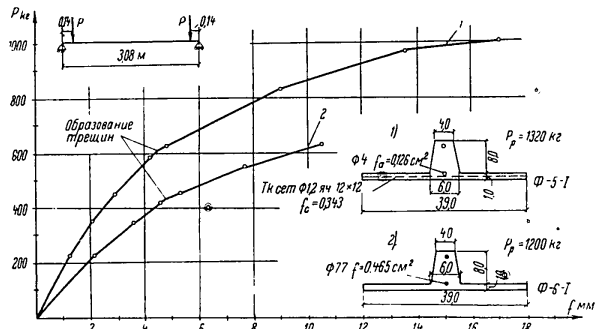


Рис 5 Диаграммы прогибов фрагментов часторебристых плит с рассредоточенным (1) и обычным (2) армированием

При анализе работы испытанных образцов до появления трещин, была принята треугольная форма эпюры в сжатой зоне и

грапещендальная в растянутой (рис 6). Величина  $\lambda_p$  рассматривалась переменной.

Были построены кривые изменения теоретических значений  $\varepsilon_t \frac{W_T}{Bh^2}$  и  $\frac{B_T}{E_0 B h^3}$  в зависимости от изменения коэффициента пластичности  $\lambda_p$ , где  $\varepsilon_t = \frac{x}{h}$  — отношение высоты сжатой зоны к высоте сечения;

- $W_T$  — упруго-пластический момент сопротивления образованию трещин;
- $B_T$  — жесткость в момент образования трещин;
- $E_0$  — модуль упругости бетона;
- $\lambda_p$  — коэффициент пластичности растянутого бетона.

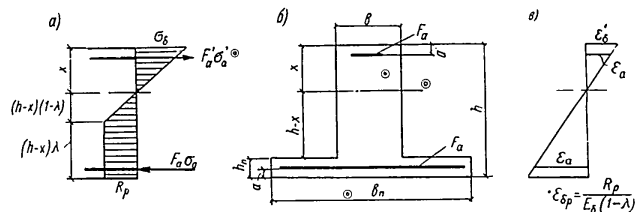


Рис 6 Эпюры распределения напряжений  
а — расчетная эпюра напряжений в сечении при образовании трещины, б — расчетное сечение элемента, в — эпюра деформаций на высоте сечения

Кривые были построены на основании формул, полученных из условия равновесия сил, действующих в поперечном сечении элемента перед образованием трещины.

$$\varepsilon_t = \frac{\alpha + \alpha' (\gamma - 2)V_p - V_p^2}{2(\varphi_p - 0.5V_p^2 - 0.5)}$$

$$W_T = bh^2 \left[ \frac{\alpha}{V_p} \frac{1 - \varepsilon - \delta}{1 - \varepsilon_t} \left( 1 - \frac{\varepsilon_t}{3} - \delta \right) + \frac{\alpha'}{V_p} \frac{\varepsilon_m - \delta'}{1 - \varepsilon_t} \left( \frac{\varepsilon_t}{3} - \delta' \right) + \gamma \left( 1 - \frac{\varepsilon_t}{3} - \delta_n \right) \cdot (1 - \varepsilon_t) \left[ \frac{1}{2} \lambda_n \cdot \left( 1 - V_p - \varepsilon_t V_p + \frac{\varepsilon_t}{3} \right) + \frac{1}{3} V_p \left( \lambda_p \varepsilon_t - V_p \right) \right] \right]$$

$$B_T = E_0 (1 - \lambda_p) (1 - \varepsilon_t) h \cdot W_T$$

Здесь

$$V_p = 1 - \lambda_p; \quad \alpha = \frac{E_a F_a}{E_0 b h};$$

$$\alpha' = \frac{E_a F'_a}{E_0 b h}; \quad \gamma = \frac{(b_1 - b) h_n}{b h}; \quad \delta = \frac{a}{h};$$

$$\delta' = \frac{a'}{h}; \quad \delta_1 = \frac{0,5 h_n}{n};$$

$b_n, h_n$  — ширина и высота полки;  
 $a, a'$  — расстояния от края сечения до центра тяжести растянутой и сжатой арматуры;  
 $F_a, F'_a$  — площади растянутой и сжатой арматуры

Ниже приводятся диаграммы прогиба, графики зависимости  $\frac{W_T}{bh^2}$  и  $\frac{B_T}{E_0 b h^2}$  от  $\lambda_p$  кривые изменения  $B$  и  $\lambda$  с увеличением нагрузки для одного из образцов первой серии, рис. 7а, б, в

При тех же размерах ребер, что и у других образцов этой серии, фрагмент имел полку толщиной 1,5 см, армированную двумя слоями тканой сетки из проволоки диаметром 1,2 мм с ячейками 12 × 12 мм.

График зависимости  $\frac{W_T}{bh^2}$  и  $\frac{B_T}{E_0 b h^2}$  от  $\lambda_p$  показывает, что при увеличении коэффициента пластичности от принятой нормы величины (0,5) до 0,8, момент сопротивления образованию трещин возрастает примерно в 1,5 раза, причем жесткость элемента уменьшается в 1,2 раза.

В рассматриваемом образце момент образования трещин был на 25% выше вычисленного при значении  $\lambda = 0,5$ . Образование трещин произошло при величине  $\lambda_p = 0,77$ , причем относительное удлинение наиболее растянутых волокон достигло величины  $37,8 \cdot 10^{-5}$ , что превосходит значение предельной растяжимости при  $\lambda_p = 0,5$  в 2,17 раза.

Важно отметить, что после достижения  $\lambda_p = 0,5$  и до образования трещин жесткость элемента близко совпала с величинами, вычисленными при соответствующих значениях  $\lambda_p$ .

Кривая изменения  $\lambda_p$  при увеличении нагрузки построена, исходя из зависимости  $\lambda_p = \frac{W}{bh^2}$ , причем принимались значения ус-

ловного момента сопротивления  $W = \frac{M}{R_p}$ .

Для каждой степени нагрузки, которой соответствует определенная величина  $W = \frac{M}{R_p}$ , по графику зависимости  $\lambda = \frac{W}{bh^2}$  определялась величина  $\lambda$ . В соответствии с этой величиной из графика зависимости  $\lambda = \frac{B}{E_0 b h^2}$  определялось теоретическое значение

жесткости  $B$ , соответствующее данной степени нагрузки. Близкое совпадение теоретической жесткости с фактической свидетельствует о том, что работа элемента находится в стадии правильно описываемой принятыми аналитическими зависимостями, то есть в стадии работы без трещин. После образования трещин такое

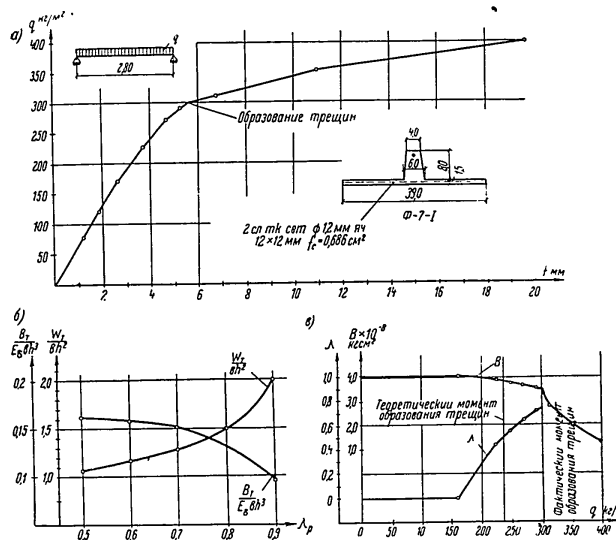


Рис. 7. Графики деформаций.

а — график зависимости прогиба в середине пролета от величины нагрузки, б — теоретические кривые зависимости  $\frac{W_T}{bh^2}$  и  $\frac{B_T}{E_0 b h^2}$  от  $\lambda_p$ , в — кривые зависимости фактических значений  $\lambda$  и  $B$  от величины нагрузки образца Ф-7-1.

совпадение уже не может иметь место и действительно не наблюдается. На рассматриваемом образце не могло быть отмечено возрастание жесткости до образования трещин, так как аналогичного образца с обычным армированием изготовлено не было, а модуль упругости бетона определяется из начальной «упругой» стадии работы элемента.

Таким образом, из приведенных экспериментов следует, что в конструкциях рассмотренного типа, при рассредоточенном армировании растянутой полки имеет место:

1) увеличение момента образования трещин в 1,2—1,3 раза, которое происходит за счет развития удлинений бетона, превосходящих нормативную предельную растяжимость в 1,5—2,5 раза;

2) увеличение жесткости элемента на различных стадиях работы в 1,5—2,5 раза по сравнению с аналогичными конструкциями при обычном армировании.

Это увеличение тем больше, чем выше процент рассредоточенного армирования растянутой полки

$$\mu_n = \frac{F_a}{b_n h_n}$$

Отмечено также влияние на описываемые явления величины защитного слоя, то есть расстояния от арматуры до наиболее растянутых волокон бетона. В частности, эта величина существенно влияет на расстояния между трещинами.

Следует отметить, что опыты были проведены с элементами, у которых рассредоточенное армирование имела только часть сечения. Образцы имели сравнительно низкую марку бетона, процент рассредоточенного армирования полки колебался от 0,5 до 1,4%.

Отмеченные явления могут рассматриваться как одна из ступеней количественных и качественных изменений, происходящих при рассредоточении арматуры, при переходе от обычного железобетона к армоцементу.

Проводимые в настоящее время и намечаемые эксперименты позволят количественно оценить как явления, происходящие в описанных конструкциях, так и в конструкциях полностью рассредоточенно-армированных с более высокими процентами армирования и марками бетона.

В каждом частном случае выбор того или иного процента армирования, марки бетона (расхода цемента) определяются особенностями проектируемой конструкции, экономическими соображениями, требованиями, предъявляемыми к конструкции. В частности, в конструкциях покрытый может быть оправдан более высокий расход цемента для обеспечения водонепроницаемости и т. д.

В конструкциях сравнительно малых пролетов при отсутствии требования водонепроницаемости, экономический эффект от применения рассредоточенного армирования может быть получен при довольно низких марках бетона (расходах цемента) и процентах армирования, так как и при этих условиях повышается жесткость элементов, их сопротивляемость местным воздействиям и создаются действительно тонкостенные, весьма легкие конструкции. Поиски новых типов ограждающих конструкций с применением армоцемента являются продолжением исследований и разработок, проведенных в НИИ строительной физики и ограждающих конструкций и бывшем Институте строительной техники в области новых ограждающих конструкций. Как было

отмечено выше, в жилых и гражданских зданиях этот материал может быть применен в основном в виде «плоскостных» конструкций. В таких конструкциях наиболее экономичным и целесообразным способом обеспечения несущей способности и жесткости является придание их поперечному сечению волнообразного или складчатого очертания.

Легкие несущие конструкции из армоцемента могут быть с успехом использованы в перекрытиях раздельного типа.

На рис. 8, а, б приводятся разрабатываемые в НИИСФ варианты конструкций междуэтажных перекрытий с использованием армоцементных элементов.

Это перекрытия раздельного типа, главным несущим элементом в которых является плита волнообразного сечения. Применение волнообразного сечения позволяет получить минимальную приведенную толщину конструкции, так как благодаря армоцементу толщина волны может быть доведена до 15 мм.

По гребням волн несущей плиты укладываются упругие прокладки из звукоизоляционных асбестовых или древесно-волоконистых плит, или сплошной ковер из шлаковатных матов. Конструкция пола, покоящаяся на этих прокладках, может быть выполнена в нескольких вариантах.

1. Плоская плита из мелкозернистого рассредоточенно-армированного бетона толщиной 20 мм (рис. 8, а), укладывается на заводе с помощью вакуум-присосов, или методом надвигки. Панель доставляется на строительство укомплектованной из двух плит, по верхней плите устраивается чистый пол из линолеума или релина по твердым древесноволокнистым плитам. Панель обладает высокой степенью заводской готовности. Вместо армоцементной плоской плиты могут быть использованы легкобетонные плиты объемным весом около 1100 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 40 мм.

2. Двухслойный дощатый щитовой пол (рис. 8, б) состоит из слоя шпунтованных строганых досок толщиной 22 мм и слоя нестроганых досок толщиной 20 мм, расположенных под углом 45° друг к другу. Щит размером «на комнату» собирается на заводе на гвоздях или клею с прокладкой пергамина между двумя слоями досок и комплектуется с несущей частью панели. При транспортировке щит предохраняется от намокания наклейкой водосмываемым клеем двухслойной водонепроницаемой бумаги. Панель также обладает высокой степенью заводской готовности. Ее дефектом является использование в ней древесины и недостаточная капитальность конструкции пола.

Взамен описанной конструкции могут быть применены дощатый пол по лагам из шпунтованных досок толщиной 37 мм и щитовой паркетный пол.

Поверхность потолка создается подклейкой листовых облицовочных материалов.



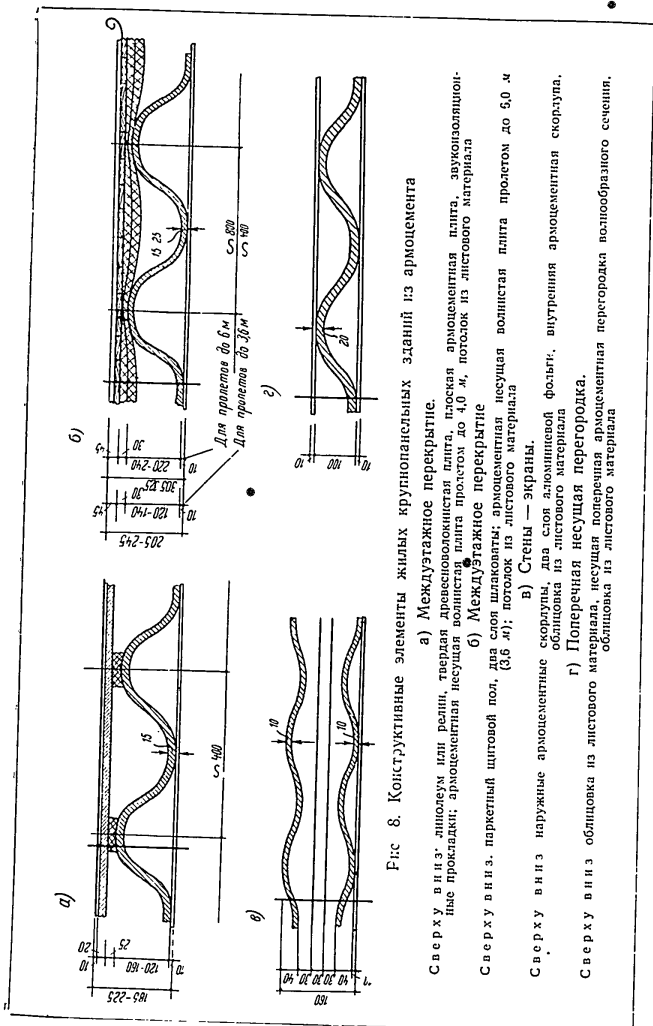


Рис. 8. Конструктивные элементы жилых крупнопанельных зданий из армоцемента

- а) Междуглазное перекрытие. Сверху вниз: асбестоцементная или ренитовая, твердая древесноволокнистая плита, плоская армоцементная плита, асбестоцементно-цементная прокладка; армоцементная несущая волнистая плита пролетом до 4,0 м; потолок из листового материала.
- б) Междуглазное перекрытие. Сверху вниз: паркетный щитовой пол, два слоя шлакопорожка; армоцементная несущая волнистая плита пролетом до 5,0 м; потолок из листового материала.
- в) Стены — экраны. Сверху вниз: наружные армоцементные скорлупы, два слоя алюминиевой фольги, внутренняя армоцементная скорлупа, облицовка из листового материала.
- г) Поперечная несущая перегородка. Сверху вниз: облицовка из листового материала, несущая полочная армоцементная перегородка, армоцементная перегородка, облицовка из листового материала.

Ниже приводятся основные показатели описанных конструкций.

Таблица 1

№№ п.п.	Основные показатели	Вариант с плоской армоцементной плитой пола (пролет до 3,6 м)	Вариант с двухслойным дощатым щитовым полом	
			пролет до 3,6 м	пролет до 6 м
1	Приведенная толщина бетона, см . . . . .	4,2	2,2	3,0
2	Расход цемента на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	25,0	15,4	21,0
3	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	5,4	3,5	5,5
4	Расход древесины на 1 м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> . . . . .	—	0,045	0,045
5	Расход звукоизоляционных материалов на 1 м <sup>2</sup> , м <sup>2</sup> . . . . .	0,2	2,0	1,0—2,0
6	Вес 1 м <sup>2</sup> перекрытия, кг . . . . .	110	100	120
7	Вес панели площадью 18 м <sup>2</sup> (вместе с полом), т . . . . .	1,6	1,5	2,0

Наиболее легкими конструкциями наружных стен являются стены-экраны, получившие в некоторых странах довольно широкое распространение.

Стенами-экранами называются ограждающие конструкции весом не выше 75 кг/м<sup>2</sup> с теплоизолирующими замкнутыми, герметизированными воздушными прослойками. В НИИ строительной физики и ограждающих конструкций разработаны конструкции стен-экранов с использованием алюминия. Существуют конструкции стен-экранов из нержавеющей стали, пластмасс. Однако в настоящее время дефицитность всех этих материалов не позволяет широко внедрить стены-экраны в строительстве.

Применение взамен их скорлупы из армоцемента позволяет создавать эти конструкции из традиционных строительных материалов: цемента, песка, стали (рис. 8, в). При расходе цемента 900 кг/м<sup>2</sup> такие скорлупы будут обладать достаточной атмосферостойкостью. Для создания необходимого сопротивления теплопередаче используется воздушная прослойка, экранизированная двумя слоями алюминиевой фольги, расположенными на расстоянии 30 мм друг от друга. Теплотехнические испытания подобных конструкций показали, что они обеспечивают общее сопротивление теплопередаче около 1,3 м<sup>2</sup> час град/ккал. Внутренняя поверхность стены-экрана облицовывается листовыми материалами (табл. 2).

Элементы волнообразного сечения из армоцемента могут быть использованы для поперечных несущих перегородок в бескаркасных домах (рис. 8, г). Форма сечения позволяет обеспечить требуемую несущую способность перегородки при весьма малой приведенной толщине. Лицевые поверхности создаются облицовкой листовыми материалами. Такая перегородка, благо-

даря наличие воздушных прослоек обладает достаточной звукоизолирующей способностью и может быть использована в качестве межкомнатной. Для межквартирных перегородок применяются конструкции утяжеленного типа, или состоящие из двух

Таблица 2

№№ п/п	Основные показатели	
1	Приведенная толщина бетона, см	2,4
2	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	4,2
3	Расход цемента на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	22,0
4	Расход алюминиевой фольги для технических целей на м <sup>2</sup> стены, м <sup>2</sup> . . . . .	2,0
5	Вес 1 м <sup>2</sup> стены-экрана, кг . . . . .	75

элементов. Основные показатели несущей перегородки даны в табл. 3.

Таблица 3

№№ п/п	Основные показатели	
1	Приведенная толщина бетона, см . . . . .	2,8
2	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	3,5
3	Расход цемента на 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .	18,0
4	Вес 1 м <sup>2</sup> перегородки, кг . . . . .	82,0
5	Вес панели «на комнату», т . . . . .	1,0

В жилых и гражданских зданиях мелкозернистый рассредоточенно армированный бетон может быть использован также в конструкциях кровель (такая конструкция разработана Ленфилаом АСнА СССР), лестничных маршей, в виде тонкостенной складчатой конструкции. Описанные выше ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий с применением элементов из армоцемента нуждаются в дальнейшей разработке, исследовании и экспериментальной проверке.

Необходимо разработать эффективную заводскую технологию производства таких элементов.

Однако, уже сейчас есть основания считать, что применение этих конструкций в строительстве может принести существенный экономический эффект.

Почти все основные конструкции здания представляют одно типные элементы, изготавливаемые из одних и тех же материалов, что имеет большое значение при организации их производства на домостроительном комбинате. Они обеспечивают ощутимое снижение расхода бетона и веса основных конструктивных элемен-

тов здания на 1 м<sup>2</sup> жилой площади, даже по сравнению с наиболее экономичными решениями крупнопанельных домов. Ниже приводятся примерные технико-экономические показатели в расчете на 1 м<sup>2</sup> жилой площади для крупнопанельного дома, все

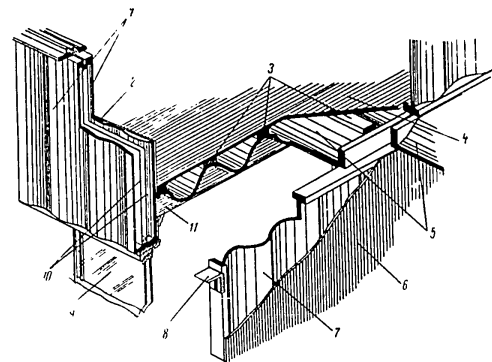


Рис. 9 Конструктивная схема крупнопанельного дома

1 — наружная и внутренняя «скорлупы» навесной стены-экрана, 2 — листовая облицовка наружной стены; 3 — упругие прокладки, 4 — верхняя волнистая плита перекрытия раздельного типа, 5 — нижняя волнистая плита перекрытия раздельного типа; 6 — листовая облицовка перегородки, 7 — несущая поперечная перегородка волнообразного сечения, 8 — опорный столбик; 9 — оконный откос этого типа, 10 — два слоя алюминиевой фольги, 11 — листовая облицовка потолка

основные конструкции надземной части которого изготовлены с применением мелкозернистого рассредоточенно армированного бетона (табл. 4).

Конструктивная схема этого дома (рис. 9) включает поперечные несущие перегородки волнообразного сечения, работающие

Таблица 4

Наименование показателей	Конструкция перекрытия	
	с лощатым полом	с плоской армоцементной плитой
Затраты конструктивного бетона на цементном вяжущем на надземную часть, м <sup>3</sup> . . . . .	0,12	0,15
Затраты цемента на надземную часть, кг . . . . .	80,0	95,0
Затраты стали на надземную часть, кг . . . . .	16,0	19,2
Затраты стали на надземную часть, кг . . . . .	490	500
Вес конструкций дома (надземная часть), кг . . . . .		

на сжатие, самонесущую среднюю продольную стену волнообразного сечения, отдельные перекрытия и навесные стены-экраны описанного типа. Принята разрезка стены на прямоугольные горизонтальные элементы с применением окон ленточного типа. Показатели вычислены для 5-этажного здания при высоте этажа (от пола до пола) 2,85 м, при планировке принятой для малометражных квартир.

Применение мелкозернистого бетона с рассредоточенным армированием (армоцемента) в ограждающих конструкциях жилых и гражданских зданий открывает большие возможности для создания легких эффективных конструкций.

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМОЦЕМЕНТА

*Канд. техн. наук Г. С. РОДОВ,  
инженер В. А. ВОЗНЕСЕНСКИЙ*

(Западно-Сибирский филиал АСИА СССР)

Одним из наиболее важных условий успешного внедрения новых прогрессивных конструкций из армоцемента в строительную практику является всестороннее и тщательное изучение его физико-механических свойств. Изучением этих свойств начали заниматься в Москве, Ленинграде, Куйбышеве, Тбилиси, Новосибирске и других городах.

Однако, отсутствие единой методики определения свойств армоцемента, в частности, применение различных схем приложения нагрузки и влияние масштабного фактора образцов, затрудняет сравнение полученных результатов, иногда значительно отличающихся друг от друга.

Единая методика определения физико-механических свойств армоцемента даст возможность накопить и обобщить данные, что позволит составить нормативные и расчетные характеристики армоцемента, а также будет способствовать созданию теории расчета армоцементных конструкций. В настоящей статье предлагается вариант единой методики, разработанной лабораторией бетона и железобетона Западно-Сибирского филиала Академии строительства и архитектуры СССР.

В качестве рабочих гипотез могут служить два основных положения. В первом, — при содержании арматуры в пределах 400—500 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора получается качественно новый материал, обладающий всеми свойствами однородного тела [1, 2, 3] и, следовательно, допускающий расчет конструкций, возводимых с его применением, по формулам сопротивления материалов и теории упругости.

Как показали поисковые опыты, при таком насыщении бетона тонкими стальными сетками материал приобретает высокую деформативность, превышающую в несколько раз деформативность неармированного бетона; при растягивающих напряжениях в пределах 50—80 кг/см<sup>2</sup> армоцемент работает упруго и может быть рассмотрен как однородный материал [4, 5].

Во втором (гипотеза, противоположная первой) — увеличение содержания арматуры в указанных пределах не приводит

к получению однородного материала, и конструкции из армоцемента необходимо рассчитывать по современной теории железобетона.

Вероятно, каждая из гипотез имеет свои пределы применения, причем решающим фактором является процент армирования. По нашему мнению необходима дальнейшая экспериментальная проверка обеих гипотез. В приведенной методике принята первая гипотеза.

Армоцемент состоит из цементного камня, заполнителя и стали. Каждый из компонентов оказывает на физико-механические свойства определенное влияние. На прочность, деформативность, плотность и другие свойства раствора (цементный камень и заполнитель) влияют многочисленные факторы: активность цемента, качество заполнителей и цемента, добавки, способ изготовления и т. д.

На свойства армоцемента оказывают влияние процент армирования, размеры и форма ячейки сетки, диаметр проволоки сетки, количество сеток и их расположение в сечении, свойства стали, из которой изготовлена сетка.

При разработке методики принята прочность цементно-песчаного раствора в пределах от 200 до 1000 кг/см<sup>2</sup>, а расход металла от 200 до 500 кг/м<sup>3</sup>. В качестве арматуры использованы тканые или сварные сетки с размером ячейки от 7 мм и диаметром проволоки от 0,7 мм из сталей различного качества и прочности.

Изучение влияния расположения сеток в сечении предлагается провести на образцах с промежуточными каркасами из проволоки 2—6 мм, а также без промежуточных каркасов и с шайбами между сетками.

Для испытаний надо иметь стандартные образцы, относительно которых необходимо сравнивать получаемые результаты.

Предлагаются следующие эталонные параметры стандартного образца: армоцемент толщиной  $10 \pm 0,2$  мм, изготовленный из 6 слоев тканой сетки с ячейками  $10 \times 10$  мм из черной отожженной проволоки диаметром 1 мм (ГОСТ 3826-47 сетка № 10), без промежуточных каркасов, с соединительными шпильками, замоналиченный цементно-песчаным раствором, с прочностью на сжатие образцов площадью 10 см<sup>2</sup> (полубалочки  $2 \times 2 \times 13$  см)  $400 \pm 10$  кг/см<sup>2</sup>.

#### Основные физико-механические свойства армоцемента, подлежащие определению

Механические свойства.

1. Действие статических нагрузок.

При сжатии: модуль упругости, предел пропорциональности, предел прочности.

При растяжении и изгибе: модуль упругости, предел пропорциональности, предел прочности, деформативность, максимальные местные деформации растяжения, появление первых трещин в растворе, кинетика раскрытия трещин.

При срезе и скалывании: предел прочности, модуль сдвига и коэффициент Пуассона.

Ползучесть армоцемента при изгибе

2. Действие динамической нагрузки.

При поперечном ударе: динамический модуль упругости, логарифмический декремент затухания, внутреннее сопротивление и коэффициент поглощения энергии колебаний.

3. Влияние вынужденных гармонических и иррегулярных колебаний на прочность, жесткость, деформативность и трещиностойчивость.

Физические свойства.

1. Объемный вес.

2. Плотность.

3. Водонепроницаемость.

4. Усадка.

5. Коррозия сеточного каркаса и армоцемента в целом при различных агрессивных средах.

6. Теплопроводность.

Методика определения физических свойств в настоящей статье не рассматривается.

При определении физико-механических свойств армоцемента где употребляемые для его изготовления материалы (песок, цемент, добавки, сетки) должны проходить в лаборатории испытания по требованиям действующих ГОСТов или технических условий.

#### Определение пластичности, удобоукладываемости и прочности цементно-песчаного раствора

При изготовлении армоцемента важную роль играет получение прочного, плотного и водонепроницаемого цементного камня, что обеспечивается выбором оптимальных параметров растворной смеси, в том числе удобоукладываемости и пластичности.

Существующие методы определения удобоукладываемости не могут дать в рассматриваемом случае удовлетворительные результаты, так как удобоукладываемость раствора изменяется также в зависимости от количества и густоты сеток армирующего каркаса в каждом отдельном случае.

Предлагается следующий метод определения удобоукладываемости раствора, применяемого для изготовления армоцемента.

Прибор для определения удобоукладываемости (рис. 1) состоит из двух прямоугольных сосудов без дна, имеющих размеры в свету  $10 \times 10$  см.

Между сосудами укладывается каркас, состоящий из тех же сеток и в том же количестве как и в конструкции, для которой ведется подбор раствора. Верхний сосуд имеет шибер, который ограничивает объем равный 1 л.

Порядок работы: сетка рабочей густоты располагается между сосудами и зажимается стяжными болтами, шибер закрывается. Верхняя часть сосуда заполняется испытываемым раствором, который уплотняется штыкованием. Прибор устанавливается на виброплощадку, шибер открывается, включается вибратор и измеряется время полного прохождения раствора через сетку (от момента включения). Аналогично принимается порядок работы при использовании встряхивающего столика.

За критерий удобоукладываемости раствора принимается (единое для всех видов каркасов) время прохождения одного литра раствора через сеточный каркас площадью  $10 \times 10$  см при вибрировании на стандартной лабораторной виброплощадке или, при тех же параметрах, число ударов при вибрации на встряхивающем столике.

Рис. 1. Прибор для определения удобоукладываемости.

Принятое в строительной практике определение прочности раствора при сжатии кубов  $7 \times 7 \times 7$  см не может дать удовлетворительные результаты, так как толщина армоцементных элементов составляет 1—3 см. Влияние масштабного фактора образцов приводит к занижению прочности раствора, при испытании на стандартных кубах, до 40%.

Более целесообразно определять прочность раствора испытанием на изгиб балочек размером  $2 \times 2 \times 13$  см, с последующим испытанием на сжатие половинок призм, полученных в результате излома. При этом для передачи нагрузки на половинки призм пользуются пластинками по типу — ГОСТ-310-51, но с размерами шлифованных поверхностей  $20 \times 50$  мм при допуске  $\pm 0,2$  мм (рабочая поверхность  $10$  см<sup>2</sup>).

Уплотнение образцов производится тем же способом, что и уплотнение раствора в конструкциях.

Такое испытание значительно ближе соответствует работе раствора в армоцементе. В случае необходимости перевода опытных данных к стандартным образцам, пользуются переводными коэффициентами, которые определяются при испытании для каждого нового качественного состава раствора.

82

#### Определение механических свойств армоцемента при действии статической нагрузки

Определение свойств армоцемента при сжатии статической нагрузкой предлагается вести на тонкостенных трубчатых образцах, представленных на рис. 2. Для изготовления образца применяется металлическая форма с вибровкладышем или, при уплотнении раствора на вибростоле, со складным вкладышем.

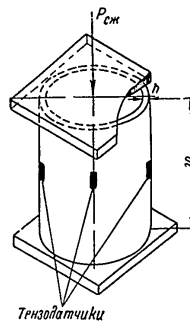


Рис. 2. Образец для испытания на сжатие.

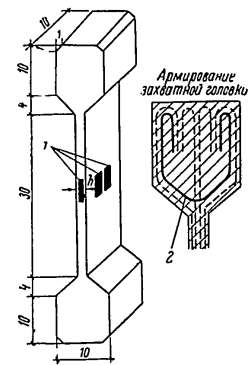


Рис. 3. Образец для испытания на растяжение.

Для определения деформаций армоцемента вдоль образца на половине высоты устанавливаются 4 тензометра с базой 20—50 мм. Напряжения в образцах вычисляются по обычным формулам.

Модуль упругости определяется по формуле:

$$E_{сж} = \frac{\sigma_{сж}}{\epsilon}$$

где  $E_{сж}$  — модуль упругости на сжатие, кг/см<sup>2</sup>;  
 $\epsilon$  — измеренные тензомерами относительные деформации;  
 $\sigma_{сж}$  — напряжения, кг/см<sup>2</sup>.

Испытание на растяжение проводится на образце, показанном на рис. 3. Размеры образца подсчитаны по аналогии с расчетом пропорциональных образцов для металла. При изготовлении образца в захватные железобетонные головки вкладываются арматурные хомуты 2 из стали  $\geq 6$  мм, к которым привязываются концы сеточного каркаса, что обеспечивает совмест-

6\*

83

ную работу головок и рабочей части. При испытании особое внимание следует уделять центровке образца, для чего применяются самоцентрирующие захваты.<sup>1</sup> Измерение деформаций производится с помощью тензометров 1 с базой  $20 \div 50$  мм, устанавливаемых по два с каждой стороны (в середине длины образца и по кромкам).

Напряжения и модуль упругости вычисляются по известным формулам. Ширина раскрытия трещин измеряется с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2, с точностью 0,05 мм. За момент появления трещины считается видимость ее в микроскоп МПБ-2,

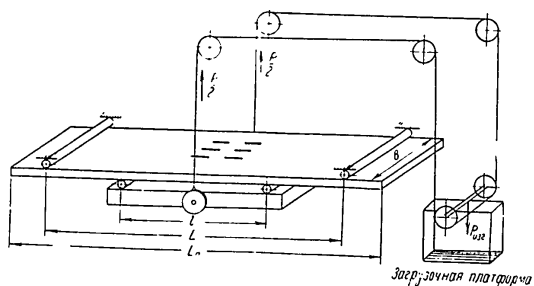


Рис 4 Схема испытания на изгиб статической нагрузкой (вариант 1)

имеющий увеличение  $\times 24$  и разрешающую способность около 0,01 мм. Момент появления первых трещин и ширина их раскрытия может определяться и другими методами.

Определение механических характеристик армированного при изгибе (модуля упругости, предела пропорциональности, предела прочности) может производиться по 2 схемам. В обоих случаях испытание ведется на образце-плите, с размерами  $120 \times 30$  см.

В первом варианте образец загружается как свободнолежащая плита на двух опорах, силами, расположенными на расстоянии  $L$  от опор, по схеме, приведенной на рис. 4. Такое нагружение имеет преимущество, так как в плите между силами изгибающий момент имеет постоянную величину и, следовательно, возникает зона равных напряжений, что дает возможность установить большое количество тензометров и повысить точность эксперимента. Испытательная установка сконструирована так, что растянутые волокна образца находятся наверху, что облег-

<sup>1</sup> Форма образца должна быть уточнена на основании прodelанных опытов

чает наблюдение и измерения трещин. Нагрузка на образец передается стальными тросками, перекинутыми через блоки. При тарировке установки определяется коэффициент передачи нагрузки, находящийся в пределах  $0,98 \div 0,94$ .

Вес грузочной платформы превышает вес испытываемого образца, что вызывает в нем напряжения  $2-4$  кг/см<sup>2</sup> до начала загрузки. Измерение прогибов ведется с помощью прогибомеров, расположенных в половине и четверти пролета. Горизонтальное смещение опор учитывается с помощью индикаторов, установленных по два на каждой опоре.

По второму варианту образец представляет собой вертикально стоящий брус с одним жесткозашемленным концом, а другим

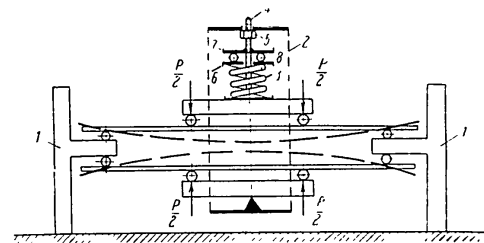


Рис 5 Схема испытания на ползучесть

свободным. Этот вариант целесообразен при одновременном определении статических и динамических свойств армированного и рассматривается ниже в разделе по определению динамических свойств армированного.

Для тонкостенных конструкций, находящихся под действием длительных нагрузок, деформации ползучести армированного имеют весьма существенное значение.

Определение деформации ползучести производится на образцах тех же размеров, что и на изгиб. Загружению подвергается одновременно два образца-близнеца. Схема загрузки установки показана на рис. 5.

Установка состоит из опорного устройства 1, передающей траверсы 2, тарированного пружинного пресса 3

Для поддержания постоянно действующей силы, приложенной в начале опыта, необходимо периодически регулировать высоту сжатой пружины.

Регулировка силы сжатия пружины производится с помощью винта 4, путем подтягивания стопорных гаек 5. Во избежание проворачивания грузочного устройства при кручении винта между верхней площадкой пружины 6 и опорной площадкой

винта 7 устанавливается упорный шарикоподшипник 8. Измерение деформаций образца и величина распрямления пружины производится переносным индикатором через 1, 3, 7, 28, 90, 180, 360, 720 суток. При испытаниях ведется запись температуры и влажности воздуха.

#### Определение свойств армоцемента при испытании динамической нагрузкой

Определение динамических характеристик армоцемента (модуля упругости, декремента затухания, внутреннего сопротивления) производится на образцах размером  $120 \times 30$  см.

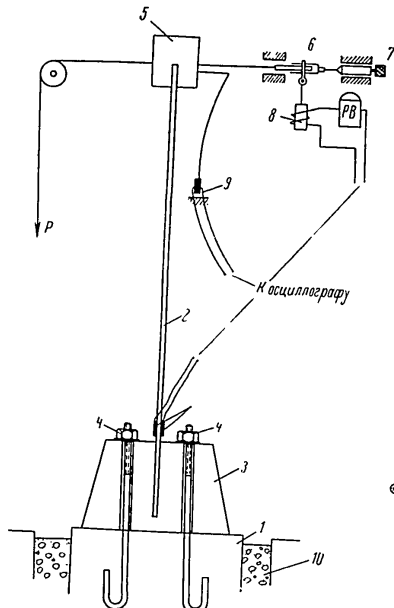


Рис. 6. Схема испытания на изгиб статической нагрузкой (вариант 2) и на удар

При испытании ударной нагрузкой применяется установка, конструкция которой показана на рис. 6. Установка состоит из виброизолированного фундамента 1, на который устанавли-

вается по отвесу консольно защемленный образец 2 с подушкой 3, прикрепляемый жестко к фундаменту анкерными болтами 4. Длина консольной части бруса 100 см, вес подушки 100 кг, вес фундамента 400 кг.

Одновременно с определением динамических свойств на этой установке можно определить и характеристики образца при действии статической нагрузки. Вертикальная установка образца дает возможность свести к минимуму влияние собственного веса. Вызываемые им напряжения составляют в сечении у защемления лишь  $0,23 \rightarrow 0,27$  кг/см<sup>2</sup>. Статическая нагрузка передается на образец через тросик. Коэффициент передачи нагрузки при установке блока на шарикоподшипнике и постоянной смазки равен  $0,995 \rightarrow 0,990$ .

При динамических испытаниях нагрузка задается начальной амплитудой колебаний  $J_0$ . Оттяжка образца производится с помощью микрометрического винта с дополнительным контролем по измерительным приборам. Мгновенный сброс нагрузки осуществляется электромагнитом. Установка реле времени с запаздыванием 0,5 → 1 сек обеспечивает включение регистрирующей аппаратуры (осциллографа) раньше начала колебаний образца.

Напряжение у защемленной части образца при действии статической нагрузки подсчитывается по обычной формуле.

Модуль упругости при действии статической нагрузки вычисляется по прогибу.

По снятой на осциллографе кривой затухающих колебаний образца определяется частота собственных колебаний амплитуды и логарифмический декремент затухания. Логарифмический декремент определяется по формуле:

$$\delta = \alpha T = \ln \frac{A_k}{A_{k+n}} = \frac{1}{h} \ln \frac{A_k}{A_{k+n}} \quad (1)$$

где  $\delta$  — логарифмический декремент затухания,

$\alpha$  — коэффициент затухания,

$A_k$  и  $A_{k+n}$  — амплитуды колебаний,

$n$  — число периодов между рассматриваемыми амплитудами.

Коэффициент поглощения энергии колебаний определяется [6] по формуле:

$$\psi = 2\delta \quad (2)$$

где  $\psi$  — коэффициент поглощения энергии колебаний.

Если считать, что в первом приближении [7] частота свободных затухающих колебаний равна частоте свободных незатухающих колебаний, то динамический модуль упругости армоцемента можно вычислить по формуле:

$$E_{дин} = \frac{v_0^2 m}{3l} \quad (3)$$

где  $\varphi$  — собственная частота свободных незатухающих колебаний образца  $\frac{1}{\text{сек}}$ ,

$l$  — длина образца — см,

$I$  — момент инерции образца см<sup>4</sup>,

$m$  — приведенная колеблющаяся масса равная:

$$m = \frac{Q}{g} + 24,00 \frac{ql}{g} \quad (4)$$

где  $Q$  — вес пригрузки, кг,

$q$  — вес 1 лог. м образца, кг,

$l$  — длина образца, м,

$g$  — ускорение свободного падения, см/сек<sup>2</sup>.

Напряжения с учетом внутреннего сопротивления материала могут быть подсчитаны по одной из существующих теорий [6, 8, 9].

Испытание на вынужденные гармонические колебания ведется на образцах тех же размеров, что и при испытании на удар.

Образец загружается как балка, свободно лежащая на двух опорах. Вынужденные колебания образца возбуждаются с помощью специального малогабаритного вибратора, устанавливаемого в середине пролета. Частота колебаний изменяется периодомформером.

При отсутствии периодомформера частота колебаний образца может регулироваться при помощи изменения массы вибратора пригрузкой.

Испытание на вынужденные иррегулярные колебания, на кратковременные знакопеременные нагрузки большой интенсивности типа сейсмических производится на специальных установках с программным управлением, по методике испытания образцов, разработанной для железобетона [8, 10 и др].

Настоящая методика предлагается для обсуждения в организациях, занимающихся изучением и внедрением армоцемента, для ее дальнейшей разработки, уточнения, дополнения и проверки на базе широких экспериментальных исследований с целью выпуска инструкции по определению физико-механических свойств и контролю качества армоцемента.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Nervi P. L. — Scienze e arte caratteristiche e possibilità del cemento armato, Roma Edizioni della Lussolla 195 г.
- 2 Nervi P. L. Precast concrete offers new possibilities for shell structures Journal of the American Concrete Institute, 1953 vol 24, № 6
- 3 Пьер Луиджи Нерви, Стр.л.т. правильно (перевод с итал) Стройиздат, 1956
- 4 ЦБТИ, АСИА СССР Применение тонкостенных армоцементных плит-оболочек в качестве опалубки-облицовки сооружений 1958.
- 5 Воронко Е. Минц В., Вознесенский В. Исследование

деформативности, трещиностойкости и упругих свойств армоцемента. Журнал «Бетон и железобетон» № 8, 1958.

6. Сорокин Е. С. Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания «Исследования по динамике сооружений.» Стройиздат, 1951

7 Бернштейн С. А. Основы динамики сооружений Стройиздат, 1941

8. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, 1956.

9 Сборник ЦНИПС. Динамические свойства строительных материалов, 1941.

10. Родов Г. С. Экспериментальное исследование предварительно напряженных и обычных железобетонных конструкций на кратко временные нагрузки типа сейсмических. Сборник «Строительство в сейсмических районах», Стройиздат, 1957



## КРОВЕЛЬНЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ СКОРЛУПЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПРЯГАЮЩЕГО И ОБЫЧНОГО ЦЕМЕНТОВ

Канд. техн. наук Н. И. КЛИМОВ

В связи с большим объемом развернувшегося строительства жилых и гражданских зданий, особое значение приобрело прогрессивное решение конструкций сборных кровель.

Ряд изысканий и опытных работ, проделанных у нас и в странах народной демократии, показали, что рационально применить для кровель небольшой протяженности волнистые армобетонные плиты (скорлупы)<sup>1</sup>, которые совмещают в себе несущие и ограждающие функции и обладают водонепроницаемостью и долговечностью.

Однако комплексное использование волнистых армобетонных скорлуп обуславливает ряд особых требований, предъявляемых к их конструкции.

Собственный вес плит желателен довести до минимальной величины, сохраняя в то же время необходимую жесткость элементов, что достигается соответствующим выбором высоты волны.

Экспериментальные работы, проведенные за последние годы в лаборатории заводской технологии предварительно-напряженных конструкций и оборудования НИИЖБ, показали возможность изготовления скорлуп толщиной 10—15 мм.

Армирование плит при таких условиях должно быть дисперсным, то есть состоять из тонких проволок или сеток. В то же время по условиям жесткости целесообразно применять напряженное армирование, позволяющее добиваться значительного снижения расхода арматуры за счет использования стали повышенной прочности.

Малая толщина скорлуп не должна сказываться на их водонепроницаемости, что, в свою очередь, предъявляет серьезные требования к плотности бетона (раствора) и к качеству его укладки и уплотнения.

<sup>1</sup> Армобетонные плиты (тонкостенные) из цементно-песчаного раствора армируются одним слоем сетки «Рабитца» и стальными стержнями. По своим техническим свойствам они занимают промежуточное положение между железобетонными и армоцементными изделиями.

Перечисленные требования к конструкциям волнистых скорлуп наиболее просто могут быть удовлетворены при изготовлении их с применением напрягающего цемента, дающего большую плотность и предварительное напряжение арматуры за счет расширения его в твердой фазе.

Большую плотность изделий, как это следует из работ Ленинградского филиала АСнА СССР, можно получить также применяя песчаные растворы на обычном портланд-цементе, при армировании этих изделий несколькими слоями сеток.

Последнее обстоятельство представляет определенный интерес и подлежит дальнейшей разработке.

В настоящее время НИИЖБ проводит исследования по разработке тонкостенных армобетонных кровельных скорлуп. Работа комплексно ведется по трем направлениям:

- 1) изыскание наилучшей формы тонкостенных кровельных скорлуп;
- 2) создание машины для механизированного изготовления кровельных скорлуп;
- 3) изыскание материалов, изучение их свойств, способов армирования и т. д.

На основе проведенных исследований и опыта Чехословацкой Народной Республики в 1957 году была разработана конструкция скорлуп для двускатных кровель пролетами 6, 9, 10,5 и 12 мм. Аналогичные скорлупы могут быть изготовлены для кровель и с другими пролетами. Общий вид двух скорлуп, сложенных одна на другую, показан на рис. 1.

Скорлупа представляет собой волнистую плиту высотой 160 мм с развитыми верхними площадками (рис. 2). Такой профиль позволяет располагать основную массу раствора в сжатом поясе, где он наилучшим образом используется. Размеры нижних же участков волн назначены из условия размещения арматуры и создания необходимого защитного слоя.

Толщина скорлупы в верхних частях волны равна 15 мм, нижних 25 мм, боковых наклонных стенках 11 мм, кромки 15 мм.

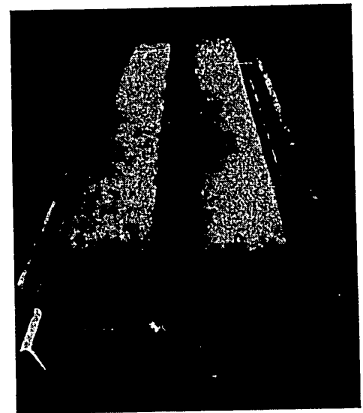


Рис. 1 Общий вид кровельных железобетонных скорлуп.

Крайние полуволны предназначены для образования стыка скорлуп путем нахлестки. Стык располагается в середине высоты волны, благодаря чему при складировании скорлуп одна на другую кромки не касаются друг друга. Это особенно важно при перевозках, когда к статическим усилиям прикладываются динамические и наиболее уязвимые части скорлупы — кромки — ломаются.

Для армирования скорлуп применяются каркасы, состоящие из одного, двух и более слоев сетки «Рабитца» и продольных стержней из холоднокатанной проволоки диаметром 5 мм ГОСТ 6727-53. Количество стержней зависит от расчетного пролета скорлупы и колеблется от 3 до 12 в растянутой зоне и от 0 до 4

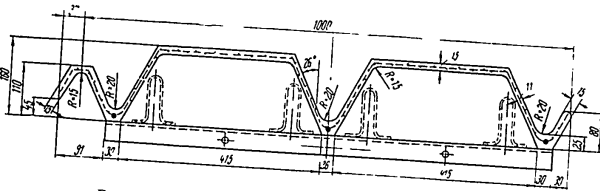


Рис 2 Поперечный разрез кровельной скорлупы.

в сжатой. Стержни в сжатой зоне ставятся из условия расчета скорлупы на монтажную нагрузку. Сетки применяются с ячейкой  $20 \times 20$  мм при диаметре проволоки 1,6 мм и с ячейкой  $10 \times 10$  мм при диаметре 1 мм, Гост 3826-47.

Для образования опорных узлов скорлупа имеет металлические закладные детали (уголок № 4). Один из уголков, предназначенный для образования конькового узла, располагается на нижней поверхности скорлупы, вблизи ее торца. Вторым — предназначенный для образования нижнего опорного узла, располагается также на нижней поверхности скорлупы (с отступом в 70 см от другого конца плиты). Коньковые закладные уголки на скорлупах располагаются в таком положении, которое при образовании двухскатной кровли с уклоном скатов 1:2, обеспечивает плотное прилегание полок уголков друг к другу. Совместив отверстия в уголках, их соединяют болтами. Образующиеся сверху зазоры между торцами скорлуп замоноличиваются бетоном. Таким путем выполняется коньковый узел покрытия.

Нижний опорный узел образуется при болтовом соединении двух уголков, находящихся на самой скорлупе и на настенном брусе.

В качестве затяжек, стягивающих настенные бруски, могут служить балки чердачных покрытий.

92

Закладные уголки на изделии, помимо образования опорных узлов, выполняют и другую функцию: располагаясь поперек скорлупы, придают ей необходимую поперечную жесткость. Закладные детали заанкериваются в бетонных диафрагмах, размещающихся снизу в профиле волны.

Рассмотренная конструкция скорлупы не имеет на верхней поверхности поперечных диафрагм или каких-либо выступов, благодаря чему допускается машинное формование ее способом профилирования.

Технико-экономические показатели вышеописанных скорлуп даны в сводной табл. 1.

Таблица 1

Марка элента	Показатели на один элемент									
	нормативная равномерная распределенная нагрузка, кг/м <sup>2</sup>	вес элента, кг	содержание стали в 1 м <sup>3</sup> бетона, кг	марка раствора	расход материала					
					раствор, м <sup>3</sup>	холоднокатанная Ст-3	сетка из холоднокатанной Ст-3	прокат Ст-3	на 1 м <sup>2</sup> перекрываемой площади, кг	всего, кг
КС-1 3700	210	192	172	400	0,093	2,20	6,5	4,5	3,56	13,2
КС-2 5400	210	279	176	400	0,135	5,911	9,4	4,5	3,67	19,8
КС-3 6200	210	320	194	400	0,158	9,46	10,8	4,5	4,0	24,8
КС-4 7000	210	362	217	400	0,175	14,79	12,2	4,5	4,5	31,5

Опытные кровельные скорлупы аналогичной конструкции были изготовлены из раствора с применением как напрягающего цемента, так и обычного портланд-цемента. Раствор в том и другом случае имеет следующий состав: 1 часть цемента и 2 части песка, по весу, что составляет расход цемента на кубометр раствора примерно 700 кг. Испытания скорлуп на несущую способность, жесткость и трещиностойчивость показали, что они отвечают всем требованиям, предъявляемым к этим конструкциям, а трещиностойчивость скорлуп на напрягающем цементе на 30% выше, прогибы на 15% меньше, чем у скорлуп из обычного цемента.

93

Испытания кровельных скорлуп на водонепроницаемость показали, что скорлупы, изготовленные из раствора с применением напрягающего цемента, практически водонепроницаемы. Будучи нагруженными эксплуатационной нагрузкой и находясь под постоянным воздействием слоя воды до 140 мм (в нижних участках волн), такие скорлупы в течение 10 дней не дали никаких признаков появления влаги на нижней поверхности изделий.

Скорлупы же из обычного раствора на портланд-цементе, армированные одним слоем сетки с ячейкой  $20 \times 20$  мм, при диаметре проволоки 1,6 мм, а также скорлупы, армированные одним слоем сетки с ячейкой  $10 \times 10$  мм при диаметре проволоки 1,0 мм и толщине скорлупы 11 мм при тех же условиях испытаний, оказались не вполне водонепроницаемы и уже через 2 часа имели на нижней поверхности отсыревшие пятна. Такие скорлупы для надежной водонепроницаемости требуют покраски, которая желательна также и для защиты арматуры от коррозии, так как из-за сложности центрирования в тонкостенных конструкциях сетка часто не имеет достаточного защитного слоя.

В качестве защитных покрасок могут применяться краска «СЖ», эмульсия «ГКЖ», масляные краски и т. д.

Результаты проводимых испытаний на водонепроницаемость скорлуп из песчаных растворов на портланд-цементе, армированных несколькими слоями сеток, будут опубликованы по окончании.

Тонкостенные армобетонные и особенно армоцементные (армированные несколькими слоями сеток) волнистые кровельные плиты будут весьма эффективными только при машинном способе их производства. Поэтому в НИИЖБе в 1957 г. была запроектована, а в 1958 году изготовлена установка для формования тонкостенных кровельных армобетонных скорлуп, работающая по принципу вибропрофилирования. Формующий агрегат этой установки показан на рис. 3.

Эта установка снабжена профилинером 1, нижняя поверхность которого имеет очертание по профилю скорлупы. Профилинер состоит из плиты и 3 килей, форма нижней поверхности которых отвечает верхней поверхности соответствующей впадины профиля скорлупы. Передние концы килей скошены под углом  $45^\circ$  к горизонту.

Для лучшей обтекаемости формируемой массой передние плоскости килей в перпендикулярном им направлении имеют также скосы, образующие режущие грани с углом заострения  $50^\circ$ .

Передний край плиты профилинера имеет резиновую прокладку толщиной 20 мм, выступающую за грань плиты на 7 мм. К резине примыкает вибрирующая стенка бункера 2, наклоненная к горизонту под углом  $60^\circ$ . К раме и боковым стенкам бункера эта вибрирующая стенка примыкает так же через резино-

вые прокладки, что снижает шум при работе и предохраняет сварные и болтовые соединения. Вибрирующая стенка бункера приводится в движение вибратором 3 типа «И-117», укрепленным на нижней поверхности стенки.

Для предохранения от вибрации остальных частей установки, бункер с вибратором и вибропрофилинером смонтирован на отдельном фундаменте.

В состав формирующего агрегата входит также механическая гладилка с приводом, работающая по способу раздельного за-

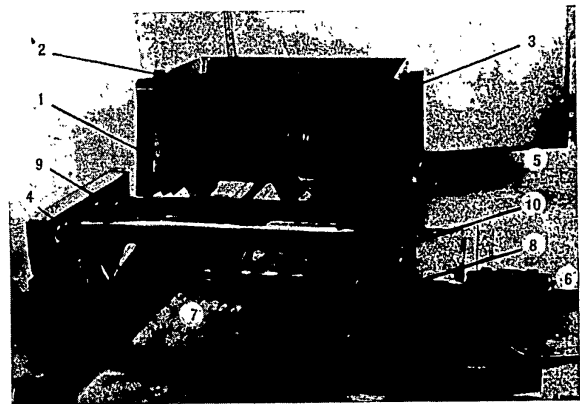


Рис. 3. Формующий агрегат.

глаживания наклонных и горизонтальных плоскостей изделия. Наклонные плоскости скорлупы заглаживаются лопастями гладилки 4, совершающими возвратно-поступательное движение; горизонтальные плоскости — движущейся вращательно-поступательно лопастью гладилки 5.

Привод гладилки состоит из мотора 6, соединенного при помощи муфты с поперечным валом 7. На концах вала имеются червяки, входящие в зацепление с червячными колесами, неподвижно сидящими на вертикальных валах 8. На верхних концах вертикальных валов имеются диски с кривошипом 10. При работе мотора, через посредство червячной передачи вращение сообщается вертикальному валу с кривошипом. Кривошип, скользя в направляющих, закрепленных на тележке 9, сообщает последней возвратно-поступательное движение. Так как

к раме тележки прикреплены гладящие лопасти 4, то и они совершают те же движения, что и тележка.

В связи с тем, что колеса тележки на внешнем ободе имеют кольцевые пазы, которыми они входят с зазором 0,1 мм в направляющие, неподвижно укрепленные на раме гладилки, тележка, а следовательно и наклонные лопасти гладилки оказываются фиксированными в боковом и вертикальном направлениях и могут совершать только параллельные движения вдоль изделия.

В избежание перекосов при движении тележки синхронно вращающиеся вертикальные валы с кривошипами установлены как с правой, так и с левой стороны гладилки.

Наклонные лопасти гладилки крепятся к раме тележки при помощи кулачков, допускающих перемещение лопастей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что позволяет настраивать эти лопасти под профиль скорлупы, формируемой вибропрофилером.

На те же кривошипы надевается своими отверстиями горизонтальная лопасть, которая при вращении кривошипов и непрерывно движущемся изделии будет описывать на поверхности скорлупы вращательно-поступательное движение. В вертикальной плоскости эта лопасть фиксируется тем, что она своим собственным весом прижимается к верхним кромкам наклонных лопастей гладилки.

Такое раздельное заглаживание, как показали испытания машины, обеспечивает хорошую отделку сложного профиля волнистой плиты.

Принцип формования скорлуп на установке заключается в следующем.

На направляющие, снабженные роликами, устанавливается металлический поддон. В специальные пазы поддона укладываются закладные уголки, образующие опорные узлы и поперечные ребра жесткости скорлупы. На поддон, смазанный цементно-масляной эмульсией, или мыльным раствором, укладывается каркас, армирующий скорлупу. Сетку «Рабитца», входящую в состав каркаса, рекомендуется слегка натянуть на поддон. В таком состоянии она лучше фиксируется в середине толщины изделия и, кроме того, не имея свободных перемещений, не рвет слоя раствора. После установки каркаса, поддон, при помощи ручной лопатки, подается по рольгангу под формирующий агрегат.

В бункер поступает приготовленная на растворешалке цементно-песчаная смесь и включается вибратор. При этом, благодаря наклону вибрирующей из своей плоскости стенки бункера, сила, направленная перпендикулярно стенке, разлагается на вертикальную и горизонтальную составляющие. Вертикальная — прижимает раствор к поддону и уплотняет его, горизонтальная — толкает раствор под профилер. В результате происходит непрерывное заполнение раствором зазора между профилером

и поддоном. При передвижении последнего на нем образуется сформованная скорлупа.

Окончательная отделка поверхности скорлупы производится гладилкой.

На данной установке изготовлено несколько скорлуп из раствора на портланд-цементе и на напрягающем цементе. В процессе формования выяснилось, что установка вполне работоспособна и после незначительной корректировки будет обеспечивать формование скорлуп за один проход. После экспериментального исследования и внесения корректив предполагается изготовить производственную установку для формования тонкостенных армобетонных кровельных скорлуп и применить ее в одном из совнархозов.

## РОЛЬ СЕТОК В МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЕ АРМОЦЕМЕНТА

*Инженер Г. Ф. ВОЛКОВ*

Армоцемент это мелкозернистый бетон, насыщенный металлическими сетками, обладающий высокой однородностью физико-механических свойств и повышенной, по сравнению с бетоном, прочностью на растяжение.

Роль армирующих сеток в армоцементе принципиально иная, чем роль арматуры в железобетоне, и поэтому следует ожидать, что металлические сетки могут быть заменены сетками из других, неметаллических материалов, обеспечивающих мелкозернистому бетону вышеуказанные качества. Для определения свойств армоцемента, его необходимо сравнить с железобетоном, так как накопленный опыт в применении последнего дает возможность яснее установить, что вносит нового армоцемент.

Оба сравниваемых материала изготавливаются с использованием бетона, который обладает существенным и отличным от материала арматуры свойством — разное сопротивляться растяжению и сжатию. Нормами фиксируется, что при сжатии прочность бетона в 10—12 раз выше, чем при растяжении. В железобетонных конструкциях этот недостаток прочности бетона на растяжение восполняется установкой арматуры.

Изучение свойств армоцемента показывает иную картину. В равнопрочных с железобетоном растянутых сечениях в армоцементе бетон способен нести в 6—8 раз большую нагрузку. Еще больше, чем в железобетоне, обнаруживается в армоцементе проявление деформативных свойств.

Растяжимость бетона в армоцементе резко увеличивается, вследствие чего повышается его трещиностойчивость.

Различное поведение неармированного бетона при сжатии и растяжении объясняется неоднородностью структуры бетона, в результате которой усилия в теле бетона передаются неравномерно: напряжения концентрируются в местах большей жесткости. Поэтому в масштабе общей деформации напряженного образца необходимо выделить элементарную деформацию бетона, наблюдающуюся в месте концентрации напряжения. Каково поведение бетона в месте проявления элементарной деформации уточняется только в последнее время.

Ряд исследований, выполненных в послевоенный период, проливают свет на нерешенные вопросы сопротивления хрупких материалов, в том числе и бетона. Часть работ посвящена изучению закономерностей механической работы хрупких материалов, в других работах исследуются и уточняются их физико-механические свойства.

Дефекты структуры стали объектом изучения как в хрупких материалах, так и в пластических. И если на этом пути в области пластических материалов имеются значительные достижения, то в исследовании хрупких материалов встречаются большие трудности.

П. Бриджмен [1] обнаружил, что у хрупких материалов при всестороннем сжатии в общем процессе деформации уменьшения объема можно выделить составляющую обратного знака, увеличивающую объем тела. Ему удалось установить, что причиной этого сопутствующего явления служат дефекты структуры материала. При сжатии происходит раскрытие микротрещин.

В лаборатории железобетонных конструкций ЦНИИС под руководством О. Я. Берга [2] с помощью микроскопа и микрофотографии проведены наблюдения за раскрытием микротрещин в бетоне при его сжатии. Эти опыты помогли выяснить, что ориентация микротрещин совпадает с направлением нагрузки, а также установить некоторые закономерности в развитии этих трещин с ростом нагрузки.

Возникновение микротрещин объясняется действием растягивающих напряжений, нормально ориентированных к направлению микротрещин. Их появление начинается задолго до полной потери несущей способности образца. Развитие микротрещин соответствует степени загрузки образца. Первые микротрещины обнаруживаются при достижении нагрузкой величины, составляющей 0,55—0,6 доли ее разрушающего значения.

Английский ученый Р. Джонс [3] также подтверждает закономерную направленность микротрещин в сжатом бетоне по отношению направления нагрузки. Им было установлено, что волны ультразвука свободно проходят сжатый бетон вдоль направления нагрузки и встречают сопротивление в перпендикулярном направлении. При 25—30% от максимальной нагрузки скорость волн начинает сокращаться с увеличением нагрузки.

Джонс обращает внимание также на тот факт, что в растворах, имеющих меньшую неоднородность структуры по сравнению с бетоном, появление микротрещин обнаруживается при большей доле от разрушающей нагрузки в бетоне.

Ценность этих исследований состоит в том, что они вскрывают механизм деформации в сжимаемом бетоне и определяют роль неоднородности структуры в изучении его прочности. В этих исследованиях выделяется значение элементарной деформации в местах концентрации напряжений, из которых складывается де-

формация всего образца. Очевидно, образование микротрещин является следствием элементарной деформации.

Имеются новые данные, расширяющие наше представление о прочности и деформативности бетонов при растяжении. Уже более пятидесяти лет назад получены сведения о том, что при равномерно-распределенных объемных нагрузках хрупкие неоднородные материалы проявляют большую прочность на растяжение, чем прочность, получаемая в обычной лабораторной практике. Такое явление Грублер [4] установил при центробежном испытании абразивных камней. Их прочность на растяжение в 3 раза больше, чем при обычном растяжении.

В ЦНИПСе под руководством В. В. Михайлова [5] были выполнены опыты по изгибу бетонных балок в условиях свободных и связанных деформаций. Под связанными деформациями подразумеваются деформации бетона в металлической оболочке, служившей ему и опалубкой при изготовлении балок. В этих опытах обнаружено, что в условиях связанной деформации растяжимость бетона достигает  $18,5 \cdot 10^{-6}$ — $26,5 \cdot 10^{-6}$  против  $10^{-6}$  в условиях свободной деформации. Балки, выдержавшие такую растяжимость, после освобождения их от металлических оболочек, в условиях повторной, но уже свободной деформации, показали обычную прочность.

Г. Д. Цискрели [6] сообщает, что армированный бетон обнаруживает повышенную способность к растяжимости по сравнению с неармированным бетоном. Непрерывная и равномерная сцепляемость бетона с арматурой облегчает его растяжимость.

Результаты работ [4, 5, 6] подтверждают, что повышенная растяжимость и прочность бетона при растяжении не преобретаются им, а объективно присущи ему и могут быть реализованы с помощью тех или иных технических мероприятий. Они показывают, что равномерная передача внешних нагрузок на бетонные элементы конструкций способствует полному включению в работу концентраторов напряжений, в результате чего элементарные деформации суммируются и фиксируется общая повышенная растяжимость в масштабе всего образца.

В обычных бетонных и железобетонных конструкциях для равномерной передачи внешних нагрузок применяются полнатыпные средства: опорные части в массивных конструкциях, комуты в железобетоне и т. п. Но как показали исследования автора [7], они приводят часто к обратным результатам. Возникающее под опорной частью радиальное распределение напряжений образует в конструкции нежелательные растягивающие усилия в направлении элементарных деформаций растяжения, и тем самым снижает грузоподъемность сооружения.

Синтез результатов обоих направлений исследования бетона приводит к важному выводу, что развитие микротрещин при

сжатии бетонных образцов может быть осуществлено в условиях максимальной реализации прочности бетона на растяжение.

В обычном бетоне таких условий нет и реализуется только некоторая, средняя величина между максимальным и минимальным значениями прочности, которые можно наблюдать исследуя элементарную деформацию.

Если допустить, что раскрытие микротрещин происходит в условиях плоской задачи, то в первом приближении можно количественно оценить, при каких растягивающих усилиях происходит их образование. Наиболее невыгодным сечением концентраторов напряжений, образуемых неоднородностью бетона, будет являться круг (рис. 1) для пространственной задачи сферы.

В этом случае образование микротрещин является следствием растягивающих напряжений в плоскости действия приложенных к концентратору сжимающих усилий. Ориентация микротрещин будет точно соответствовать данным опытов Берга и Джонса [2, 3].

Допуская, что в сечении образца размещено  $n$  концентраторов напряжений, диаметр их будет равен

$$d = \frac{b}{n}, \quad (1)$$

где  $b$  — ширина образца.

В этом случае на каждый концентратор передается усилие

$$P_{сж} = \frac{P}{n}, \quad (2)$$

где  $P$  — приложенная к образцу сжимающая нагрузка на единицу толщины.

Из теории упругости известно, что растягивающие напряжения для исследуемого случая могут быть выражены соотношением

$$\sigma_{раст} = \frac{2P_{сж}}{\pi d}$$

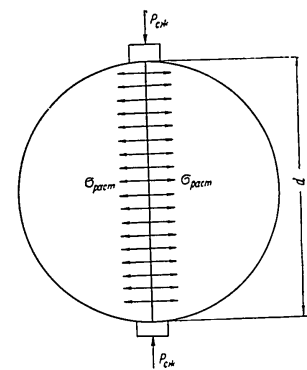


Рис 1 Схема работы концентраторов напряжений.

Подставляя из выражения (1) и (2), получим

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{2P}{\pi b} \quad (3)$$

но  $\frac{P}{b}$  суть  $\sigma_{\text{сж}}$ , и тогда,

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{2}{\pi} \sigma_{\text{сж}} \quad (4)$$

или  $\sigma_{\text{раст}} = 0,647 \sigma_{\text{сж}}$ .

Очевидно, что результат (4) не изменится, если диаметры концентраторов будут переменной величиной.

Таким образом, обнаруживается, что раскрытие микротрещин в опыте Берга [2] происходит при сопротивлении бетона равном

$$R_{\text{раст}} = 0,55 \cdot \frac{2}{\pi} R_{\text{сж}} = 0,35 R_{\text{сж}},$$

что превышает нормативные данные в три раза.

Порядок этой величины близок к результату Грублера [4], но значительно ниже, чем в армоцементе. Опыты НИИСельстроя показывают, что прочность раствора в армоцементе в 8 раз выше прочности восьмерок.

С помощью акустического метода нами были произведены наблюдения за раскрытием микротрещин в образцах из мелкозернистого бетона, насыщенного сетками. В первой партии в образцах  $10 \times 10 \times 20$  см варьировались размер ячейки сетки и шаг сеток. Образец № I без сеток; в образце № III размер ячейки и шаг сетки одинаков и равен — 45 мм; в образце № IV — 30 мм; и в образце № V — 10 мм. Диаметр проволоки 0,7 мм. Нагружение образцов выполнялось нормально к плоскости сеток, измерение скорости звука производилось вдоль длинной стороны (200 мм) параллельно плоскости сеток.

На рис. 2 результаты измерений потерь скорости звука сведены в общий график. Нагрузки для каждого образца выражены в долях от разрушающей нагрузки образца № V, показавшего наибольшее значение. В образце № I (без сеток) образование микротрещин началось, как и у Берга, при нагрузке равной 0,6 разрушающей. В образцах с сетками эта нагрузка достигает 0,8 разрушающей, как в образцах НИИСельстроя.

Во второй партии испытывались образцы  $10 \times 10 \times 10$  см. Сетки с ячейками  $10 \times 10$  мм из проволоки диаметром 0,7 мм в образцах №№ I и II размещались с шагом 5 мм, а в образцах №№ III и IV с шагом 10 мм. Нагрузка на образцы передавалась параллельно сеткам, а измерение скорости звука производилось нормально к плоскости сеток (случай а) и параллельно сеткам (случай в).

Из рис. 3 видно, что при параллельном прозвучивании шаг расположения сеток почти не изменяет (для данного раствора) кривые изменения скорости. Для случая нормального к плоскости

сеток прозвучивания шаг сеток имеет заметное влияние, и как видно из рис. 3, он должен быть подобран так, чтобы кривые № I и № IV приблизились к кривым №№ II и III

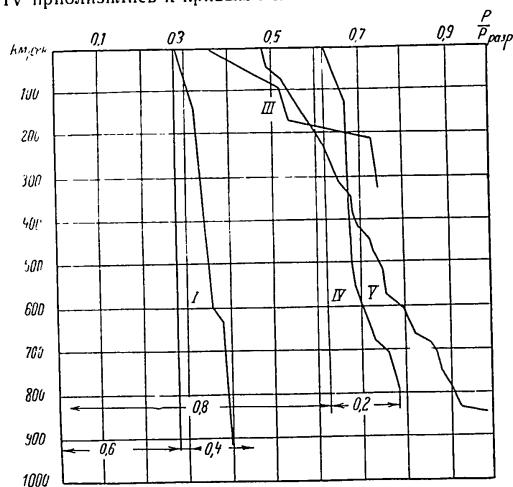


Рис 2 График потерь скорости к плоскости сеток звука

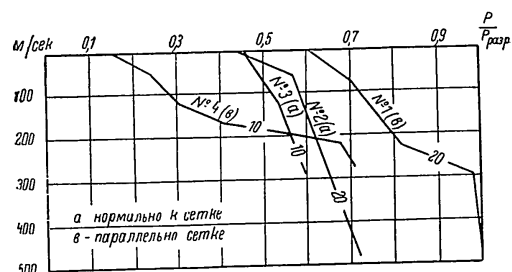


Рис 3 График параллельного и нормального прозвучивания

Как видно, сетки, насыщающие мелкозернистый бетон в армоцементе, имеют вполне определенное назначение. С одной стороны, они препятствуют раскрытию микротрещин, воспринимаемая

часть растягивающих усилий, а с другой, и это пожалуй главное, они служат мероприятием в борьбе с дефектами структуры бетона.

Отсюда следует, что диаметр проволоки, размер ячеек и шаг установки сеток в армоцементе должен быть соразмерен с заполнителем и маркой цемента. *Армоцементом можно назвать такой материал, где все эти условия так подобраны, что они позволяют максимально использовать прочность и растяжимость раствора, проявляющегося в элементарной деформации.*

В армоцементе с помощью сеток можно разумно управлять работой концентраторов напряжений в растворе для полного использования его механических свойств. Метод акустического контроля за развитием микротрещин, вероятно, один из наиболее удобных методов для подбора оптимального значения параметров сеток и гранулометрического состава раствора.

#### ЛИТЕРАТУРА

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва, М 1955.</li> <li>2. Берг О Я. К вопросу о прочности и пластичности бетона, Доклады АН СССР, т—LXX № 4, 1955.</li> <li>3. Джонс Р., Гэтфильд Е. Ультразвуковой импульсный способ испытания бетона, Промстройиздат, 1957.</li> <li>4. Grübler M. Über die Festigkeit von Schleifstein, 1899 ZVJ</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Михайлов В. В. Растяжимость бетона в условиях свободных и связанных деформаций, СВЦНИПС, Исследование прочности, пластичности и ползучести строительных материалов, М 1955.</li> <li>6. Цискрели Г. Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов, М 1954</li> <li>7. Волков Г. Ф. Приложение задачи Буссинеска к расчету каменных кладок при местных нагрузках Материалы XVII конференции ЛИИЖТ Л. 1956</li> </ol> |
|--|---|

## РАБОТЫ ТРЕСТА № 105 ГЛАВЛЕНИНГРАДСТРОЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Инженер В. А. НОВОЛОЦКИЙ

В 1957 году стройтрестом № 105 в Ленинграде были применены армоцементные конструкции при строительстве двух объектов: колхозного рынка в Московском районе и жилого дома по Лиговскому пр. 168/170.

Покрытие торгового зала рынка пролетом 15 м первоначально было запроектировано в тяжелых железобетонных конструкциях, состоящих из двухпустотных железобетонных панелей, уложенных по железобетонным аркам с шагом 6 м.

Ленфилиалом Академии СпА в содружестве с трестом № 105 было предложено и разработано новое конструктивное решение — армоцементные своды двоякой кривизны с толщиной стенки 20 мм, утепленные армопенобетонными плитами.

Изготовление армоцементных сводов было организовано на приобъектном полигоне в зоне действия башенного крана. Формовка производилась в деревянной опалубке, собираемой из реек сечением 40 × 15 мм. Рейки нашивались на фигурные деревянные кружала, соответствующие очертанию кривизны волны свода. Исходными материалами для приготовления цементно-песчаного раствора был цемент завода им. Воровского марки «400» и песок средней крупности. Состав раствора был принят 1:1,3.

В 28-дневном возрасте прочность кубика равнялась 300 кг/см<sup>2</sup>.

Процесс изготовления армоцементных элементов начинался с подготовки опалубки, поверхность которой смазывалась тавотом и покрывалась одним слоем оберточной бумаги. После этого производилась укладка нижнего слоя стальной арматурной сетки «Рабитц». Во избежание отслоения сетка прикреплялась к опалубке в нескольких местах тонкими стальными шпильками. Поверх нее укладывалась арматура из стержней диаметром 6 мм и еще выше — второй слой сетки «Рабитц».

Укладка цементного раствора производилась в данном случае вручную с проверкой толщины слоя специальным шупом.

Как показал дальнейший опыт для этой операции рационально пользоваться растворомасосом с последующей затиркой



наружной поверхности бетонруемого элемента. Изделия выдерживались на открытом воздухе до приобретения 70% проектной прочности. Затем готовые изделия с помощью четырех ручных домкратов, устанавливаемых в третях пролета, отделялись от опалубки и краном перемещались на приобъектный склад стройдеталей. Случаев повреждения изделий в процессе съема не наблюдалось.

Монтажные операции по подъему и установке элементов покрытия зала выполнялись башенным краном грузоподъемностью 1,5—3,0 т. Строповка производилась при помощи металлической траверсы с двумя парами подвесок за закладные петли.

В покрытии зала армоцементные сборные арки опирались на железобетонную обвязку, выполненную из монолитного железобетона по верху кирпичной кладки.

Сборка покрытия была организована следующим образом. До начала монтажа на железобетонных обвязках делалась разметка, точно фиксирующая положение каждого отдельного сборного элемента, а также положение стальных затяжек.

Нижние поверхности снятых с опалубки элементов очищались от приставшей бумаги и подготавливались путем затирки и грунтовки под окраску.

Установка элементов в проектное положение производилась в двух направлениях от середины здания к торцам; монтаж затяжек выполнялся одновременно, опережая армоцементные элементы на один шаг. Подвески, поддерживающие затяжки, заводились в швы между двумя смежными элементами и закреплялись выпусками арматуры из ребер арок. Замоноличивание швов между арками выполнялось цементным раствором марки «200». До заполнения швов элементы скреплялись между собой путем скрутки концов арматурных выпусков. Укладка термозоляционных армопенобетонных плит и дальнейшее устройство кровельного покрытия производилось после достижения раствором в швах 50% проектной прочности.

Все монтажные операции выполнялись бригадой в составе 6 человек, монтажников VI разряда — 1, IV — 3, подсобников III разряда — 2.

Покрытие торгового зала Московского рынка является первым опытом нашей отечественной строительной практики в использовании армоцемента для создания легких пространственных конструкций значительных размеров.

Следующим опытом использования армоцемента для создания легких рациональных экономичных конструкций явилась работа по устройству кровельного покрытия жилого дома по Ленинскому пр. 168/170, выполненная трестом № 105 в содружестве с Ленфилналом АСИА.

Кровля двухскатная выполнена из тонкостенных волнообразных армоцементных панелей, опирающихся в коньковой части на железобетонный прогон, состоящий из двух сборных типовых

железобетонных балок, укладываемых по кирпичным столбикам; в карнизной части панели опираются непосредственно на кирпичную кладку стен, а в решении с карнизными блоками — на выступ последнего. Угол наклона кровли принят 11°. Армированные панели состоят из двух металлических сеток «Рабитц» и проволочной сетки диаметром 4 мм с ячейкой 20 × 20 мм.

Технология изготовления армоцементных панелей аналогична отмеченной выше технологии сборных элементов покрытия рынка. Панели также изготовлялись в деревянной опалубке. В летнее время бетонирование панелей производилось на открытом воздухе, в осеннее время, в условиях более низких температур (0°—5°С), в пропарочных камерах полигонного типа. С помощью ломика готовые панели легко отделялись от формы, а затем краном складывались в штабелю с прокладкой между ними деревянных реек.

Монтаж армоцементных кровельных панелей осуществлялся краном грузоподъемностью 1,5—3,0 т. Панели укладывались на цементном растворе с креплением в коньке и карнизной части посредством выпусков арматуры. Швы между панелями зачеканивались раствором на расширяющемся цементе.

Все монтажные работы выполнялись звеном в составе 5 человек; монтажников VI разряда — 1; IV — 2, рабочих III разряда — 2.

Наблюдения за эксплуатирующей смонтированной кровлей подтвердили правильность принятого конструктивного решения.

Необходимо отметить следующие армоцементные конструкции, осуществленные трестом № 105 в 1958 году.

Кровлю жилого дома № 22 в 64 квартале Московского района г. Ленинграда с использованием бескарнизного варианта, то есть из сборных кровельных панелей с карнизным свесом без специального блока.

Покрытие (отепленное) строящегося корпуса фабрики офсетной печати (пролетом 14,5 м. Конструкция кровли состоит из сборных панелей балочного типа волнообразного поперечного сечения. Приведенная толщина покрытия составляет 30 мм.

Покрытие дебаркадера холодильника Ленхладкомбината пролетом 14,0 м из сборных элементов по типу предыдущей конструкции.

В настоящее время на стройплощадке одного из объектов проводятся испытания этих конструкций.

## К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ НА УДАР АРМОЦЕМЕНТНЫХ И ТОНКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Инженер А. А. КУДРЯВЦЕВ

Тонкостенные конструкции из армоцемента и железобетона находят в настоящее время широкое применение во многих областях железобетонного строительства.

В целях изучения возможности использования армоцемента для постройки некоторых плавучих сооружений в Центральном научно-исследовательском институте речного флота были проведены испытания на удар армоцементных и тонких железобетонных плит с различным армированием.

Задача исследования усложнялась тем, что до настоящего времени нет какой-либо установленной методики испытания подобных элементов, в связи с чем было решено провести сравнительные испытания прочности на удар армоцементных, обычных железобетонных и преднапряженных железобетонных плит. Сравнительным эталоном служила прочность на удар ненапряженной железобетонной плиты, армированной двумя сетками, имеющими в продольном направлении 12 стержней на 1 пог. м, а в поперечном — 10 на 1 пог. м. Диаметр продольных и поперечных стержней равнялся 6,0 мм, предел текучести стали  $\sigma_T = 2500 \text{ кг/см}^2$ . Такие плиты широко применяются при строительстве плавучих сооружений.

Образцы армоцементных плит были приняты размером  $90 \times 50 \text{ см}$ , толщиной 2,5 см. Плиты имели ребра жесткости, которые служили опорам участков плит, подвергаемых удару (рис. 1).

Для определения влияния числа сеток (процента армирования) на ударную прочность были изготовлены плиты, армированные 3, 5 и 8 сетками, с диаметром проволоки 0,8 мм и размером ячеек в среднем  $12 \times 12 \text{ мм}$ . В продольном направлении плиты дополнительно армировались 6 стержнями диаметром 6,0 мм, расположенными по нейтральной оси.

Сетки укладывались в деревянные формы, снизу защитный слой фиксировался металлическими прокладками диаметром 4 мм, длиной 4—5 см. Формы заливались цементным раствором. Исходными материалами для приготовления цементного раствора служили портланд-цемент марки «400» и кварцевый песок.

Состав раствора был принят 1:1,3. Уплотнение раствора в формах производилось с помощью поверхностного вибратора И-7.

До испытания плиты выдерживались во влажных условиях в течение 28 дней, прочность раствора к этому времени достигала  $R_{28} = 400 \text{ кг/см}^2$ .

Для сопоставления ударной прочности были изготовлены обычные железобетонные плиты толщиной 2,5; 3 и 5 см и предварительно-напряженные толщиной 3 см (с напряжением сжатия в бетоне 40 и  $100 \text{ кг/см}^2$ ). Причем образец толщиной 2,5 см имел тот же состав бетона, что и армоцементные плиты, то есть без крупного заполнителя. Каждый образец имел 2—3 близнеца.

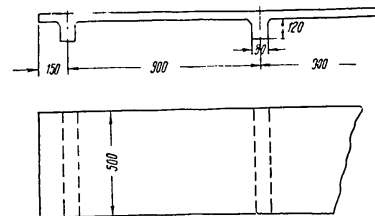


Рис. 1 Конструкция плиты для испытания на удар

Обычные железобетонные плиты армировались двумя сетками (диаметр стержней и шаг расположения указан в табл. 1). Плиты имели защитный слой 1 см.

Предварительно-напряженные плиты армировались двумя сетками, продольной рабочей арматурой которых служила проволока периодического профиля диаметром 3 мм, с пределом прочности на разрыв  $18000 \text{ кг/см}^2$ . Для поперечной ненапряженной арматуры применялась проволока диаметром 4 мм. Шаг расположения струн был принят 50 мм, защитный слой — 8 мм. Предварительно-напряженные плиты изготовлялись на натяжном стенде, располагающем специальным роликовым устройством для выравнивания напряжения в струнах. Натяжение всех струн осуществлялось одновременно гидравлическим домкратом.

Материалами для приготовления бетонной смеси служили цемент марки «400», кварцевый песок и гранитный щебень. Расход цемента составлял  $550 \text{ кг/м}^3$ .

В табл. 1 приведены основные характеристики армоцементных и железобетонных плит.

Железобетонные плиты испытывались на удар на специальном стенде (рис. 2).

Таблица 1

Тип образца	Вид материала	Прочность бетона $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	Толщина плиты, см	Количество сеток	Диаметр рабочей арматуры, мм	Шаг рабочей арматуры, мм	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> плиты, кг
АР-3	Армоцемент . . . . .	420	2,5	3	0,8	12	3,78
АР-5	То же . . . . .	400	2,5	5	0,8	12	5,43
АР-8	» . . . . .	400	2,5	8	0,8	12	7,86
ПО-2,5	Армированный песчаный бетон . . . . .	420	2,5	2	6	84	9,76
ПО-3	Железобетон . . . . .	470	3	2	4	50	5,38
ПО-5	То же . . . . .	405	5	2	6	84	9,76
ПН-3 (40)*	Предварительно-напряженный бетон . . . . .	425	3	2	3	50	4,72
ПН-3 (100)	То же . . . . .	400	3	2	3	50	4,72

\* Цифры в скобках обозначают предварительное напряжение сжатия в бетоне  $\sigma_0$  в кг/см<sup>2</sup>

Плита располагалась на столе и раскреплялась поперечными крепежными струбцинами. Под испытуемым участком плиты устанавливался прогибомер, специально сконструированный для этой цели.

Во время нанесения ударов по плите под ударяемым пролетом находился наблюдатель, который производил измерения величин раскрытия трещин после каждого удара и величин максимальных и остаточных прогибов. Ширина раскрытия трещин замерялась микроскопом МИР-1, гири при этом находилась на плите неподвижно.

Вес гири был принят постоянным, равным 25 кг. Нижняя часть гири имела сферическую поверхность с радиусом сферы  $R = 25$  см.

Для попадания в одну и ту же точку гиря направлялась вертикальными направляющими. Подъем гири производился с помощью троса через верхний блок. Падению гири трос не препятствовал, так как разъединительный замок находился непосредственно у самой гири.

Для испытания плит принята следующая методика. Первые пять ударов наносились с высоты 30 см. После каждого пятого удара высота подъема гири увеличивалась на 10 см.

Удары наносились до тех пор, пока не происходило полного разрушения ударяемого участка плиты.

Оценка прочности плит производилась по условному измерителю ударной прочности, равному произведению веса гири на высоту падения и на число ударов  $\Sigma pHn$ ,

где  $p$  — постоянный вес гири равный 25 кг;

$H$  — высота падения гири, см;

$n$  — число ударов, которое при данной высоте  $H$  изменяется от 1 до 5.

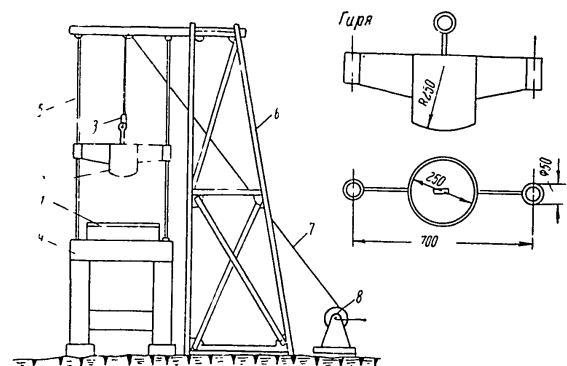


Рис 2 Стенд для испытания плит на удар

1 — опытный образец, 2 — гиря, 3 — разъединительный замок, 4 — стол, 5 — направляющие, 6 — станина, 7 — трос, 8 — лебедка

При такой методике представилось возможным построить кривые зависимости раскрытия трещин в плитах от величины условного измерителя ударной прочности  $\Sigma pHn$  до момента появления первых отколов бетона, то есть до начала момента разрушения  $\Sigma pHn^{раз}$ . Кривая раскрытия трещин при  $\Sigma pHn^{раз}$  стремится к бесконечности.

После появления первых отколов, образец практически разрушен, так как при этом обнажилась арматура. Деформация наблюдается визуально.

Сопротивляемость армоцементных плит ударным нагрузкам характеризуется графиком (рис. 3), на котором представлены кривые зависимости ширины раскрытия трещин от величины условного измерителя ударной прочности  $\Sigma pHn$  для армоцементных и обычных железобетонных плит. Расположение точек на этом графике показывает, что армоцементные плиты имеют

повышенную сопротивляемость ударным нагрузкам, по сравнению с обычными железобетонными плитами. Так, разрушение (начало образования отколов бетона) армоцементных плит, армированных 5 и 8 сетками, наступает при  $\Sigma p H n^{pas}$  в 2,1—2,32 раза большим по сравнению с обычной железобетонной плитой толщиной 3 см, армированной проволокой диаметром 4 мм. Ударная прочность армоцементной плиты толщиной 2,5 см, армированной 8 сетками, несколько выше ударной прочности

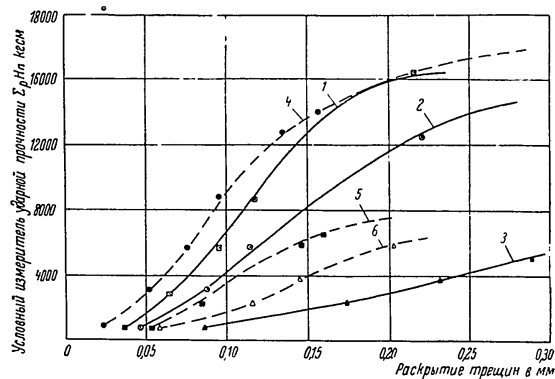


Рис 3. Зависимость раскрытия трещин при ударах у армоцементных и обычных железобетонных плитах от величины  $\Sigma p H n$ .  
1, 2 и 3 — армоцементные плиты, армированные соответственно 8, 5 и 3 сетками; 4, 5 и 6 — железобетонные плиты толщиной 5—3 и 2,5 см.

обычной железобетонной плиты толщиной 5 см, армированной стержнями диаметром 6 мм.

Если сопоставить прочность на удар армоцементной плиты с 8 сетками (расход стали — 7,86 кг на 1 м<sup>2</sup>) с прочностью аналогичной плиты на песчаном бетоне, армированной стержнями диаметром 6 мм (расход стали 9,76 кг на 1 м<sup>2</sup>), то можно отметить, что дисперсное армирование способствует увеличению ударной прочности плит в 2,5 раза (рис. 3, кривые 1 и 6).

При сопоставлении прочности на удар армоцементных плит и предварительно-напряженных получен график (рис. 4). Как видно из графика, по сопротивляемости ударным нагрузкам армоцементные плиты уступают предварительно-напряженным плитам. Так, армоцементная плита с 8 сетками имеет величину условного измерителя ударной прочности  $\Sigma p H n^{pas}$ , при которой появляются первые отколы бетона, на 44% меньше предва-

рительно напряженной плиты толщиной 3 см при напряжении сжатия в бетоне  $\sigma_6 = 100 \text{ кг/см}^2$ . Однако, при более низком напряжении сжатия бетона  $\sigma_6 = 40 \text{ кг/см}^2$  предварительно напряженная плита имеет величину  $\Sigma p H n^{pas}$ , равную для армоцементной плиты с 8 сетками.

В табл. 2 приведены сводные данные о прочности на удар армоцементных и железобетонных плит.

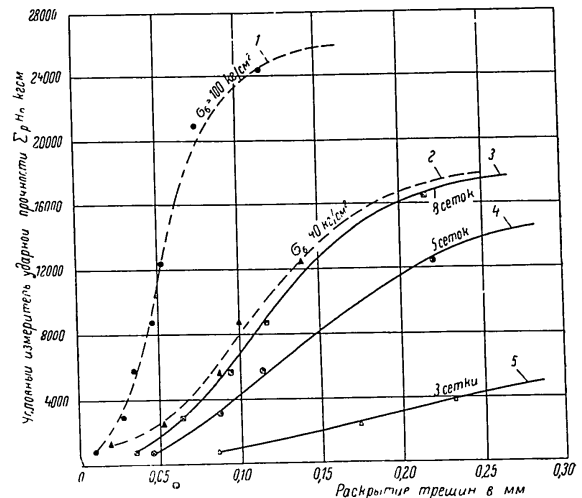


Рис 4. График сравнения прочности на удар армоцементных и предварительно напряженных железобетонных плит  
1 и 2 — предварительно напряженные железобетонные плиты; 3, 4 и 5 — армоцементные плиты

Зависимость сопротивляемости армоцементных плит удару от числа сеток характеризуется графиком рис. 5. Увеличение числа сеток в армоцементных плитах с 3 до 8 значительно сказывается на повышении ударной прочности. Как видно из графика (рис. 5) наиболее интенсивное нарастание ударной прочности наблюдается при увеличении числа сеток с 3 до 5—6. Дальнейшее же увеличение количества сеток в плитах не приводит к существенному повышению прочности на удар. Увеличение числа сеток в плитах больше 8 будет, по-видимому, не рационально.

Анализируя картину трещинообразования у армоцементных плит при ударах, можно отметить следующее. Процесс появления и раскрытия трещин при нанесении ударов у армоцементных плит сопровождается быстрым нарастанием остаточных прогибов. Видимые трещины с шириной раскрытия 0,02--0,04 мм появляются на нижней поверхности плиты, как правило, после первого удара гирей весом 25 кг с высоты 30 см. По мере дальнейшего нанесения ударов происходит значительное увеличение числа трещин и ширины их раскрытия. Трещины у армоцементных плит имеют клетчатое расположение, отколы бетона проис-

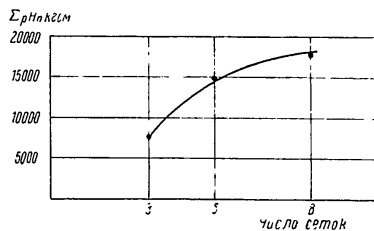


Рис 5 Зависимость прочности на удар армоцементных плит от числа сеток

ходят в промежутках между проволокой нижней сетки. Появление отколов сопровождается разрывом проволок нижних сеток, после чего размеры отколов бетона быстро увеличиваются и затем образуется сквозное отверстие.

При такой же методике испытания обычные железобетонные плиты толщиной 2,5; 3 и 5 см имеют меньшие остаточные прогибы, а трещины расходятся радиально от центра удара. Од-

нако, отколы бетона имеют больше размеры, по сравнению с отколами из армоцементных плит.

Отмечено, что предварительно-напряженные железобетонные плиты при ударах вообще не имеют остаточных прогибов. Раскрытие трещин у последних происходит значительно медленнее по сравнению с армоцементными и обычными железобетонными. Повышение сопротивляемости ударным нагрузкам предварительно-напряженных плит, по сравнению с обычными железобетонными, может быть объяснено тем, что бетон совместно

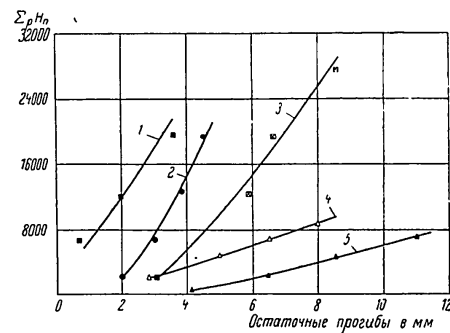


Рис 6 График остаточных прогибов армоцементных и железобетонных плит.

1, 2 и 4 — железобетонные плиты толщиной 5; 3 и 2,5 см, соответственно, 3 и 5 армоцементные плиты с 8 и 3 сетками.

с напряженной арматурой создает более упругую систему. Отсутствие остаточных прогибов у преднапряженных плит подтверждает это положение.

График образования остаточных прогибов у армоцементных и обычных железобетонных плит представлен на рис. 6. Увеличение числа сеток у армоцементных плит способствует уменьшению остаточных прогибов.

Полные прогибы армоцементных плит превышают в 1,5 раза полные прогибы обычных железобетонных плит толщиной 3 см и в 2 раза — предварительно-напряженных плит.

Проведенное экспериментальное исследование прочности на удар плит с различным армированием дает возможность заключить, что дисперсное армирование в значительной степени способствует повышению ударной прочности. Другим важным средством, увеличивающим ударную прочность тонких железобетонных плит, является напряженное армирование.

Таблица 2

Тип образца	Толщина плиты, см	Напряжение сжатия в бетоне кг/см <sup>2</sup>	Величина Σ pHn, раз в момент появления первых отколов бетона, кг/см	в % от у pHn, раз для железобетонной плиты толщиной 5 см
Ар-3	2,5	0	8750	53
Ар-5	2,5	0	15000	94
Ар-8	2,5	0	18000	109
ПО-2,5	2,5	0	6750	41
ПО-3	3	0	7750	47
ПО-5	5	0	16500	100
ПН-3 (40)	3	40	18000	109
ПН-3 (100)	3	100	26000	157

### СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>А. П. Морозов.</i> Основные задачи внедрения и развития армоцементных конструкций . . . . .	5
<i>К. В. Сахновский.</i> Армоцемент как материал для покрытий . . . . .	12
<i>П. Крутов, Е. Я. Гродский, А. Б. Гродек.</i> Исследования НИИСельстрой в области свойств армоцемента и применение его в сельскохозяйственном строительстве . . . . .	16
<i>В. К. Балавадзе.</i> Армоцемент и новая технология изготовления тонкостенных армоцементных конструкций . . . . .	37
<i>В. Б. Минц и А. Е. Новицкий.</i> Армоцементные конструкции в энергетическом строительстве . . . . .	49
<i>В. Г. Крейтан.</i> Применение армоцемента в жилищном и гражданском строительстве . . . . .	61
<i>Г. С. Родов и В. А. Вознесенская.</i> К методике определения физико-механических свойств армоцемента . . . . .	79
<i>Н. И. Климов.</i> Кровельные тонкостенные скорлупы с применением напрягающего и обычного цементов . . . . .	90
<i>Г. Ф. Волков.</i> Роль сеток в механической работе армоцемента . . . . .	98
<i>В. А. Новолоцкий.</i> Работы треста № 105 Главленинградстроя в области создания армоцементных конструкций . . . . .	105
<i>А. А. Кудрявцев.</i> К вопросу о прочности на удар армоцементных и тонких железобетонных плит . . . . .	108

Редактор *Л. М. Менделев*

Техн. редактор *К. М. Волчок*      Корректор *Г. Ф. Чермышева*

Слано в набор 29/II 1959 г. Подписано к печати 7/IV 1959 г. Бумага 60 92 16. Физ. печ. л. 7,25  
Усл. печ. л. 7,25. Тираж 1000 экз. М-23168. Бесплатно. Заказ № 162

Издание редакции журнала "Бюллетень технической информации" Главленинградстроя.  
Ленинград, Невский пр., 1.

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза Ленинград, Социалистическая, 14

Бесплатно

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Ленинградский ордена Трудового Красного Знамени  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

---

# ДОКЛАДЫ

МЕЖВУЗОВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО  
ИЗУЧЕНИЮ АВТОКЛАВНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЮ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ленинград  
1959



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

— — —  
Ленинградский ордена Трудового Красного Знамени  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

---

# ДОКЛАДЫ

МЕЖВУЗОВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО  
ИЗУЧЕНИЮ АВТОКЛАВНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЮ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ленинград  
1959

Ответственный редактор  
действительный член АС и А СССР,  
доктор технических наук,  
профессор **П. И. БОЖЕНОВ**

**П. И. БОЖЕНОВ**  
действительный член АС и А СССР,  
доктор технических наук, профессор  
(Ленинградский инженерно-строи-  
тельный институт)

#### Значение пара высоких параметров для технологии строительных материалов

Производство автоклавных строительных материалов зародилось в конце XIX века. С тех пор, вплоть до 1951 года, технологи применяли и изучали режим, предложенный Михаэлисом, внося в него частные изменения, в зависимости от требований предъявляемых к выпускаемым изделиям и от качества исходного сырья. Следует подчеркнуть, что все 80 лет давление водяного пара в автоклавах неизменно равнялось 8 *ати*. Отдельные попытки понизить давление в автоклавах приводили к отрицательным результатам. Как известно, удлинение запарки под давлением 8 *ати* приводит к значительному увеличению прочностных характеристик автоклавных материалов. Поэтому некоторые исследователи для характеристики степени автоклавизации ввели достаточно распространенное выражение „атмосферочасы“, физический смысл которого не ясен.

Учеными, занимающимися проблемами экспериментальной минералогии и петрографии, проведены многочисленные исследования раскрывающие значение воды в процессах минаралогенеза, что позволило В. И. Вернадскому еще в 1923 году написать по этому поводу: „Вода играет в химии земной коры исключительную роль, несравнимую ни с каким другим соединением, и она различным образом проникает почти все минеральные тела верхних — и отчасти даже глубинных — термодинамических оболочек земной коры. И она

дает с ними разнообразные различной устойчивости гипсы химических соединений".

В последние годы в научной литературе появилось значительное число публикаций, освещающих условия образования различных гидросиликатов.

Следует отметить известный разрыв между теоретическими исследованиями, в которых преобладают эксперименты при очень высоких давлениях 100—3000 *атм* при температурах 300—1000°C с одной стороны, и практикой гидротермальной обработки, ограничивающейся или пропаркой при 70—80°C или запаркой при 8 *атм*.

Такое положение создается в результате недооценки технологами теоретических и экспериментальных работ в области физико-химии силикатов и термодинамических свойств воды и водяного пара при высоких давлениях и температурах.

Многочисленные публикации о генезисе природных и искусственных водных силикатов и алюмосиликатов привели нас к необходимости поставить экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния водяного пара высоких параметров на процессы твердения и гидратации обычных вяжущих веществ и некоторых отходов промышленности, содержащих силикаты кальция и магния.

Экспериментальные работы, выполненные в ИИСИ автором совместно с Г. Ф. Суворовой, В. С. Сальниковой, З. М. Петренко, В. И. Кавалеровой, М. С. Сатинным и А. Я. Стахеевым позволили сделать ряд практических выводов, открывающих, как нам кажется, широкие возможности развития производства новых высококачественных автоклавных строительных и технических материалов.

Наши работы и работы других исследователей показали, что в подавляющем большинстве случаев давление 8 *атм* не обеспечивает полного использования потенциальных возможностей вяжущего вещества и что для этого требуется более высокое давление в автоклаве.

В результате большого экспериментального материала установлено, что для каждого вяжущего вещества существует свое оптимальное давление в автоклаве, обеспечивающее при коротком режиме высокую прочность. Например, повышая давление насыщенного пара до 15—25 *атм* можно в 2—3 раза сократить продолжительность запарки и одновременно в несколько раз увеличить прочность цементных и силикатных изделий, как это видно из табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что при одинаковом содержании извести (8%) в смесях, но при различной тонкости помола

Таблица 1

давление, <i>атм</i>	Режим запаривания			Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	
	температура, С	подъем, час-мин.	спуск, час-мин.	Суммарная поверхность зерен песка, см <sup>2</sup> /г	
				800	4900
8	165	2-00	2-00	131	471
15	190	2-30	2-30	328	770
25	220	2-45	2-45	510	690
50	255	3-30	3-30	412	619
100	310	4-00	4-00	302	560
200	361	4-45	4-15	304	522
300	—	5-00	5-00	301	188

Таблица 2

Прочность ( $R_{сж}$ ) в зависимости от условий запарки

давление, <i>атм</i>	Цементы				
	C <sub>2</sub> S—59%	C <sub>2</sub> S—18%	C <sub>2</sub> S—47,4%	C <sub>2</sub> S—33,3%	C <sub>2</sub> S—28,0%
	C <sub>2</sub> S—18%	C <sub>2</sub> S—26,0%	C <sub>2</sub> S—29,1%	C <sub>2</sub> S—37,7%	C <sub>2</sub> S—46%
	C <sub>1</sub> A—1%	C <sub>1</sub> A—10,7%	C <sub>1</sub> A—6,9%	C <sub>1</sub> A—12,7%	C <sub>1</sub> A—5%
	C <sub>4</sub> AF—15%	C <sub>4</sub> AF—10,9%	C <sub>4</sub> AF—15,2%	C <sub>4</sub> AF—11,0%	C <sub>4</sub> AF—17%
Нормальное давление					
3 ч.	88 кг/см <sup>2</sup>	35 кг/см <sup>2</sup>	26 кг/см <sup>2</sup>	162 кг/см <sup>2</sup>	80 кг/см <sup>2</sup>
28 дн	348	110	111	370	230
8 <i>атм</i>	313	175	225	380	425
15	430	185	210	396	460
25	600	226	220	430	365
50	330	129	132	242	220
100	165	113	134	214	198
200	75	—	—	—	145

песка максимальная прочность известково-песчаной массы получается при давлении 15—25 *ати*.

В табл. 2 приводятся данные для растворов 1:3 из портландцемента различного минералогического состава, подвергнутых обработке паром при давлениях до 200 *ати*.

В зависимости от минералогического состава максимальная прочность образцов была получена так же при давлениях 15—25 *ати*.

Для некоторых медленнотвердеющих вяжущих веществ скорость твердения и соответственно прочность возрастает еще в большей степени, иногда в десятки раз.

Термографическими, петрографическими и рентгенографическими исследованиями подтверждено, что при обработке цемента паром высокого давления происходит более глубокая гидратация зерен цементного клинкера, что приводит к более полному использованию химической активности его. Кроме того, при автоклавизации создаются благоприятные условия для образования и кристаллизации различных гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция и магния. Это приводит к получению камня высокой прочности в короткое, технологически приемлемые сроки (несколько часов) обработки.

В 1955 году в Госстрое рассматривался вопрос о внедрении в промышленность автоклавов высокого давления. По нашему предложению было принято решение заказать промышленности автоклавы на 16 *ати*. К сожалению позднее по требованию тов. Туркина и других работников ЦНИИПС'а это решение без нашего участия было отменено. С большим трудом удалось тогда добиться согласия на серийное производство автоклавов, рассчитанных на рабочее давление в 12 *ати*. Наконец, в августе 1958 года Госплан РСФСР принял решение о производстве автоклавов рассчитанных на 16 *ати*.

В настоящее время известно, что за границей производство автоклавных материалов идет по линии увеличения давления. Польша, например, поставила нам для производства газобетона автоклавы на 12 *ати*, имеются сведения, что в ФРГ и в Швеции новые заводы оснащаются автоклавами рассчитанными на 16 *ати*.

Таким образом, разработанная у нас технология автоклавной обработки при высоких давлениях пара уже внедряется за границей.

С тем, чтобы показать технологические преимущества автоклавной обработки паром высокого давления, в табл. 3 приведены на основании данных опубликованных в печати, усредненные показатели зависимости прочности и длитель-

ности гидротермальной обработки различных автоклавных материалов. Эту таблицу следует рассматривать как весьма приближенную, вскрывающую только качественную, отнюдь не количественную, зависимость между условиями твердения и прочностью изделия.

Из табл. 3 видно, что, используя для автоклавной обработки насыщенный пар под давлением 16 *ати*, можно значительно повысить механическую прочность изделий и одновременно сократить длительность автоклавизации примерно в два раза.

Особенно эффективна обработка паром высокого давления вяжущих веществ, содержащих двухкальцевый силикат и силикаты магния, как это показано в докладах В. И. Кавалеровой, А. Я. Стахеева, В. С. Сальниковой и др. представленных на нашей конференции.

Применение автоклавов высокого давления, как показали многочисленные эксперименты, позволяет полностью заменить портландцемент доменными шлаками, а еще лучше нефелиновым цементом при производстве пено- и газобетонов, для которых по данным Госстроя СССР в 1958—1960 годы будет израсходовано более 1 *млн т*. При этом следует подчеркнуть, что замена портландцемента в этом случае приведет к повышению качества изделий и снижению себестоимости не менее, чем на 30%. Кроме того, использование нефелинового цемента для ячеистых бетонов позволяет отказаться от помола песка, этой очень дорогой операции.

Обработку паром высокого давления следует широко внедрить для производства сборных бетонных и железобетонных изделий, мелких и крупных шлакоблоков, изделий из легких бетонов, цементной черепицы, силикатных блоков, шифера и ячеистых бетонов. Для всех этих изделий по данным Госстроя СССР придется израсходовать

в 1958 году	около 10 <i>млн т</i>	цемента
1959 году	" 14 "	" "
1960 году	" 18 "	" "

Всего около 42 *млн т* цемента

Все это огромное количество цемента может быть замещено отходами промышленности, если мы внедрим автоклавную обработку.

В настоящее время имеются все необходимые предпосылки для того, чтобы дополнить номенклатуру вяжущих веществ специальными автоклавными цементами. Такое мероприятие имеет большое народнохозяйственное значение, так как будет формально признана правомерность таких вяжу-

Таблица 3

Наименование материала	Условия твердения	Продолжительность режима твердения	Прочность, %
Бетонные и ж. б. изделия на портландцементе марки „400“	нормальное твердение на воздухе пропарка 60—80° автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 15—30 час. 2 + 8 + 2 = 12 час. 2 + 0 + 4 = 6 час.	100 60—70 80—95 130—120
Бетонные и ж. б. изделия на отходах промышленности: нефелиновый цемент — отход алюминиевых производств	нормальное тверд. пропарка 60—80° автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 15—30 час. 2 + 8 + 2 = 12 час. 2 + 0 + 4 = 6 час.	40—60 40—60 120—160 160—230
доменные основные шлаки	нормальное тверд. пропарка 60—80° автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 15—30 час. 2 + 8 + 2 = 12 час. 2 + 0 + 4 = 6 час.	30—50 30—50 90—110 150—200
Пено-и газобетоны:			
на портландцементе марки „400“	нормальное тверд. автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 3 + 8 + 5 = 16 час. 2 + 2 + 4 = 8 час.	100 150—200 240—300
на нефелиновом цементе	нормальное тверд. автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 3 + 8 + 5 = 16 час. 2 + 2 + 4 = 8 час.	40—100 200—250 300—400
на доменных основных шлаках	нормальное тверд. автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	28 дней 3 + 8 + 5 = 16 час. 2 + 2 + 4 = 8 час.	70—90 150—200 250—350
Силикатные изделия:			
на немолотом песке	автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	2 + 8 + 2 = 12 час. 2 + 0 + 4 = 6 час.	100 20—300
на молотом песке	автоклав 8 <i>ати</i> автоклав 16 <i>ати</i>	2 + 8 + 2 = 12 час. 2 + 0 + 4 = 6 час.	200—300 100—600

8

щих веществ и они из категории „заменителей“ перейдут в группу „стандартных“ цементов.

Кроме привлечения нового дешевого сырья для производства высококачественных строительных материалов, автоклавная обработка обеспечивает значительную экономию топлива.

Так например, для производства 42 млн т портландцемента необходимо затратить около 14 млн т технологического, высококалорийного каменного угля и около  $42 \times 10^8$  квт-ч электроэнергии, для получения которой потребуется дополнительно 2,5 млн т угля. Следовательно, суммарный расход топлива составит 16,5 млн т.

Если перевести расход технологического топлива и электроэнергии погребных для производства портландцемента в тепловые единицы, то получится, что на тонну клинкера расходуется около 1900000 ккал.

Переход на обработку изделий паром высокого давления избавляет нас от необходимости производить цемент, но вызывает по сравнению с пропаркой увеличение расхода тепла примерно 30000 ккал на 1 м<sup>3</sup> изделий или 90000 ккал на 1 т цемента.

В табл. 4 приводится примерный баланс расхода тепла при автоклавном способе производства бетонных изделий на базе отходов промышленности и при пропарке обычного бетона на портландцементе.

Следовательно, автоклавизация не только позволяет заменить цемент отходами промышленности, что весьма важно,

Таблица 4

Производство бетонных и железобетонных изделий	
методом пропарки на портландцементе	автоклавная обработка на молотых отходах промышленности
расход топлива на обжиг 1200000 ккал	помол и сушка $50 \times 3000 = 150000$ ккал
расход электроэнергии $105 \times 300 = 315000$ ккал	увеличение расхода пара при автоклавной обработке
сушка сырья и угля 400000 ккал	90000 ккал
1915000 ккал на т клинкера	210000 ккал
Электричество для помола добавок $0,15 \times 40 \times 3000 = 180000$ ккал	
клинкера $0,85 \times 1900000 =$ $= 1616000$ ккал	
1633000 ккал на 1 т цемента	

Экономия тепла  $1633000 - 210000 = 1393000$  ккал или  $1393000 / 7000 = 199$  кг условного топлива на каждую замененную т портландцемента.

9

но и является в высшей степени выгодной и по другим технико-экономическим показателям.

Все это приведет к снижению себестоимости бетонных и железобетонных изделий не менее, чем на 15-20% и освободит многие миллионы тонн портландцемента для дорожного, гидротехнического и др. видов строительства, где применение цемента сегодня обязательно.

Если рассматривать обработку паром высокого давления только как средство активизации цемента, то и с этих узких позиций автоклавизация является более эффективной, чем, например, тонкий помол и особенно вибропомол. Действительно для увеличения прочности изделия в два раза достаточно повысить давление с 8 до 16 атм, что вызовет увеличение расхода тепла на 30-40 тыс. ккал, а для получения такого же эффекта методом помола потребуется дополнительно израсходовать от 30 до 70 квт-ч на тонну цемента или 90-210 тыс. ккал, т. е. в три-четыре раза больше.

Говоря о путях развития автоклавных строительных материалов, необходимо уделить внимание ячеистым бетонам. Ячеистые бетоны являются наиболее перспективным материалом для ограждающих конструкций гражданских и промышленных сооружений.

В Советском Союзе наибольшее распространение получил автоклавный пенобетон, применяемый для изготовления плит для бесчердачных кровельных покрытий, перегородочных плит, стеновых блоков и т. д.

Одним из существенных недостатков пенобетона, применяемого в настоящее время, является сравнительно большой расход цемента. Технология изготовления пенобетона почти повсеместно основана на автоклавной обработке. Это позволяет заменить значительную часть цемента кремнеземистым компонентом (молотый песок, зола-унос и др.); все же для получения пенобетона с прочностью до 100 кг/см<sup>2</sup> расходуется около 400 кг портландцемента.

Применение дефицитного, высокопрочного и дорогостоящего портландцемента с активностью 300-500 кг/см<sup>2</sup> для изготовления такого сравнительно малопрочного материала, как пенобетон, является технически и экономически нерациональным.

Кроме того, пенобетон, изготовленный на основе портландцемента и молотого кварцевого песка, обладает рядом недостатков. Так, неудовлетворительные для пенобетонной технологии сроки схватывания портландцемента приводят к расслоению и оседанию пенобетонной массы, особенно при изготовлении крупногабаритных изделий. Значительных величин достигают и усадочные деформации в процессе твердения (до 0,6 мм/пог. м).

10

Более правильным является применение в качестве вяжущего вещества воздушной извести, являющейся местным материалом. Однако высокая стоимость и низкая активность извести мешают широкому применению ее для изготовления пеносиликатных изделий. Применение извести требует молотого кварцевого песка, стоимость которого близка к стоимости вяжущих веществ вследствие большой энергоёмкости помола — 35-45 квт-ч на 1 т песка.

Белитовые цементы по сравнению с портландцементом и известково-песчаными смесями дают более вязкую устойчивую вспененную массу и более короткие сроки схватывания, что обеспечивает фиксацию пены до начала ее разрушения и позволяет получать безосадочный пенобетон.

Повышенная стойкость пенобетонной массы позволяет отказаться от применения молотого песка и заменить его

Таблица 5

Влияние крупности песка на прочность пенобетона (цемента 50%, песка 50%)

Объемный вес пенобетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность сжатию, кг/см <sup>2</sup>											
	песок молотый		песок природный, немолотый, размер максимального зерна									
			0,3 мм		0,6 мм		1,2 мм		2,5 мм			
нефелиновый цемент	портландцемент	нефелиновый цемент	портландцемент	нефелиновый цемент	портландцемент	нефелиновый цемент	портландцемент	нефелиновый цемент	портландцемент	нефелиновый цемент	портландцемент	
700	19	58	29	26	18	14	12	6	8	3		
800	60	59	40	36	28	24	23	14	14	6		
900	74	83	54	50	43	34	35	23	20	10		
1000	99	100	72	65	59	45	53	34	34	16		
1100	116	122	91	82	77	59			48	23		

мелким немолотым природным песком без существенного снижения прочности изделий, как это видно из табл. 5, в то время как прочность пенобетона на портландцементе от введения крупного песка резко падает.

Отсутствие расслоений при заливке крупногабаритных изделий позволяет получать хорошую механическую прочность пенобетона при применении природных песков крупностью до 0,3 мм.

Возможность исключения из технологического процесса такой энергоёмкой операции, как помол кварцевого песка, позволяет значительно снизить стоимость пенобетона и повысить его экономичность вообще.

11

Высокая несущая способность вспененной массы на белитовых цементах позволяет применять более высокие отношения между вяжущим веществом и песком, что снижает расход вяжущего вещества по сравнению с портландцементным пенобетоном.

Применение дешевых белитовых цементах на базе некоторых промышленных отходов и мелких природных песков дает возможность в случае автоклавной обработки получать высокопрочные легкие мелкозернистые бетоны с прочностью до  $200 \text{ кг см}^2$  при  $\gamma = 1500 \text{ кг м}^3$ . Следует особо подчеркнуть, что при этом не будет перерасхода вяжущего вещества, поскольку отсутствие крупного заполнителя компенсируется в данном случае вспениванием связующей массы (вместо грания -- воздух).

Отсутствие в материале дорогостоящих искусственных крупных заполнителей (термозит, керамзит и т. п.), применение белитовых безобжиговых вяжущих веществ и широко распространенных мелких речных песков в сочетании с автоклавной обработкой дают вполне удовлетворительный вариант решения проблемы использования мелких песков в технологии сборного железобетона.

Подтверждением ранее сказанного о роли повышенного давления водяного пара на формирование прочностных характеристик могут служить данные табл. 6, составленной М. С. Сатиным на основании значительного числа испытаний.

Следует учитывать при анализе данных табл. 6, что давление  $10 \text{ атм}$  не является оптимальным, и поэтому имеется полная возможность получить из нефелинового цемента пенобетон еще более высоких строительных свойств.

Размеры доклада не позволяют более подробно остановиться на значениях и возможностях, которые имеет водяной

Таблица 6

Объемный вес пенобетона, $\text{кг/м}^3$	Прочность при сжатии в процентах при запарке по режиму 2,5+6 : 4 часа в зависимости от давления водяного пара в $\text{атм}$		
	6	8	10
600	67	100	177
700	79	100	152
800	78	100	140
900	71	100	131
1000	81	100	120
1100	86	100	114

пар высокого давления для производства всех строительных материалов. Все же нам представляется необходимым сказать о двух направлениях, имеющих важное значение для развития промышленности строительных материалов.

Прежде всего следует сказать об исследовании различных по составу и тонкости помола известково-песчаных (силикатных) смесей в широком диапазоне давлений водяного пара от 8 до  $300 \text{ атм}$ . Исследования аспиранта кафедры строительных материалов ЛИСИ З. М. Петренко показали, что для этих смесей оптимальное давление лежи в пределах  $20-30 \text{ атм}$ . Ю. М. Бутт, С. А. Кржеминский и Рогачева опубликовали в 1953 г. работу, показывающую целесообразность увеличения давления в автоклаве до  $16 \text{ атм}$  при производстве силикатного кирпича; влияние более высокого давления в цитируемой работе не изучалось.

Поэтому и для производства различных силикатных изделий целесообразен переход на более высокое давление, что сократит технологическое время производства, повысит качество продукции и улучшит технико-экономические показатели.

Исследование, выполненное в 1953-1955 гг. на кафедре строительных материалов ЛИСИ В. С. Сальниковой, показало, что применение водяного пара высокого давления ( $25-30 \text{ атм}$ ) позволяет:

а) значительно расширить сырьевые ресурсы промышленности строительных материалов;

б) увеличить ассортимент вяжущих веществ для производства строительных изделий и деталей;

в) предложить строительной промышленности новый, обладающий очень интересными свойствами асбестовый бесцементный материал, устойчивый до  $600^\circ$  и удовлетворяющий требованиям ГОСТ на асбестоцементные изделия. Для изготовления его вместо цемента используются отходы от обогащения асбеста (змеевик), миллионы тонн которых ежегодно выбрасываются в отвалы. Автоклавы высокого давления ( $25-30 \text{ атм}$ ) позволят превратить эти отходы в новый строительный материал высокого качества.

Приведенные выше результаты исследования настоятельно требуют широкого внедрения в производство строительных материалов и деталей автоклавов, рассчитанных на давление  $15-25 \text{ атм}$ .

Необходимо подчеркнуть, что изучение роли высокого давления водяного пара на твердение вяжущих веществ проведено в СССР раньше, чем за границей. Во всяком случае, в период экспериментирования и оформления отчетов в иностранной литературе подобного рода публикаций

обнаружить не удалось. Однако следует обратить внимание, что за последнее время стали все настойчивее просачиваться сведения об увеличении давления в автоклавах на заводах строительных материалов и деталей. Так например, В. К. Ростовский по возвращении из командировки сообщил, что швейцарская фирма „Ютон“ использует автоклавы рассчитанные на 16 *ати*.

С удовлетворением можно констатировать, что и советские исследователи уделяют все большее внимание роли пара высоких параметров в формировании свойств строительных материалов. Известно, что в этом направлении успешно работают А. В. Волженский, Ю. М. Бутт, С. А. Миронов и др., уделявшие всегда много внимания автоклавным материалам.

Все это обязывает нас рассматривать автоклавную обработку как самостоятельный и весьма эффективный технологический прием, заслуживающий полного признания и скорейшего создания специальной автоклавной отрасли промышленности строительных материалов, оснащенной автоклавами рассчитанными на давление 15-25 *ати*.

Учитывая все возрастающие размеры строительных деталей сборного домостроения, необходимо организовать производство автоклавов больших диаметров. Создание мощной автоклавной промышленности позволит широко использовать малоактивные цементы (отходы промышленности, некоторые природные материалы) и тем самым создаст прочный фундамент для дальнейшего развития строительной индустрии.

**Н. Г. ПОЗДНЯКОВ**

(директор ВНИИСтроммаш)

#### Вопросы оборудования и аппаратура для автоклавной обработки

1. Автоклавы в промышленности строительных материалов применяются с конца XIX в.

Впервые автоклавы были использованы в производстве силикатного кирпича, что и определило основные параметры их — диаметр 1,8-2,0 м, длина 16-20 м и давление 8-10 *ати*.

В настоящее время на заводах стройматериалов находятся в эксплуатации автоклавы диаметром от 1,8 до 3,7 м, длиной от 11 до 42 м и работающие при рабочем давлении пара от 8 до 16 *ати*.

2. Отечественная промышленность освоила серийный выпуск автоклавов со следующими основными параметрами:

а) автоклав СМ-154,  $\varnothing$  2 м, длиной 17 м, рабочее давление 8 *ати*. Изготовитель Куйбышевский з-д „Строммашина“. В настоящее время сняты с производства в связи с устаревшей конструкцией болтового крепления съемных крышек;

б) автоклав  $\varnothing$  2 м, длиной 17 и 19 м, рабочее давление 8 *ати*, проходного и непроходного типов, с быстротъемной крышкой. Изготовитель Ижорский завод им. Жданова.

В настоящее время на местах по согласованию с заводом проводятся работы по переводу этих автоклавов на давление 10-12 *ати* за счет использования резерва прочности (уменьшение величины коэффициента запаса);

в) с 1958 года выпускаются автоклавы СМ-545 непроходного типа и СМ-597 проходного типа с быстрооткрывающимися крышками от гидравлического привода,  $\varnothing$  2,6 м, длиной 19,1 м, рабочее давление 12 *ати*. Изготовитель — Ижорский завод им. Жданова. Конструкция разработана ВНИИСтроммашем;

г) в настоящее время выпущены два опытных автоклава 330 8А,  $\varnothing$  3,6 м, длиной 21 м, рабочее давление 12 *ати*, проходного типа с быстрооткрывающимися крышками от гидропривода. Изготовитель — Николаевский з-д им. Носенко; конструкция разработана ВНИИСтроммашем;

д) автоклав  $\varnothing$  3,6 м, длиной 21 м, рабочее давление 10 *ати*, проходного типа с быстрооткрывающимися крышками от механического привода.

Автор конструкции и изготовитель Уральский завод химического машиностроения, г. Свердловск. Изготовлено и установлено на заводах Свердловского совнархоза 6 автоклавов.

В конструкциях новых автоклавов  $\varnothing$  2,6 м и  $\varnothing$  3,6 м осуществляется дистанционное управление открыванием и закрыванием крышек, имеется блокировка, обеспечивающая безопасность и надежность работы механизмов. В типовых проектах заводов предусматривается автоматическое регулирование режима термовлажностной обработки.

3. В настоящее время институтом ВНИИСтроммаш проводятся работы по созданию ряда автоклавов, работающих при рабочем давлении 16 *ати*.

Приступив к этой работе, институт собрал предложения большинства научно-исследовательских и проектных организаций, а также производственных предприятий по вопросу выбора оптимальных параметров и типов новых автоклавов (диаметр, длина, давление, тип автоклава — проходной или непроходной, необходимость вакуумирования).

4. Выбор диаметра автоклавов.

Увеличение диаметров автоклавов дает следующий экономический эффект:



а) увеличение коэффициента заполнения автоклавов, особенно для крупноразмерных изделий.

В среднем коэффициент заполнения при изготовлении крупных блоков составляет:

κ	2,0	2,6	3,6
κ	0,21	0,26	0,31

б) уменьшение удельного расхода пара за счет увеличения коэффициента заполнения и, вследствие этого, уменьшение потерь на единицу продукции.

в) сокращение производственных площадей, занимаемых автоклавами для заданной мощности завода.

г) снижение капитальных затрат по автоклавам на единицу продукции.

В целом увеличение диаметров автоклавов приводит к снижению капитальных затрат на строительство.

Рекомендуется диаметры автоклавов выбирать в зависимости от габаритов изделий и мощности заводов.

Оптимальными диаметрами можно считать:

2,0 м для заводов малой мощности и силикатного кирпича,

2,6 м для заводов средней мощности, изготовляющих стеновые блоки,

3,6 м для заводов большой мощности, изготовляющих крупные блоки и панели.

Конструкция автоклавов большого диаметра усложняется из-за превышения габарита подвижного состава при перевозке их по железной дороге.

5. Выбор длины автоклавов.

Увеличение длины также даст определенный экономический эффект:

а) сокращение капитальных затрат по автоклавам на единицу продукции;

б) сокращение производственных площадей, занятых автоклавами;

в) сокращение расхода пара на единицу продукции за счет уменьшения тепловых потерь.

Таким образом, увеличение длины автоклавов дает снижение себестоимости автоклавной обработки и капитальных затрат на строительство новых заводов.

Выбор длины автоклава зависит от длины выпускаемых изделий, мощности заводов, организации производственного процесса (цикличность работы автоклавов, перепуск пара и др.).

16

Анализ этих условий привел к предварительной рекомендации следующих длин автоклавов:

для  $\varnothing$  2 м — 19 м,

"  $\varnothing$  2,6 м — 19 м и 37 м,

"  $\varnothing$  3,6 м — 19 м и 31 м.

6. Выбор типа автоклавов.

Автоклавы непроходного типа имеют следующие преимущества перед проходными автоклавами равной длины и диаметра:

а) стоимость автоклава ниже на 25—30% за счет ликвидации одной крышки и ее привода;

б) сокращение расхода пара на 3—5% за счет снижения тепловых потерь;

в) уменьшение количества оборудования, потребного для обслуживания автоклавов (электропередаточные тележки);

г) некоторое сокращение производственной площади автоклавного отделения.

Вместе с этим автоклавы непроходного типа требуют увеличения времени разгрузки и загрузки автоклава на 20—30 мин.

Приведенные выше соображения заставляют рекомендовать к производству преимущественно автоклавы непроходного типа.

7. Рабочее давление в автоклавах.

Увеличение давления в автоклавах следующим образом отражается на их конструкции:

а) увеличивает вес автоклавов:

	8 атм	12 атм	16 атм
Автоклав 2,0 × 19	18,0 т 100,0% <sup>⊙</sup>	24,0 т 133,0%	30,0 т 166,0%
" 2,6 × 19	34,0 т 100,0%	45,0 т 132,0%	56,0 т 165,0%
" 3,6 × 19	85,0 т 100,0%	110,0 т 130,0%	136,0 т 160,0%

б) увеличивает стоимость автоклавов и их монтажа:

	8 атм	12 атм	16 атм
Автоклав 2,0 × 19	105,0 т. р. 100,0%	130,0 т. р. 124,0%	160,0 т. р. 152,0%
" 2,6 × 19	175,0 т. р. 100,0%	220,0 т. р. 125,0%	270,0 т. р. 154,0%
" 3,6 × 19	340,0 т. р. 100,0%	415,0 т. р. 122,0%	515,0 т. р. 152,0%

2 зак. 196

17

в) требует увеличения термостойкости уплотняющих прокладок до 200° С, что пока не удовлетворяется химической промышленностью.

По данным научно-исследовательских организаций (АС и А СССР, ЛПСН, НИИЖБ, РОСНИИМС и др.) увеличение давления в автоклавах до 16 *атм* позволяет значительно расширить сырьевую базу для изготовления автоклавных материалов за счет применения бесклинкерных цементов (нефелиновый, известково-шлаковый, сланце-золяный и др.), более широкого применения немолотого песка, а также молотого песка взамен части вяжущего.

При равных условиях запаривание при повышенном давлении позволяет увеличить прочность изделия или сократить расход вяжущего для их изготовления.

Все исследователи подтверждают возможность получения значительного эффекта от увеличения давления, однако имеют место расхождения в количественной оценке ожидаемого эффекта, а также в определении оптимальных давлений пара и режимов запаривания для различных материалов.

Наиболее эффективным по данным РОСНИИМС'а считается увеличение давления до 12 - 14 *атм*.

Вопрос о широком использовании бесклинкерных цементов и других местных вяжущих, кроме известняков, РОСНИИМС'ом не рассматривался.

По данным ЛПСН и ЛФ АС и А СССР, полученных нами для использования в технико-экономических обоснованиях автоклавов с рабочим давлением 16 *атм*, можно сделать вывод о более значительном, по сравнению с данными РОСНИИМС'а, сокращении продолжительности цикла автоклавной обработки и одновременно с этим увеличении прочности изделий из различных материалов, в т. ч. и крупноразмерных изделий из ячеистых и силикатных бетонов. При этом основным положением работ ЛФ АС и А СССР является то, что повышение давления до 16 *атм* делает возможным значительное расширение сырьевой базы, получение высококачественных и дешевых автоклавных изделий высокой прочности на базе местных вяжущих материалов.

#### 7. Конструкция затворов крышек автоклавов.

За последние годы конструкция затвора постоянно совершенствовалась, пройдя путь от ручного закрывания крышек и болтовых креплений до дистанционного управления и надежного байонетного затвора.

Наиболее рациональной признается байонетный затвор с использованием гидравлического или механического привода для механизмов открывания и закрывания крышки, а

18

также поворота байонетного кольца, прижимающего венцы крышки автоклава к венцу корпуса.

Вопрос о том, в какую сторону следует открывать крышку автоклава (вверх, в сторону или даже вниз, под углом), требует с точки зрения проектных решений заводов или цехов автоклавных стройматериалов.

Основную техническую трудность в решении конструкции затвора представляет выбор материала для уплотняющей прокладки. До последнего времени уплотняющие прокладки для серийных автоклавов изготовлялись из резины № 6235 по ТУ 233 МХП СССР (изготовитель — завод РТИ Ленсовнархоза).

Термостойкость этих прокладок составляет не более 140, при более высоких температурах происходит старение резины и разрушение прокладок.

Установлено, что срок службы прокладок из резины № 6235 на автоклавах 2 и 2,6 м при давлении 11 - 12 *атм* колеблется в пределах 120 - 150 часов, достигая максимально 180 - 200 часов, что совершенно недостаточно.

В результате трехмесячных испытаний на Ижорском заводе установлено, что наилучшей из шести испытанных является прокладка из резины № С-715, проработавшая от 320 до 580 часов.

Заводом РТИ начато изготовление уплотняющих прокладок из этой резины № С-715, для которой установлен средний срок службы 300 - 350 часов при температуре, соответствующей давлению 12 *атм*.

Однако достигнутой стойкости прокладок еще недостаточно для нормальной эксплуатации автоклавов.

Необходимо продолжить поиски термостойкого уплотняющего материала, способного выдерживать, как минимум, 1000 - 1500 часов эксплуатации при температуре 200° С. К этой работе должны быть привлечены кроме завода РТИ и такие центральные организации, как НИИРП, НИИпластмасс и др.

Одновременно с поиском материалов для прокладок конструкторская мысль должна работать над решением конструкции затвора, способного работать без прокладок или же с неупругой прокладкой.

#### 8. О вакуумировании изделий в автоклавах.

Ряд технологических организаций заявили о необходимости предусмотреть вакуумирование.

Конструкция затвора крышки автоклава не всегда может допустить работу как на давление, так и на вакуум. В частности, затворы выпускающихся автоклавов 2,6 и 3,6 м обеспечивают тщательное уплотнение в основном при условии наличия давления внутри автоклава. При вакууме

19

плотное закрытие крышки возможно только в определенных пределах, зависящих от упругих свойств материала прокладок и величины разрежения.

Таким образом, требование вакуумирования может в некоторых условиях усложнить конструкцию автоклавов. Между тем, технологические условия вакуумирования остаются до сих пор нерешенными.

Наряду с известными доводами о положительном влиянии вакуумирования, следует учесть дополнительный расход мощности, некоторое удлинение цикла автоклавной обработки и т. д.

Частичной замены эффекта вакуумирования (удаление воздуха из рабочего объема автоклава) можно достичь также продувкой автоклава паром.

#### 9. Автоматическое регулирование.

Как известно, термовлажностная обработка изделий в автоклавах должна производиться при соблюдении заданного теплового режима. Для крупногабаритных изделий это требование является особо важным.

Для соблюдения необходимой точности ведения процесса автоклавной обработки, а также в целях экономии расхода пара, повышения качества готовой продукции и улучшения условий эксплуатации, ручное регулирование процесса запаривания должно быть заменено автоматическим.

В настоящее время имеется ряд схем, однако, автоматическое регулирование процессов автоклавной обработки еще не внедрено в промышленность. Это объясняется тем, что еще не освоен серийный выпуск контрольно-измерительных и регулирующих приборов.

Целесообразно поручить одной из специализированных ведущих организаций взять под свой контроль разработку наиболее рациональной схемы и освоение необходимых приборов с тем, чтобы в ближайшие годы автоматическое регулирование было внедрено.

#### 10. О вопросах расчетов автоклавов на прочность

Опыт проектирования автоклавов, приобретенный за последние годы ВНИИстроммашем, показал, что имеется большое количество нерешенных вопросов, относящихся к расчетам автоклавов на прочность.

К нерешенным вопросам относятся разработка методики расчетов фланцев автоклавов, вопросы жесткости фланцев и корпуса автоклава в условиях воздействия местных нагрузок (механизмы, установленные на автоклаве, вагонетки с изделиями и др.), а также опорных реакций.

До сих пор напряжения и деформации корпуса автоклава рассчитываются по аналогии с прочностным расчетом паровых котлов, однако специфика работы автоклавов требует создания специальных методов расчета.

20

Э. Д. ПЕВЗНЕР

кандидат технических наук, доцент  
(Белорусский политехнический институт имени И. В. Сталина)

#### Автоклавные известково-песчаные материалы на высокомагнезальной извести

До последнего времени существовало мнение [1,2], что для производства силикатного (известково-песчаного) кирпича и других силикатных изделий пригодна только кальциевая известь, содержащая не более 2% окиси магния. Неблагоприятное действие магнезии было обнаружено еще в первые годы работы заводов силикатного кирпича [3]: магнезия обладала „запоздалой“ гидратацией и гасилась в процессе автоклавной обработки сформованного кирпича, вызывая расширение его, появление трещин и, часто, полное разрушение.

Это обстоятельство значительно сузило сырьевую известковую базу и отразилось на размещении силикатных заводов, поскольку около 50% месторождений карбонатных пород СССР представлены магнезиальными или доломитизированными известняками и доломитами [4].

Проблеме использования магнезиальной и доломитовой извести был посвящен ряд работ советских исследователей. Г. И. Усинцева [5] для нейтрализации неблагоприятного влияния магнезии предложила изготавлять силикатный кирпич с добавкой 4-6% трепела к весу известково-песчаной массы. С. А. Кржеминский и О. И. Рогачева [6] расширили номенклатуру нейтрализующих добавок, предложив, кроме трепела, вводить в силикатную массу в дисперсном состоянии глину, суглинок, бой глиняного кирпича, золу ТЭЦ в количестве от 25 до 300% к весу оксидов кальция и магния, содержащихся в извести.

Введение нейтрализующих добавок усложняло производство и повышало стоимость силикатного кирпича, в связи с чем не нашло распространения. Только один Ивановский завод силикатного кирпича применяет магнезиальную известь в смеси с кальциевой при содержании в этой смеси всего 8-14% магнезии, для нейтрализации которой вводится 4% трепела к весу известково-песчаной массы. Разбавление магнезиальной извести кальциевой, повидимому, свидетельствует о том, что добавка трепела не всегда являлась эффективной при большом содержании магнезии.

Необходимо было, отказавшись от эмпирических добавок, изучить и найти оптимальные условия обжига и гашения магнезиальной (доломитовой) извести, при которых гидратация магнезии протекала бы с достаточной скоростью и полнотой.

21

Процесс гидратации магнезии изучается рядом советских исследователей [7, 8, 9, 10], установивших, что с увеличением температуры и продолжительности обжига окись магнезия претерпевает рекристаллизацию, переходя от аморфного, скрыто-кристаллического строения к более или менее крупным кристаллам периклаза при постепенной потере гидратационной способности, вплоть до полной утраты ее.

Автор [11], исследуя процесс гидратации доломитовой извести, содержащей 31-34% окиси магнезия, установил, что наибольшей реакционной способностью к воде обладает доломитовая известь, обожженная при 800-950°. При кратком обжиге (1-1,5 часа) в больших кусках (1-3 см) температура может быть повышена до 1100 без снижения скорости гидратации магнезии [12]. Подтверждающие опыты были проделаны путем изготовления и испытания образцов-кубиков с ребром 7 см, состоявших из смеси кварцевого песка и доломитовой извести (окиси магнезия 33-36%), обожженной в электрической печи при различной температуре в кусках разной величины. Молодая известь смешивалась с песком при содержании в смеси 7% активной окиси кальция. Смесь увлажнялась и гасилась в автоклаве при 4-5 атм давления пара в течение 30 мин., после чего прессовались кубики под давлением 150 кг/см<sup>2</sup> и запаривались при 8 атм в течение 8 час. У запаренных образцов определялись лишнее увеличение, объемный вес, водопоглощение и предел прочности при сжатии (табл. 1).

Таблица 1

№№ п. п.	Обжиг извести				Испытание образцов			
	размер кубов известняка, см	температура обжига, °C	продолжительность обжига, час		лишнее увеличение, %	объемный вес, г/см <sup>3</sup>	водопоглощение, в %	предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>
1	2	900	20	17,0	0,5	1,76	—	
2	3	1000	2	40,3	0			
3	1	1000	5	17,0	0	1,79	14,0	18,2
4	1	1000	16	17,1	2,1	1,75		
5	2	1000	5	17,0	0	1,81	11,1	16,7
6	2	1000	16	16,7	5,0	1,74		
7	3	1000	3	15,7	0			13,3
8	2	1100	3	16,5	0	1,80	13,8	15,9
9	2	1100	6	17,1	2,2	1,77		
10	3	1100	2	16,9	0			13,0
11	3	1100	3	15,4	1,2	1,78		
12	3	1200	1	17,5	1,8			

22

Из результатов испытаний, приведенных в табл. 1, были сделаны выводы, что короткий обжиг доломитовой извести при 1000-1100° обеспечивает полноту декарбонизации и быструю гидратацию магнезии, что устраняет деформацию образцов при дальнейшей автоклавной обработке. Выводы были проверены в заводском масштабе на Оршанском заводе, где была изготовлена партия силикатного кирпича на доломитовой извести, обожженной в кусках до 5 см в камерной пламенной печи при оптимальном режиме. Известь, содержащая 31% магнезии, молотась, смешивалась с песком из расчета содержания 6% активной окиси кальция в массе, гасилась в гасильном барабане при давления 3 атм пара в течение 20 мин. Кирпич прессовался на заводских прессах и запаривался при обычном режиме (8 атм - 8 час.). После запаривания на опытном кирпиче не было обнаружено никаких деформаций. Кирпич имел марку „150“.

Массовый обжиг мелкокускового доломитизированного известняка по предложенному режиму может производиться во вращающейся печи, а также в шахтных печах системы инж. Маркелова или Голубкова, обеспечивающих „мягкий“ обжиг доломитовой извести, благодаря выносным топкам. В нересыпных шахтных печах, где известняк соприкасается с горящим углем или коксом, неизбежны местные пережоги магнезии с образованием крупных кристаллов периклаза.

Дальнейшими опытами автор установил [13], что при усилении режима гашения для силикатного производства может быть применена высокомагнезальная (доломитовая) известь, обожженная в любых шахтных печах с выносными топками.

Для опытов была отобрана проба доломитовой извести, обжигаемая на Витебском известковом заводе в шахтных печах системы „Росстромпроекта“ с выносными топками. Проба извести была смолота до 20%, остатка на сите № 0085, смешана с песком из расчета содержания в массе 7% активной окиси кальция, увлажнена и загашена в автоклаве при различных режимах. Из загашенной массы прессовались образцы-кубики, запаривавшиеся в автоклаве при различных давлениях пара и различной продолжительности. Наблюдения за деформациями (расширением) образцов показали, что магнезия начинает заметно гидратироваться с увеличением объема, начиная с 2 атм давления пара. Гидратация и расширение увеличиваются при 3 атм и достигают максимума при 4-5 атм. Уточняющими опытами было установлено, что „мягко“ обожженная в шахтных печах с выносными топками доломитовая известь должна быть гидратирована при 4 атм в течение не менее 30 мин. и при 5 атм — не менее 20 мин.

23

Вслед за лабораторными экспериментами были проделаны заводские опыты на Климовичском заводе силикатного кирпича, куда были доставлены несколько вагонов витебской доломитовой извести, содержащей 44—47% окиси кальция и 27—29% окиси магния. Известь молотась в заводской шаровой мельнице с периферийной разгрузкой до 25% остатка на сите № 021 (900 *отв/см<sup>2</sup>*). Содержание активной окиси кальция в силикатной массе равнялось 6—7%. Масса гасилась в гасильном барабане при 4 *атм* в течение 30 и более мин. Из гашеной массы на заводских прессах тотчас же прессовался кирпич, который подвергался автоклавной обработке при обычном режиме (8 *атм* - 8 час.). Кирпич всех изготовленных опытных партий на доломитовой извести не обнаружил никаких деформаций и удовлетворял требованиям стандарта. Кирпич имел объемный вес в пределах 1790—1820 *кг/м<sup>3</sup>*, водопоглощение 11,4—14,4%, предел прочности при сжатии 109—153 *кг/см<sup>2</sup>* и выдержал 15 циклов замораживания.

На основании результатов выполненных нами лабораторных и заводских опытов Климовичский и Оршанский заводы силикатного кирпича начали применять витебскую доломитовую известь в широких масштабах. В течение последних шести лет на этой извести без нейтрализующих магниезно добавок выработаны сотни миллионов силикатного кирпича марок „100“—„150“.

Освоение доломитовой извести не ограничилось только производством силикатного кирпича. По мере увеличения ассортимента вырабатываемых силикатных материалов освоение их производства выполнялось на Оршанском заводе и Экспериментальном заводе НИИСМ БССР как на кальциевой, так и на доломитовой извести. Были изготовлены на доломитовой извести вполне качественные крупные стеновые силикатные блоки, облицовочные фасадные плиты, прокатная силикатная черепица.

При производстве силикатных изделий на доломитовой извести расход ее довольно высок — 14—15% от веса силикатной массы, в силу того обстоятельства, что при существующей на силикатных заводах технологии магнезия практически в реакцию с кварцевым песком карьерной гранулометрии почти не вступает, и рассматривается как балласт.

Для установления наличия и степени взаимодействия магнезии с кварцевым песком были изготовлены для сравнения две серии образцов-кубиков на песке Оршанского завода, имевшем следующий зерновой состав (табл. 2).

Одна серия кубиков была изготовлена на кальциевой извести-пушонке при содержании 7% активной окиси кальция в массе; другая — на гидратированной в автоклаве окиси

Таблица 2.

Размеры отверстий сит, мм	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	менее 0,15
Остатки на ситах, %	0,4	1,0	7,0	10,7	77,8	3,1

магния (Magnesia usta) из расчета содержания 7% окиси магния в массе. Обе серии кубиков запаривались при 8 *атм* в течение 8 час. После запаривания на кубиках обеих серий никаких деформаций не было обнаружено. При испытании кубики на кальциевой извести показали предел прочности при сжатии 195 *кг/см<sup>2</sup>*, на магнезии — 18 *кг/см<sup>2</sup>*. Опыты подтвердили практическое наблюдение, что магнезия с кварцевым песком карьерной гранулометрии в реакцию почти не вступает.

Были проделаны опыты по выявлению взаимодействия магнезии с молотым кварцевым песком двух степеней помола: с остатком на сите № 0085 0% и 20%. Кубики, изготовленные по предыдущему способу с 7% магнезии, после запаривания показали предел прочности при сжатии соответственно степени помола 238 и 308 *кг/см<sup>2</sup>*.

Таким образом, было установлено образование гидросиликата магния, развивающего в процессе автоклавной обработки высокие цементирующие свойства [14]. При большом расходе магнезии и большой степени помола песка образование гидросиликата магния идет еще интенсивнее. Так, при помоле песка в вибромельнице до 1—2% остатка на сите № 0063 и соотношении окиси магния и кремнезема 2:1 предел прочности запаренных образцов доходит до 700 *кг/см<sup>2</sup>*. Петрографические, термографические и электронномикроскопические анализы подтвердили образование гидросиликата магния по составу приближающегося к серпентину.

Вопросу взаимодействия магнезии и кремнезема при автоклавной обработке посвящены работы ряда исследователей [15, 16, 17, 18, 19, 20], установивших образование различных гидросиликатов магния, однако не сделавших при этом никаких практических выводов, в том числе и о цементирующих свойствах этих соединений.

В обстоятельной работе Ю. М. Бутт и Л. Н. Рашкович [21] подтвердили образование в силикатных изделиях гидросиликата магния с цементирующими свойствами и дали его приближенную формулу.

Вопрос установления цементирующих свойств гидросиликата магния, полученного на основе гидратированной магнезии, представляло известный интерес изготовлению прессованных изделий на негашеной доломитовой извести. С этой

целью были смолоты в вибромельнице смеси негашеной доломитовой извести и песка в соотношении от 1:1 до 1:3 к которым добавлялся карьерный песок из расчета содержания в массе активной окиси кальция от 1,4 до 5%. Благодаря тонкому помолу (остаток на сите № 0063 2% негашеной доломитовой извести и части песка, прессованные образцы-кубики после запаривания (8 мин 8 час) не имели деформаций и предел прочности их при сжатии, в зависимости от состава, доходил до 500 кг/см<sup>2</sup>.

Опыт был повторен [22] на Оршанском заводе, где негашеная доломитовая известь, содержащая 40,5% окиси кальция и 29,8% окиси магния, была смолота с сухим песком (1:3) в вибромельнице М-200 до 3-4% остатка на сите № 0063. К молотой смеси был добавлен карьерный песок в количестве 60% от веса всей массы, так что расход доломитовой извести вместо обычных заводских 14-15% составил всего 10%. Увлажненная 10% воды силикатная масса была перемешана в растворешалке и с температурой поднявшейся до 34°, была подвергнута прессованию на заводском прессе. После запаривания (8 мин 8 час) кирпичи опытной партии не имели никаких деформаций и размеры их соответствовали требованиям стандарта. Физико-механические показатели опытных кирпичей были следующие: объемный вес 1900 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение 7,6%, предел прочности при сжатии 177 кг/см<sup>2</sup>, предел прочности при изгибе 35,1 кг/см<sup>2</sup>, морозостойкость более 25 циклов.

Повышение марки кирпича со „100“ до „150“ с одновременным снижением расхода извести с 550 кг до 360 кг на 1 тыс. штук кирпича свидетельствует о том, что при тонком помолу негашеной доломитовой извести с частью песка в реакцию с песком вступает не только окись кальция, но и окись магния при отсутствии на изделии каких-либо деформаций вследствие гидратации указанных окисей в сформованном кирпиче.

### Заключение

При создании надлежащих технологических условий высокомагнезиальная (доломитовая) известь как гашеная, так и негашеная может применяться для производства любых силикатных (известково-песчаных) изделий, качественно не уступающих изделиям на кальциевой извести. Цементирующим веществом в этом случае являются гидросиликаты кальция и магния.

### Литература

1. Кудряшев Н. Г. и др. Заводы по производству изделий из качественного бетона Гос. изд. стр. лит., М., 1951 г.
2. Волжеский А. В. и др. Улучшенные неосиликатные силикатные изделия. Институт стр. техн., А. арх., СССР, М., 1951 г.
3. Kalk für Kalksandsteine Tonindustrie Zeitung, № 21, 1911 г.
4. Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. Гостехиздат, М., 1940 г.
5. Усидцева Г. П. Применение магнезиальной извести в производстве силикатного кирпича. Строительные материалы, № 5, 1933 г.
6. Краеминский С. А., Рогочева О. П. Исследование влияния тонкого помола доломитов и тонкости помола извести на свойства силикатного кирпича, изготовленного на основе чистой кальциевой и высокомагнезиальной извести. Сборник трудов РОСНИИМС, № 3, 1953 г.
7. Цветков А. П. Труды инст. геол. наук СССР, вып. 120 № 55, 1949 г.
8. Руднева А. В. Огнеупоры, № 10, 1940 г.
9. Юнг В. П. Введение в технологию вяжущих веществ. Пром. строител., М., 1951 г.
10. Буланников П. П. О рекристаллизации MgO, ДАН СССР, № 5, 1950 г.
11. Невзнер Э. Д. Применение магнезиальной извести в производстве известково-песчаных изделий. Строительные материалы, № 8, 9, 1936 г.
12. Невзнер Э. Д. Способ обжига магнезиальной извести или доломита. Авторское свидетельство № 60369, 30 VI 1941 г.
13. Невзнер Э. Д. Силикатный кирпич на высокомагнезиальной (доломитовой) извести. Сборник научных работ, № 3, НИИМС БССР, Минск, 1951 г.
14. Невзнер Э. Д., Басяева Л. А. Образование гидросиликата магния в условиях водотепловой обработки. Сборник научных работ № 1, НИИМС БССР, Минск, 1955 г.
15. Деметьев К. Г. Научные основы техники строительных цементов. Киев, 1905 г.
16. Де-Шателль А. Кремнезем и силикаты. М., 1929 г.
17. Инагьев В., Муромцев П. ДАН, 185, 617, 1927 г.
18. Wells J. G. Amer. J. Sci. (5) 18, 1929 г.
19. Jander W., Wulter J. Die Bildung von Magnesiumhydroxidatensulfid. anorg. Chemie 235, 1948 г.
20. Канцелярский И. С., Жабницкий М. С. Изучение процессов взаимодействия окиси магния с кремнеземом при обычных условиях. Труды Инст. Химии МГУ, вып. 2, 1949 г.
21. Бутт Ю. М., Рашкович Л. Н. Взаимодействие кремнезема с окисью магния при автоклавной обработке. Сборник трудов РОСНИИМС, № 11, 1956 г.
22. Невзнер Э. Д., Басяева Л. А. Заводский опыт изготовления силикатного кирпича на негашеной доломитовой извести. Сборник научных работ, № 6, НИИМС БССР, Минск, 1957 г.

К. И. САСНАУСКАС

кандидат технических наук, доцент  
(Кавнаский политехнический институт)

### Исследование физико-химических процессов, протекающих на поверхности кварца при гидротермальной обработке силикатных изделий

В настоящее время установлено, что основным вяжущим веществом в силикатных изделиях являются гидросиликаты кальция; при этом имеют значение и второстепенные процессы: перекристаллизация гидросиликатов и гидрата окиси кальция, карбонизация и т. д.

Следует заметить, что усилия исследователей до последнего времени были направлены преимущественно на определение состава цементирующего вещества и при этом не уделялось должного внимания динамике его возникновения и анализу обстановки, в которой происходит цементация песчинок.

По последнему вопросу весьма важными шагами вперед представляют работы Волженского [1], который показал, что при так называемом „запаривании“ образование гидросиликатов кальция происходит в водном растворе. Роль пара же сводится к сохранению в материале жидкой фазы в условиях повышенных и высоких температур.

Наши опыты были направлены на выяснение вопроса, каковы изменения поверхности кварца в результате реакции с вяжущим при гидротермальной обработке и на какую глубину при этом разъедается кварцевая поверхность. Этот вопрос уже и ранее почти неизменно возникал при всех микроскопических исследованиях цементирующего вещества силикатных изделий, однако он до сих пор не нашел своего разрешения. Так, например, Ринне [2] и Гирш [3] утверждают, что они наблюдали сильное разъедание зерен кварца уже в пределах небольших увеличений микроскопа (Гирш до  $\times 30$ , Ринне до  $\times 150$ ). Наоборот, Смирнов [4], работавший со значительно большими увеличениями, отмечает, что „контуры зерен песка совершенно ровные, закрученные и не обнаруживают никаких признаков разъедания едкой известью“.

Волженский [1] и, позднее, Хинт [5] произвели расчеты глубины разъедания поверхности кварцевых зерен, которые показали, что разъедание зерен песка имеет место, но оно столь незначительно (от десятых долей до нескольких микрон), что едва ли может быть установлено под микроскопом. Эти расчеты в состоянии дать лишь грубо ориентировочную картину, поскольку они основывались на предположении, что

реакция протекает с одинаковой интенсивностью на всей поверхности кварцевых песчинок, характер взаимодействия между гидратом окиси кальция и поверхностью кварца в процессе автоклавной обработки остался при этом вне исследования. Непосредственное опытное определение глубины разъедания кварца известью до сих пор, повидному, никем не проводилось.

Методика опытов, проведенных нами, заключающаяся в следующем

Между отполированными плоскостями двух кубиков из

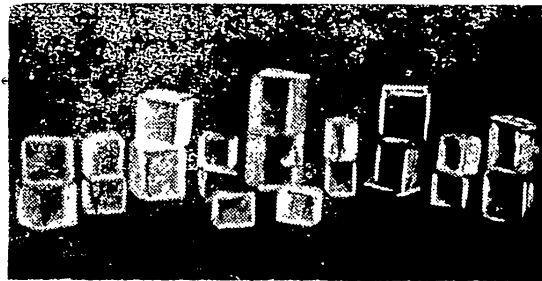


Рис. 1

горного хрусталя (рис. 1) вводился слой (0,2—0,3 мм) вяжущего. Степень чистоты полировки была такова, что профилограф с чувствительностью до 0,1—0,2 микрон давал на необработанной поверхности прямую линию. Такие пары кубиков помещались в нормальную силикатную смесь (песок вяжущее), которая далее, с кубиками внутри, формировалась под давлением 200 кг/см<sup>2</sup> в образцы и запаривалась в автоклаве 4 или 8 час. при 8 атм.

В качестве вяжущего применялись гашеная известь, приготовленная из окиси кальция ч. д. а., или гашеный меловый мергель, содержащий (после обжига при 950°) 32,7% свободной СаО и 20,6% растворимого SiO<sub>2</sub>. Степень измельчения первого материала — полное прохождение через сито с 10000 и второго — 4900 отв./см<sup>2</sup>.

После запарки кварцевые кубики извлекались из образцов (рис. 2) и легко отделялись друг от друга, так как прочного сцепления между ними не происходило, очевидно, вследствие значительной толщины слоя вяжущего. Отсюда следует, что реакция при гидротермальной обработке протекает в сторону вяжущего на сравнительно небольшую глубину — порядка не более нескольких десятков микрон

Непрореагировавшее с кварцем вяжущее легко удаляется с поверхности мягкой щеткой и струей воздуха. На поверхности остается лишь тонкий пористый сероватый слой, который и представляет собою цементирующую пленку, приросшую к кварцу.

О характере пленки можно до некоторой степени судить по микрофотограммам.

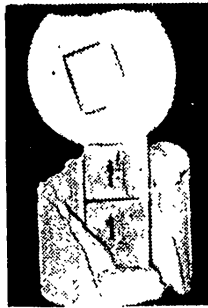


Рис. 2

На рис. 3 (увеличение 200) показана поверхность кварца после 8-часовой запарки и механической очистки; вяжущее  $\text{Ca(OH)}_2$  образцов высушен при  $105^\circ\text{C}$ . Микроскопические наблюдения и снимки показали, что пленка не является сплошной и что ее толщина неравномерна. Отсюда следует, что реакция между кварцевой поверхностью и вяжущим протекает в различных местах соприкосновения материалов с неодинаковой интенсивностью.



Рис. 3

Боковое освещение позволяет обнаружить некоторую пористость поверхности (рис. 4).

Рис. 5 (увеличение 400) поверхность кварца после 8-часовой гидротермальной обработки, вяжущее  $\text{Ca(OH)}_2$ .

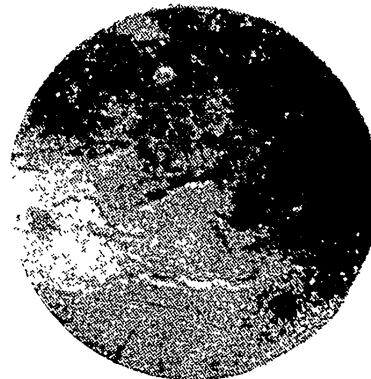


Рис. 4

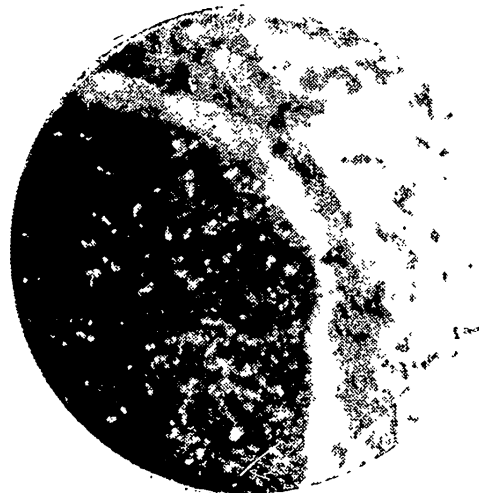


Рис. 5

запарки поверхность обработана соляной кислотой и содой как указано выше. Здесь показан характер



терный участок в том отношении, что часть поверхности (темная) значительно меньше затронута реакцией, чем остальная (светлый полумесяц).

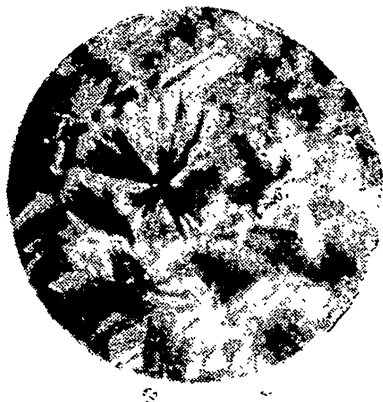


Рис. 6

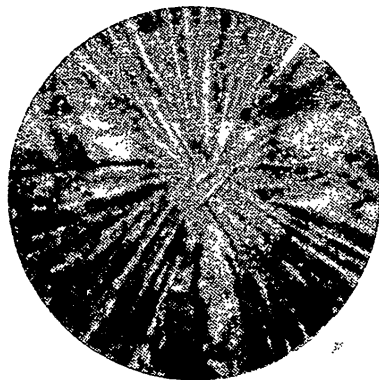


Рис. 7

Гидротермальная обработка кварцевой поверхности обожженным меловым мергелем в качестве вяжущего дает в общих чертах аналогичную картину.

При микроскопическом исследовании поверхности кварца, очищенной химическим путем (1N HCl и 5% раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) от цементующей пленки, были обнаружены разветвления звездообразной формы, наиболее густо скопляющиеся в местах самой интенсивной реакции (рис. 6 и 7, соответственно с увеличениями  $\times 90$  и  $\times 600$ ).

Это вероятно, следы центров реакции, возникновение которых может быть объяснено неодинаковыми условиями контакта реагирующих веществ, различной концентрацией растворов, образующихся в ходе процесса в различных точках, возможно, также, ультрамикроскопическими трещинами и иными дефектами поверхности кварца.

Обнаруженные разветвления звездообразной формы - следы центров реакции, дают право указывать на гетерохимический характер гидротермальной реакции между кварцем и вяжущим. Это подтверждается также характером профилографических кривых, снятых с поверхности кварца, подвергнутого гидротермальной реакции с известью (обоженной меловой мергель) и затем очищенной от цементующей пленки химическим путем.

Пленка полностью растворяется в результате почасовой обработки 1N раствором HCl и затем 5% раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Кварцевая поверхность остается при этом практически неповрежденной, что было проверено микроскопически, а также профилографированием на чистых, не подвергнутых гидротермальной реакции относительных поверхностях.

Использовался профилограф ПЭИ-5, позволяющий измерять микронеровности поверхностей в диапазоне от 0,12 до 60 микрон с точностью до  $10^{-3}\%$ . Всего снято более 100 профилограмм с различных мест поверхностей кварцевых кубиков, подвергнутых гидротермальной обработке в различных технологических условиях.

На рис. 8 приводятся образец профилограммы снятой после реакции химически чистой известки с квар-



Рис. 8

цевой поверхностью в течение 8 час при 8 атм. Вертикальное увеличение  $\times 2000$ , а горизонтальное  $\times 100$ .

Профилограммы непосредственно доказывают сам факт разветвления кварцевой поверхности. Установлена перпендикулярность протекания реакции на различных участках поверхности и то, что микронеровности кварцевой поверхности зак, 196

ности в значительной степени зависит от свойств вяжущего и от технологических факторов обработки. Профилограммы дали возможность измерить глубину разъедания кварцевой поверхности, а также среднюю величину микронеровностей.

При применении в качестве вяжущего чистой известки абсолютные величины микронеровностей ( $h_p$ ) были найдены примерно 0,1-1,5 *микрон*, реже встречаются разъедания глубиной 2,0-2,5 *микрон*. Средняя глубина разъедания в зависимости от участка поверхности несколько колеблется и именно после 4-часовой гидротермальной обработки  $h_{p, \text{ср}} = 0,4 - 0,8$  *микрон*, после 8-часовой гидротермальной обработки  $h_{p, \text{ср}} = 0,65 - 1,17$  *микрон*.

При применении мелового мергеля в качестве вяжущего абсолютные величины микронеровностей  $h_p = 0,1 - 1,0$  *микрон*, реже 1,5-2,0 *микрон*. Средняя глубина разъедания после 4-часовой гидротермальной обработки  $h_{p, \text{ср}} = 0,1 - 0,35$  *микрон*, после 8-часовой гидротермальной обработки  $h_{p, \text{ср}} = 0,1 - 0,6$  *микронов*.

Насыщенный раствор Са(ОН)<sub>2</sub> дает и после 8-часовой выдержки марки весьма незначительные микронеровности кварцевой поверхности, а именно до 0,25 *микрон*,  $h_{p, \text{ср}} = 0,2$  *микрон*.

Наибольшая глубина разъедания кварцевой поверхности достигается при применении в качестве вяжущего чистой известки. Однако технологические опыты показали, что прочность образцов, приготовленных с применением мергеля сравнительно велика и лишь немногим уступает прочность образцов с чистой известкой в качестве вяжущего.

Отсюда следует, что глубина разъедания кварцевой поверхности является хотя и важным, но не решающим фактором, определяющим прочность изделия. Здесь должны иметь значение также густота разъедания, общая площадь прикреплённых друг к другу зерен в любом сечении образца и свойства образующегося цементующего вещества, т. е. целый комплекс показателей.

В смесях, производимых в промышленных условиях, глубина разъедания кварцевых зерен, надо полагать, может достигать 3-5 *микрон*.

#### Литература

1. Волженский А. В. Водотермическая обработка строительных материалов в автоклавах. Изд. Указ. Архив, СССР, 1941 г.
2. Rine I. *Industrie Zeitung*, № 16, 192, 1903 г.
3. Нитсх Н. Строительные материалы, № 1 (перевод), 1940 г.
4. Смирнов Н. П. К микроструктуре силикатного кирпича. 1926 г.
5. Хинт Н. А. О некоторых основных вопросах автоклавного производства известково-песчаных изделий. Италия, 1951 г.

Н. А. ХИНТ  
кандидат технических наук  
(Институт строительства и строительных материалов АН ЭССР)

#### О режимах рационального запаривания

При запаривании 15 м<sup>2</sup> силикатных изделий в автоклаве с диаметром 2 м, только 50% пара расходуется на повышение температуры изделия до 180°. Остальным паром покрываются потери и прочие затраты, так например 5,3% пара расходуется на повышение температуры конденсата, скапливающегося в количестве 6,2 тонны. Таким образом, можно получить 5-процентную экономию пара. Конкретно, непрерывно капающий со стенок автоклава на изделия, может оставить на них отверстия.

При подъеме пара в автоклаве такие изделия как силикатный кирпич, прессованный силикатный с открытыми порами, пеноизделия и т. п., увлажняются дополнительно, обычного силикатного кирпича, 5-процентной формовочной влажностью, при запаривании возрастает до 13%.

Количество конденсирующей в изделиях воды отчасти снижается в результате экзотермического эффекта дегидратации 50 калории на грамм сухого вещества сырья [1].

При прогреве сырья возникают интенсивные потоки пара внутри изделия; вода, конденсируясь, вытесняется из пор соответствующее количество воздуха.

На повышение температуры одного силикатного кирпича-сырца до 183° расходуется 280 граммов пара, объем которого при давлении 5 *атм* составляет 86 литров. При быстром подъеме давления пара топки пара и воздуха могут разрушать слабый сырцовый кирпич. Практика показывает, что для силикатной черепицы и труб, в зависимости от плотности и прочности сырья требуется трехчасовая продолжительность подъема пара, для плотно отформованного силикатного кирпича (достаточно около одного часа).

Изделия, у которых поры заполнены водой или закрыты так, что пар не имеет возможности проникнуть внутрь, прогреваются благодаря теплопроводности материала.

В центре пеносиликатного блока толщиной 30 *см* температура становится равной температуре парового пространства лишь через 9 часов после выпуска пара и на 6 часов позже достижения максимальной температуры в поверхностных зонах блока. В то время как температура пара в автоклаве достигает 174 (*5 атм*) температура в блоке на глубине 7 *см* от поверхности составляет 140 (*3 атм*), а на глубине 15 *см* от поверхности блока всего 95 (*0 атм*).

Таким образом, в первом периоде запаривания сырьевых направлений, регулируя количество воздуха в автоклаве с небольшой начальной прочностью, оказываясь под воздействием, можно достигнуть равновесия этих сил. Принципы действия этой т. н. паровой нагрузки, покрываемая трехпроектированием соответствующего автомата не сложны. Следовательно, при запаривании таких изделий. Для запаривания газо-силикатных изделий парциальное надо выпускать пар очень медленно, в течение более 4-х часов, а сырец должен обладать прочностью, достаточной практически никакого значения не имеют. Чтобы выдержать паровую нагрузку без появления дефектов. Если в автоклаве по каким-либо причинам происходит падение давления пара, в результате чего температура пара,

По мнению проф. Волженского [3] в период подъема температуры в пространстве автоклава падает ниже температуры изделий, то пара в сыреце могут образоваться большие термически содержащаяся в них вода закипит и будет разрушать их напряжения, приводящие к разрушению изделия. Практика показывает, что при запаривании вибронаправленных, литых и пеноизделий уже весьма небольшие внешне дефекты несравнимо меньше других влияний, расколебания давления пара приводят к появлению крупных рассмотренных выше; здесь следует указать также на появление дефектов. Если падения давления происходили в начале шую опасность высыхания поверхности изделий, происходящего обычно на их поверхности образуются рыхлые слои, дышело под действием перерыва пара, проникающего то обычно на их поверхности образуются рыхлые слои, обуславливаемые интенсивным кипением воды поверхности автоклава.

При запаривании спикатного кирпича количество воздушных слоев изделия, полностью разрушающим структуру пара в автоклаве равняется 66% его емкости [2] и еще сыреца. Если падения давления происходят в конце периода больше - при запаривании крупногабаритных деталей в форме объема пара и в начале стадии постоянного давления, мах. Так как находящийся в автоклаве воздух принимает участие в образовании общего давления, то действительно обычно в поверхностных зонах возникает слонстая структура насыщенного водяного пара в автоклаве пара, отдельные слои которой имеют сравнительно высокую фиксируемого манометром. Парциальное давление воздуха прочность. Если резкое падение давления пара произойдет после нескольких часов твердения изделий под постоянным давлением, то изделия могут треснуть и рассыпаться в куски. Такие разрушения иногда сопровождаются громким треском. Практически, в большинстве случаев выпускать воздух из автоклава [2,3].

Чтобы не допускать снижения температуры запариванием, тогда с поверхности изделий откальваются крупные и тем самым снижения прочности изделия, рекомендуется выпускать воздух из автоклава [2,3]. Это вполне возможно при запаривании пресованных изделий, поскольку конденсирующаяся в изделиях вода вращением в паропровод клапана обратного действия равно вытесняет воздух из пор изделия.

После двухчасового запаривания прочность пено- и силикатных изделий уже настолько высока, что позволяет выпускать воздух из автоклава без опасности появления дефектов. Если кусок такой известки находится недалеко от поверхности изделия, то при гашении на последней появляются трещины, дуги. Если известка находится глубже, то во многих случаях отшелушивается часть изделия.

Иное положение у тех пено- и силикатных изделий, которые применяются в качестве изоляционных материалов. При гашении известка связывает часть воды и придает смеси густоту, некоторую начальную прочность. Такие изделия имеют структуры с дефектами и низкие хорошо выдерживает паровую нагрузку. Кроме того, поры открываются и пропускают пар, в связи с чем паровая нагрузка существенно уменьшается и такие изделия позволяют выпускать воздух из автоклава уже в период начала гашения пара. Началом второй стадии запаривания следует считать момент, когда в паровом пространстве автоклава достигнута максимальная температура.

Длительность этой стадии зависит от величины давления пара, размеров изделий, свойств смесей и теплопроводности изделий. В технологических инструкциях, составленных в Таллинском опытном заводе, предусматриваются приведенные ниже продолжительности запаривания.

№№ пп	Виды запариваемых изделий	Запаривание в часах при давлении пара								
		8 атм			10 атм			12 атм		
		подъем пара	постоянное давление	выпуск пара	подъем пара	постоянное давление	выпуск пара	подъем пара	постоянное давление	выпуск пара
1	Вибрированные и литые, толщиной до 20 см	0,5	14	2,0	0,5	10	2,5	0,5	8	
2	То же, до 40 см	0,5	17	4,0	0,5	13	5,0	0,5	11	
3	Пеноизделия, толщиной до 20 см	0,5	15	1,5	0,5	11	2,0	0,5	9	
4	То же, до 40 см	0,5	18	2,5	0,5	14	3,0	0,5	12	
5	Черепица, формованная вручную	3,5	9	0,5	4,0	7	1,0	4,5	5	
6	То же, на механической прессе	1,0	9	0,5	1,5	7	1,0	1,5	7	
7	Канализационные трубы	1,5	9	0,5	2,0	7	1,0	2,0	5	

В период поднятия давления следует конденсат непрерывно выпускать, чтобы на его испарение не расходовалось тепло. Выпуск конденсата следует прекратить по достижению максимальной температуры. С наступлением третьей стадии запаривания целесообразно произвести перепуск конденсата в другой автоклав, в который предусматривается производить перепуск пара. Тем самым запасы теплоты, имеющиеся в конденсате, будут максимально использованы на прогрев автоклава и изделия. После отлива конденсата следует производить дальнейший перепуск пара обычным способом через верхний вентиль автоклава.

Вычисления показывают, что влажность вибрированных изделий при высушающем выпуске конденсата пара снижается до открытия крышки автоклава с 18% на 10%. Интенсивное испарение воды продолжается в вышедших из автоклава горячих изделиях. При остывании до  $t = 20^\circ$  влажность изделия снижается еще на ~3%.

При быстром выпуске пара сравнительно большие количества его должны иметь возможность выхода из изделий, чтобы внутри последних не возникало повышенное давление. Практика показывает, что при быстром выпуске пара из прессованных известково-песчаных изделий он выходит относительно легко и поэтому в них не возникает высоких давлений пара.

У вибрированных и литых изделий из высокодисперсных смесей во время выпуска пара при температуре поверхности изделия 100° температура внутри изделия сохраняется еще на уровне 180°, что обуславливает давление пара внутри равное 9 атм. К этому давлению присоединяется действие термических напряжений. Поэтому у таких изделий выпуск пара следует производить медленно. В противном случае изделия могут разрушиться на куски, что подтверждается нашими опытами.

При высушивании вибрированных изделий с влажностью 25-30% до равновесной влажности (2-3%) размеры изделий уменьшаются на 0,25 мм на 1 м. Предполагая, что при высушивании изделий это уменьшение влажности происходит пропорционально снижению температуры, линейный коэффициент усадки оказывается равным  $1,8 \cdot 10^{-4}$ , что в 1,7 раз меньше коэффициента термического линейного расширения. Поэтому напряжения в изделиях от неравномерного высушивания относительно невелики. Однако поскольку они действуют в одинаковых направлениях с термическими напряжениями пренебрегать ими не следует.

В практике встречались случаи, когда крупногабаритные изделия, изготовленные из богатых глиной высокодисперсных смесей, после правильного выпуска пара в прохладном цехе покрываются сетью трещин. Такие изделия следует

По Волженскому [3] третья стадия запаривания начинается с момента прекращения доступа пара в автоклав. По окончании в момент извлечения изделия из автоклава. Серьезные опыты показали, что скорость выпуска пара, в делах практически применяемых длительностей запаривания оказывает существенное влияние на прочность изделий. Влияет на количество остающейся в изделиях воды.

Наиболее экономичное запаривание и рациональный выпуск пара с обеспечением максимального высушивания изделий, надо производить следующим образом.

после открытия крышки автоклава выдерживать в автоклаве пар по манометру. Поскольку теплопроводность в зависимости от свойств смеси, плотности и размеров изделий во время первой стадии остается сравнительно постоянной, то величина паровой нагрузки зависит, главным образом, от скорости подъема пара в паровом пространстве.

Расчет термических напряжений сравнительно сложен, от скорости подъема пара и температуры в паровом пространстве автоклава можно управлять с почти равной точностью в первой и во второй стадии запаривания практически термических напряжений нет. В конце второй стадии наступает состояние, как по температуре, так и по манометру.

при котором температура внутри изделий выше, чем на поверхности. В связи с этим возникают термические напряжения, которые совместно с колебаниями давления пара в некоторых видах изделий могут оказаться опасными. При выходе изделий из автоклава, в особенности в холодном помещении, разница температур внутри и на поверхности изделий достигает 200° и больше, при этом величина термических напряжений достигает до 120 кг/см<sup>2</sup>. Обычные силикатные изделия выдерживают термические напряжения 10-20 кг/см<sup>2</sup>. Поэтому естественно, что при быстром выпуске пара и выгрузке горячих изделий в холодное помещение они разрушаются. Наибольшая разница температур возникает на поверхности изделий, и поэтому, прежде всего на ней появляются волосяные трещины, которые затем распространяются вглубь и разрушают изделие.

### Выводы

Из вышеприведенного видно, что нет универсального режима запаривания, рационального для всех видов изделий. У прессованных изделий количество конденсирующейся в изделия воды и объем паровых и воздушных потоков пропорциональны росту температуры внутри автоклава. При четырехчасовой продолжительности подъема давления с 0 до 10 атм средняя скорость подъема равна 2,5 атм/ч. Если, например, температура изделий при помещении в автоклав равнялась 20°C, то в течение 1 часа температура поднимается до 137 (2,5 атм/ч), следовательно, в следующий час температура поднимается до 162 (5 атм/ч), или всего на 21° в час, в течение третьего часа на 14° и в течение последнего на 11°. Это указывает на то, как нерационально при запаривании таких изделий поднимать давление по манометру. Если интенсивность паровых и воздушных потоков позволила бы скорость подъема давления в час то время, необходимое для подъема пара увеличивается (183 - 20) · 117 = 1,4 часа.

Следовательно, при запаривании прессованных изделий рационально производить выпуск пара по температуре. В зависимости от вида изделия допускаемые скорости составляют 60-100° в час.

При запаривании пено- и газостекляных изделий, в которых основным фактором является «паровая нагрузка», целесообразно

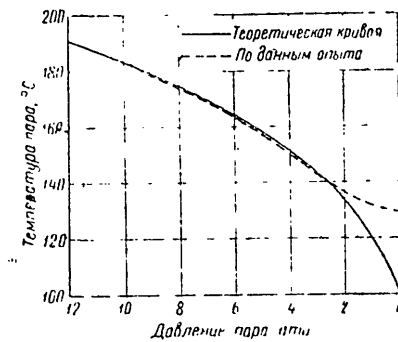


Рис. 1 Кривые давления — температуры в паровом пространстве автоклава во время выпуска пара — кривая насыщенного водяного пара (теоретическая кривая) — фактически измеренное давление пара и температура (выпуск пара в течение 0,5 часа)

Как видно из рис. 1, вследствие излучения горячих форм и стенок автоклава, температура парового пространства в конце периода выпуска пара значительно выше теоретической. Отсюда следует, что при выпуске пара по температуре имеют место неравномерные и растущие скорости конденсации пара. При таком положении могут возникнуть разрушения изделий. Охлаждение изделий в автоклаве следует регулировать по температуре. Выпуск пара при запаривании прессованных изделий следует производить по манометру, так как этим гарантируются более равномерные паровые потоки и меньший объем напряжений внутри изделий. При конструировании автоматического прибора для управления запариванием рекомендуется учесть вышеприведенные соображения.

Ранее опубликованные нами [4] расчеты показывают, что наиболее экономично производить запаривание силикатных изделий под давлением пара 12 атм. На рис. 2 пунк-

тиром обозначена зависимость отношения веса автоклава в тоннах к количеству суточного выпуска кирпича в шт. от давления пара в автоклаве.

В последнем десятилетии в Западной Европе и США многие новые заводы силикатного кирпича оснащаются автоклавами, позволяющими применение давления 12 атм.

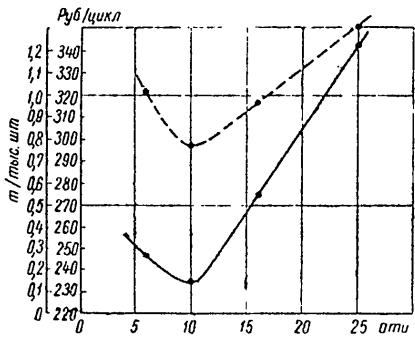


Рис. 2  
— стоимость цикла выжигания  
- - - количество металла в тоннах при изготовлении одной тысячи штук кирпича в сутки

**Л и т е р а т у р а**

1. Хинт Н. А. Измерение термического эффекта процессов, идущих при автоклавном образовании известково-песчаных монолитов. Известия Академии Наук Эстонской ССР, том VI, серия технические и физико-математические науки, № 3, 1957 г.
2. Хинт Н. А. Влияние воздуха на процесс обработки изделий в автоклаве. Строительные материалы, изделия и конструкции № 4, 1955 г.
3. Волженский А. В. Водотермическая обработка строительных материалов в автоклавах. Академия Архитектуры СССР, (сообщение) 15 выпуск, М., 1944 г.
4. Хинт Н. А. К технологии производства известково-песчаных изделий. Строительные материалы, № 9, 1956 г.
5. А. В. САТАЛКИН доктор технических наук, профессор Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта им. академика В. И. Омелянова.
6. О. В. КУНЦЕВИЧ кандидат технических наук, доцент Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта им. академика В. И. Омелянова.
7. И. А. Хинта. По сути дела, это является новым методом получения силикальцита в понимании и определении проф. В. П. Некрасова.
8. В. П. Некрасова.
9. в) получение однородного известково-кварцевого вяжущего вещества разных марок (силикальцитного цемента) путем тонкого помола исходных материалов, например в вибромельнице, что согласуется с общими теоретическими положениями, высказанными акад. П. А. Ребиндером [1] и И. П. Будниковым [2].
10. Все эти три способа улучшения качества силикатных смесей используются при производстве различных изделий. Дефектообразность применения этих способов определяется требованиями практики, предъявляемыми к изделиям, местными условиями, а также экономическими соображениями.

**Некоторые вопросы технологии «силикальцитных» материалов**

Широкое распространение силикатных материалов началось с 1880 г., когда был предложен силикатный кирпич. В 1931 г проф В П Некрасов предложил новую разновидность силикатных материалов — «силикальцит».

В работе «Материалы, повышающие эффективность каменного и бетонного строительства» проф. В. П. Некрасов пишет: «Автором было поставлено изучение шихты целиком молотом песке с известью. При этом оказалось, что особенно тонкий помол извести. Достаточная тонкость помола песка до остатка на сите 900 *отв см*<sup>2</sup> 30—60%, так как важны микрогранулометрия и свежие поверхности молотых частиц, а не столько тончайшие фракции песка. Такой камень назван «силикальцитом».

Далее проф. Некрасов пишет: «... для технических силикальцитных камней. достаточно брать молотого песка примерно 15—30% от объема песка немолотого».

Положения проф. В. П. Некрасова не отражают, по нашему мнению, тех знаний, которые накопились в области технологии силикальцитных изделий.

В настоящее время можно утверждать, что силикальцит необходимо рассматривать как группу материалов, разновидности которой могут значительно отличаться друг от друга по своим свойствам.

В настоящее время существует три основных способа повышения качества исходных смесей, ведущих к улучшению свойств силикатных изделий:

- а) улучшение гранулометрического состава песков путем соответствующего подбора смесей естественных песков. Это направление развито в работах проф. А. В. Волженского;
  - б) обработка известково-песчаной смеси в дезинтеграторе И. А. Хинта. По сути дела, это является новым методом получения силикальцита в понимании и определении проф. В. П. Некрасова;
  - в) получение однородного известково-кварцевого вяжущего вещества разных марок (силикальцитного цемента) путем тонкого помола исходных материалов, например в вибромельнице, что согласуется с общими теоретическими положениями, высказанными акад. П. А. Ребиндером [1] и И. П. Будниковым [2].
- Все эти три способа улучшения качества силикатных смесей используются при производстве различных изделий. Дефектообразность применения этих способов определяется требованиями практики, предъявляемыми к изделиям, местными условиями, а также экономическими соображениями.
- Поэтому нам представляется неверным категорическое утверждение об универсальности дезинтеграторного способа приготовления силикатной смеси и его неоспоримого преимущества перед другими способами, которые можно усмотреть в работах И. А. Хинта. Он утверждает, что «в настоящее время, кроме дезинтеграторов, нет других агрегатов, в ко-

торых можно было бы достаточно экономично осуществлять такого флоккулирования возрастает с увеличением дисперсии процессы подготовки смесей, необходимые для получения смеси. Необходимо весьма тщательное принудительное измельчение со стабильными качественными показателями перемешивание смеси, чтобы препятствовать слипанию из молотого кварцевого песка". Он отрицает целесообразность измельчения частиц кварца или известки в агрегаты. Этим посты тонкого измельчения силикатной смеси, основываясь на агрегировании частиц и объясняются многие аномально-на предположении о том, что "очень мелкий песок реагирует в опытных данных П. А. Хинта [5], а не только дефекту из известково-песчаное вяжущее. Основной же материалное влияние.

изделий--обычные зерна песка остаются непосредственно. Наиболее полные данные приведены в табл. 3 цифрируемые связанным и не образует качественного монолита". Иной статьи [5] (табл. 1). Однако из нее не представляется по его мнению, "прочная структура может возникнуть лишь возможным установить, например, влияние основных факторов в том случае, когда зерна песка непосредственно связаны с силикатом при разных помоловых агрегатах так как на

Однако некоторые исходные теоретические положения с увеличением тонкости помола без особых систем П. А. Хинта являются спорными и не подтверждаются изменяется и состав смеси, и давление прессования. Мы не веденными нами исследованиями, а также и не вытекают, можно предположить, что сами опыты ставились с такими экспериментальных данных, приводимых автором рассматриваемых методических погрешностями. Поэтому мы рассматриваем приводимые цифровые данные как до известной степени

Безусловно, применение дезинтегратора при подготовке смеси является шагом вперед по сравнению с обычной для силикатной керамики технологией приготовления силикатной смеси. Однако следует все же отметить главный методический недостаток в проведенных опытах, а именно, ручное пере-

Еще в своей книге [3] И. А. Хинт показал возможность измельчения молотого песка с известью с одной стороны, увеличения прочности силикатных изделий при дезинтеграции не давало должной однородности массы, притом в том торной обработке смеси. Тогда же им было установлено, что чем выше тонкость помола песка с другой стороны оптимальные пределы измельчения, зависящие от рволюет сделать такого вывода, так как действительные удельные поверхности  $628 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Применение песка с большей удельной поверхностью как смеси сел позволяющих получить ту или иную однородность привело к снижению прочности образцов. Однако в сводности смеси. Такой прием особенно удивителен потому, более поздней работе [4], он оперирует с силикатом сам автор статьи подчеркивает большое значение однородности смеси, имеющей значительно более высокие удельные поверхности помола и смешивания смеси известки и песка, поверхности, достигающие до  $3250 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Повышение прочности силиката при формальном рассмотрении опытных данных, приво- удельной поверхности песка и известки, безусловно, имеющих П. А. Хинтом [5] (см табл. 1), можно убедиться место, и этого не оспаривает и И. А. Хинт. Но, конечно преимуществ дезинтегратора перед вибромельницей, оно не может быть беспредельным, а наоборот, имеет Однако внимательный анализ опытных данных не показывает оптимальные пределы измельчения, зависящие от рволюет сделать такого вывода, так как действительные удельные факторов: соотношения известка-песок, активности известки поверхности песка в разных помоловых агрегатах по- метода формирования, степени уплотнения смеси. учились разными, причем в вибромельнице достигались

Избыточная дисперсность может привести к снижению прочности образцов. Однако в сводности смеси. Такой прием особенно удивителен потому, более поздней работе [4], он оперирует с силикатом сам автор статьи подчеркивает большое значение однородности смеси, имеющей значительно более высокие удельные поверхности помола и смешивания смеси известки и песка, поверхности, достигающие до  $3250 \text{ см}^2/\text{г}$ .

И. А. Хинт опасается образования после запаривания с известью измельченных в разных помоловых агрегатов вяжущего вещества из известки и тончайших частиц песка кварцевых частиц, и это различие в степени однородности причем не доказывает справедливость своего опасения смеси было тем больше, чем мельче частицы в смеси.

Единственно "опасным", с нашей точки зрения, при это в свою очередь должно снижать прочность силикатных изделий помол смеси является неизбежное агрегирование, полученного с использованием вибромельницы, тем (флокулирование) частиц кварца и известки за счет некоего, чем тоньше измолот песок. Сказанное полностью пенсированных поверхностных молекулярных сил. Опасно, подтверждается опытными данными И. А. Хинта, приведен-

Таблица 3

ными в табл. 3, на основе которой нами составле табл. 2.

Справедливость нашего утверждения о различии де ствительных удельных поверхностей песчаных частиц помола в дезинтеграторе и вибромельнице подтверждают также опытными данными И. А. Хинта, приведенны в другой таблице его статьи.

Таблица 1

Наименование помольного агрегата	Характери тика полу ченных смесей		Формовочная влажность, %	Увеличение прессования, кг/см <sup>2</sup>	Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	Относительная прочность на сжатие к прочности при изгибе в пропорции 1:1
	Удельная поверх ность, см <sup>2</sup> /г	Активность, %				
Дезинтегратор	3250	37,8	13	630	913	170
Шаровая мельница	3140	37,6	13	605	759	100
Вибромельница	3180	38,0	13	567	379	101
Дезинтегратор	385	8,3	7	286	434	182
Шаровая мельница	383	8,6	7	300	239	100
Вибромельница	113	8,9	7	175	376	157
Дезинтегратор	812	16,0	9	285	652	112
Шаровая мельниц	795	15,6	9	155	583	100
Вибромельница	789	15,7	9	318	478	82
Дезинтегратор	1660	26,1	12	897	1091	113
Шаровая мельница	1565	25,8	12	931	966	100
Вибромельница	1572	25,1	12	929	718	71

Помольный агрегат	Удельная поверхность песка, см <sup>2</sup> /г		Увеличение удельной поверхности, %
	до выдерживания в воде	после выдерживания в воде	
Дезинтегратор	208	222	4
Шаровая мельница	567	613	7
Вибромельница	251	312	23
Дезинтегратор	312	368	14
Вибромельница	1072	1391	30

В этой табл. приведены данные об увеличении удель ной поверхности песка, измельченного в разных помольных агрегатах после выдерживания песка в воде в течение 7 дней.

Из табл. 3 видно, что увеличение поверхности песка, измельченного в вибромельнице, значительно больше (при мерно в 4 раза), чем песка, измельченного в дезинтеграторе. Кроме того, увеличение удельной поверхности при выдер живании в воде тем больше, чем тоньше помол песка.

Это увеличение поверхности песчаных частиц в воде объясняется только пептизацией мельчайших частиц, агре гированных во время помола, а не нарушением связи между кристаллами благодаря наличию микродефектов структуры зерен песка. Эти данные показывают вместе с тем, что в вибромельнице достигается более тонкий помол и полу чается большее количество мельчайших фракций, способных агрегированию.

Вот почему совершенно недопустимо ручное перемеще ние песка размоленного в вибромельнице с пушонкой.

Таким образом, рассмотренные опытные данные статьи И. А. Хинта не позволяют сделать бесспорных выводов преимуществ дезинтегратора перед вибромельницей.

Мы не согласны также со вторым основным положением И. А. Хинта, отрицающим целесообразность тонкого измель чения песка и образования прослоек известково-песчаного

жущего, связывающего зерна песка, без их непосред ственного контакта в монолит.

По нашему мнению, силикальцитные материалы можно изделить на три группы: 1) известково-песчаные вижущие вещества или силикальцитные цементы автоклавного твер дения; 2) силикальцитные растворы, т. е. смеси силикаль цитного цемента с мелким заполнителем песком; 3) сили кальцитные бетоны, включающие силикальцитный цемент, елки и крупный заполнитель щебень или гравий.

Таблица 2

№№ п.п.	Условная удельная поверх ность частиц, см <sup>2</sup> /г	Отношение прочности силика цитного, полученного в дезинтег раторе и вибромельнице
1	383 113	1,15
2	789 812	1,06
3	1565 1660	1,52
4	3140 3250	1,03



Используя силикальцитный цемент по аналогии с обычным цементом, можно в условиях автоклавного твердения получить материалы с различными свойствами, в том числе и высокопрочные бетоны с небольшим расходом извести. Так, например, при пропаривании в формах В Ц = 0,30 и В Ц = 0,40 при расходе цемента 300 кг м<sup>3</sup> показал прочность на сжатие 500—800 кг см<sup>2</sup> при обычных условиях. Это объясняется тем, что освобождение силикальцитных бетонов от лишней влаги сразу же после их формирования вызывает разрушение структуры поверхности слоев раствора, образующихся в силикальцитном цементе марки «600», в состав которого входит мелкий песок и 35% магнезитовой извести. Условная удельная поверхность цемента сразу же реагирует с водой и с кварцевыми частицами в цементе приблизительно в оболочках схватывающегося цементного камня, окружающего частицы песка, если и не приобретает заметной прочности, все же проявляются какие-то силы химического взаимодействия. Как видно из экспериментальных данных, применяя силикальцитный цемент с дисперсностью частиц, характерной для портландцемента, можно получить высокопрочные изделия.

Замечено, что если пропаривать бетоны и растворы на известково-кварцевом цементе в формах, то прочность их возрастает. Так, например, при пропаривании в формах В Ц = 0,30 и В Ц = 0,40 при расходе цемента 300 кг м<sup>3</sup> показал прочность на сжатие 795 кг см<sup>2</sup> при обычных условиях. Это объясняется тем, что освобождение силикальцитных бетонов от лишней влаги сразу же после их формирования вызывает разрушение структуры поверхности слоев раствора, образующихся в силикальцитном цементе марки «600», в состав которого входит мелкий песок и 35% магнезитовой извести. Условная удельная поверхность цемента сразу же реагирует с водой и с кварцевыми частицами в цементе приблизительно в оболочках схватывающегося цементного камня, окружающего частицы песка, если и не приобретает заметной прочности, все же проявляются какие-то силы химического взаимодействия. Как видно из экспериментальных данных, применяя силикальцитный цемент с дисперсностью частиц, характерной для портландцемента, можно получить высокопрочные изделия.

Замечено, что если пропаривать бетоны и растворы на известково-кварцевом цементе в формах, то прочность их возрастает. Так, например, при пропаривании в формах В Ц = 0,30 и В Ц = 0,40 при расходе цемента 300 кг м<sup>3</sup> показал прочность на сжатие 795 кг см<sup>2</sup> при обычных условиях. Это объясняется тем, что освобождение силикальцитных бетонов от лишней влаги сразу же после их формирования вызывает разрушение структуры поверхности слоев раствора, образующихся в силикальцитном цементе марки «600», в состав которого входит мелкий песок и 35% магнезитовой извести. Условная удельная поверхность цемента сразу же реагирует с водой и с кварцевыми частицами в цементе приблизительно в оболочках схватывающегося цементного камня, окружающего частицы песка, если и не приобретает заметной прочности, все же проявляются какие-то силы химического взаимодействия. Как видно из экспериментальных данных, применяя силикальцитный цемент с дисперсностью частиц, характерной для портландцемента, можно получить высокопрочные изделия.

№ п.п.	В Ц	Расход на 1 м <sup>3</sup> бетона в кг		Предел прочности при сжатии кг см <sup>2</sup>
		силикальцитного цемента	известково-песчаный цемент	
1	0,30	485	170	199
2	0,40	340	119	360
3	0,50	280	98	275

№ п.п.	В Ц	Предел прочности при сжатии, кг см <sup>2</sup>
1	0,27	518
2	0,33	670
3	0,39	670
4	0,51	280

В табл. 5 приведены результаты опытов другой серии, где использовался известково-кварцевый цемент, приготовленный из негашеной извести с добавкой сульфитно-селеновой барды (2,5%) и хлористого кальция (2,0%). В данном случае оптимальным оказалось соотношение 0,33, обеспечившее должное уплотнение бетона.

Таким образом, утверждения П. А. Хинта о нецелесообразности получения силикальцитного цементного камня не имеют под собой основания. Необходимо заметить, что при отсутствии крупного заполнителя можно применять для разных изделий и силикальцитные растворы на базе силикальцитного цемента и различного вяжущего. При этом, однако, возрастает расход вяжущего вещества. Применяя дезинтегратор, П. А. Хинт также использует составы силикальцитного раствора, в котором зерна песка, частично измельченные и активированные в дезинтеграторе, скрепляются в основном по их контактам тонкими пленками силикальцитного вяжущего вещества. По мере повышения дисперсности смеси путем неоднократного пропускания ее через дезинтегратор или при применении более эффективных дезинтеграторов П. А. Хинт наряду со скреплением некоторой части зерен тончайшими пленками силикальцитного вяжущего по контактам частиц, элей-неволен получает частично и силикальцитный цементный камень, также скрепляющий зерна песка. По мере увеличения дисперсности смеси роль силикальцитного вяжущего в образовании монолита увеличивается, прочность изделий при этом повышается. Таким образом, силикальцитные изделия можно получить при использовании и дезинтегратора, и вибромельницы, также и другого вспомогательного агрегата в зависимости от требований прочности и экономических соображений. Необходимо указать, что изготовление известково-кварцевого цемента и использование его в строительстве можно

жет оказаться еще более эффективным способом прож Бутников П. П., Некрич М. И. К теории измельчения  
ства, если применить виброперемешивание раствори тельных материалов. Труды Московского Хим.-Технол. ин-та, вып.  
бетонных смесей с последующей интенсивной (много 1956 г.  
пой) укладкой их в формы Хинт Н. А. Деинтеграторный способ приготовления силикатных и  
кальциевых изделий. Таллин, 1953 г.

Поэтому, по нашему мнению, следовало бы про Хинт Н. А. О некоторых основных вопросах автоклавного про-  
в производственных условиях сравнительные технико-эко номические показатели изделий Таллин, 1954 г.  
мические исследования для установления эффективнос Хинт Н. А. Технология производства известково-песчаных изде-  
целесообразных областей применения разных методов Журн. Строительные материалы, № 9, 1956 г.  
готовки силикатной смеси

Однако уже в настоящее время четко вырисовыв  
необходимость централизованного производства извест  
кварцевого цемента. Необходимо создать специа.лизир  
ные заводы, оснащенные современным оборудованием  
обжигу высококачественной известки и совместного по  
известки и кварцевого песка. Это мероприятие позво  
лучить дешевый высококачественный известково-кварц  
цемент и освободить заводы силикатных изделий от  
старого производства, что значительно уменьшит брак

Особое место в технологии силикатных материа  
нимает вопрос о применении гашеной и негашеной изве  
сти. Необходимо отметить, что решение этого вопроса  
длится ве в области теории строительных материала  
практике производства известки

Работами акад Ребиндера, и т. п. Логина, Ос  
др. уже давно доказана техническая целесообразность  
применения негашеной известки. Это обстоятельство че  
важность в работе кафедры „Строительных матери  
ЛНИИЖТ“а, на которой еще в 1952 г. для изготов  
известково-кварцевых цементов использовалась негаш  
известь Угловского завода. Однако и в лабораторных  
исследованиях, проведенные в области силикатных ма  
благодаря ее неоднородности имеют место случаи  
появление трещин. Даже при отсутствии вид  
трещин, применение негашеной известки может вызвать  
явление внутренних напряжений в изделиях известково-песчаных материалов автоклавного твер  
В связи с указанными обстоятельствами для высоко  
качественных изделий, какими, например, являются сил  
щитные шпалы или тубинги, следует в настоящее  
применять гашеную известку.

При получении известки гарантированного кач  
безусловно необходимо известково-кварцевые цемент  
готовлять на молотой кинельке. Это позволит значит  
уменьшить как расход известки, так и количество  
при формовании изделий.

Л и т е р а т у р а

1 Ребиндер П. А. Вибропомол — наиболее эффективный  
мелкий метод измельчения Строительные материалы. № 1, 1956 г.

Ю Н ЖЕЛДАКОВ  
ассистент  
(Ростовский на-Дону инженерно-  
строительный институт)

Технология производства силикатно-волоконного  
шифера — нового автоклавного материала

Силикатно-волоконный шифер представляет собой прес-  
ованные (плоские или волнистые) плитки, изготавливаемые  
из смеси известки и песка с растительным  
маслом и водой. Силикатно-волоконный шифер является  
новым материалом, для изготовления которого применяется  
широко распространенное сырье, стоимость которого почти  
четыре раза ниже стоимости материалов, применяемых  
при производстве асбестоцементного шифера.

Свойства силикатно-волоконного  
шифера аналогичны асбестоцементному. Предел прочности  
на изгибе волнистых листов — до 140 кг/см<sup>2</sup>, водопоглоще-  
ние — 21—24%, морозостойкость — свыше 25 циклов.

Для разработки этого материала послужили боль-  
шинство исследований, проведенные в области силикатных ма-  
териалов автоклавного твердения. Труды проф. А. В. Вол-  
кова, П. П. Бутникова, Ю. М. Бутта, П. П. Боженова,  
И. А. Хинта и др. дали возмож-  
ность значительно расширить ассортимент и область приме-  
нения изделий, какими, например, являются сил-  
катно-волоконный шифер, проводящиеся по двум основным направлениям:  
1) разработка оптимального состава, обеспечивающего  
использование местного сырья, получение необходимых  
технологических приемов  
2) исследование кровельных листов.

Исследования бы приняты однослойный метод формо-  
образования, заключающийся в обезвоживании тщательно смешан-  
ной силикатно-волоконной суспензии с молотой смесью известки и песка.  
Почвенная масса заливалась в установленную на поддон  
фильтр-плита, покрытая

гонок бронзовой сеткой. При постепенном нагружении шифера 97" и известково-песчаного вяжущего 47" растителем с помощью ручного вишневого пресса избыточная вода отфильтровывается, фильтрат через сетку, а обезвоженная масса принимается форму и штики. Этот метод был принят на фабрике после доводки, проведенных в РИИИЛКХ при разработке сухой гипсово-волокнистой штукатурки.

В качестве растительного волокна в исследованиях применялся размолотый в ротле до 18-25 по Шонеру-Ринге льняной или бумажный мак (масса).

Как показали исследования, в отличие от обычных сырьевых волокон, волокна могут быть использованы как шпатель, так и при растительных продуктах, предварительно обработанных в ротле специально обработанные.

Известково-песчаное вяжущее и добавка шпатель совместно с песком и известью.

Известно, что известково-песчаный раствор II и III сорта с карьерным содержанием  $SiO_2$  до 95% ...

В процессе работы были опробованы различные методы помола и в агрегаторе в шаровой мельнице мокрым способом и в вибромельнице. Одновременно подбирались оптимальные соотношения между известью и песком.

В результате оказалось, что наиболее приемлемые показатели поучаются при помоле в шаровой мельнице и в вибромельнице до тонкости помола от 5000  $cm^2/g$  и содержанием окиси кальция  $CaO$  в пределах 19-20%.

Следует отметить, что штики и изготовленные из мокрого помола с известью известью имеют при твердении прочность 180-190  $kg/cm^2$  и вязкость (9 циклов) в то время как штики изготовленные из массы сухого помола с известью известью имеют большую прочность (200-210  $kg/cm^2$ ) и удовлетворительную морозостойкость (свыше 25 циклов). Водонепроницаемость штиков, изготовленных на мокром помоле, 25-30%, а на сухом 21-23%.

В результате вычисления оптимального режима водоманной обработки было установлено, что при запарке под давлением 8 атм необходимое время высушки при температуре 6 часов, а при запарке под давлением 10 атм 4 часа. В первом и во втором случаях при высушке и спуска пара можно быть не менее 1,5 часа.

Введение в известково-песчаное вяжущее добавок шпатель, шпатель, цемент и боя бракованных штиков в большинстве случаев по техническим результатам, особенно при добавках доменной гранулированной шпатель и шпатель. Добавки вводятся в количестве до 10% за счет соответствующего уменьшения расхода песка. В результате работы была установлена рецептура силикатно-волокнистой штукатурки.

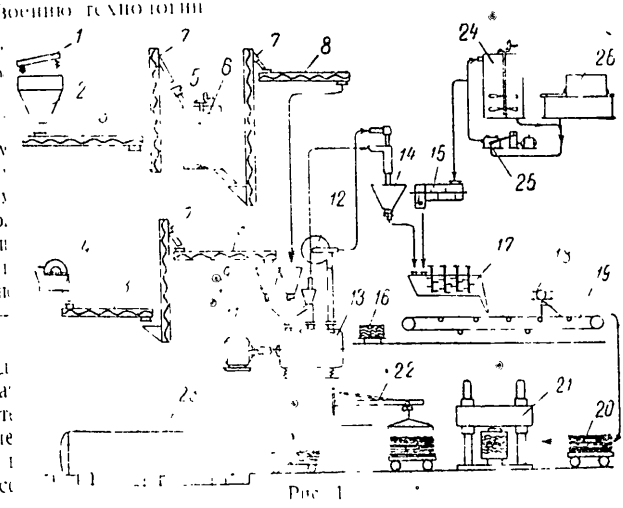


Рис. 1

и подают в бункер 2. Из бункера песок при помощи специальных прессовых тележек 20. Прессование плиток конглобатного шнека 3 подают в приемный бункер выводится гидравлическим прессом 21 при давлении конглобатного шнека 7. Этот шнек подают песок через бункер  $kg/cm^2$ . После прессования стопов опрессованных плиток в вертикальное тарельчатое сито 6, в котором он складывается тельферным краном-укосной 22 на автопшитель горячим воздухом, подогретым в паровом калорисевные тележки. Запарка плиток производится в двух автопри перемещении с тарелки на тарелку по вертикали. Сваих диаметром 1,5 м и длиной 7 м по режиму, описан-песок вертикальным шнеком 7 и горизонтальным 8 подду выше в бункер 9, установленный над вибромельницами 13 ВВ настоящее время цех еще имеет недостатки в отноустановлений две вибромельницы М-200-1,5 работающие строгого соблюдения технологического процесса по схеме СКВ-3.

Известь дробится молотковой дробилкой 4 до фрезеского пресса, из-за которой приходится прессовать размером от 0 до 3 мм и системой горизонтальных винтовых плитки размерами 50x50 см, а не намеченные тика винных шнеков подают в бункеры 10 над вибропуску 100x50 см, и недостаточное давление пара, по да-шней.

Распыленное волокно приготавливается из бумасчитаны на давление 10 атм макулатуры в ролле 26. Цех в основном использует быПериодически принцип прессования стопов плиток сдерв употреблении сетчатые крафтешки. После пивает производительность конвейера формирования что при в ролле волокистая суспензия перекачивается в бидит к необходимости останавливать конвейер в период насосом 25. Бак оборудован валом с пропеллерами длоты. Для устранения этого недостатка конструкторско-ремешивания суспензии с целью предотвращения еннологическое бюро Ростовского Облместпрома закончило стоеция. Из бака волокистая пухля перекачивается в реактирование опытного прокатного агрегата для прессова-же насосом 25 в мешалку-дозатор 15, расположенную волнистых плит вибропропеллерной мешалкой 17.

При пуске этого агрегата резко возрастет производи-Вибромолотая известково-песчаная смесь пневмотрансальность цеха и процесс формирования и прессования будет дом (вентилятор 12) через сепаратор подают в разряженность конвейеризован ный циклон, с помощью которого разряжается в бункер. Описанная технологическая схема в том числе и формовоч-

Из бункера 14 через двухинговый барабанный дозатор, могут быть с успехом применены для производства известково-песчаная смесь подают в вибропропеллерных материалов сушон пласоголокнистой шпалка мешалку, в которую одновременно подают определеьки, гипсоволокистых переторочных плит и тр порциями волокистая суспензия мешалкой-дозатор. Силикатно-волокистый материал требует более глубо-Смешанная в вибропропеллерной мешалке масса посто изучения в связи с тем, что необходимо расширить на формовочный конвейер 19.

Формовочный конвейер представляет собой ленте транспортер с плоской лентой шириной 500 мм. Над портер через вибропропеллерной мешалкой уклады волнистые поддоны, изготовленные из листового стаи шириной 1,5 мм. Таким образом, масса из вибропропелл мешалки подают на движущиеся под ней под Раскладка массы по поверхности поддона осуществл дивенками виброукладчика 18. В результате дите наладки виброукладчика найдена рациональная его з рудция, состоящая из двух раскладывающих шнеков вая по ходу массы лентка вертикальная, а вторая в пена под углом 45° к поверхности конвейера.

По мере продвижения отформованных плиток исполагает благоприятными природными условиями для венеру происходит схватывание массы за счет гидратации производства автоклавных силикатных материалов. посто твердения негашеной извести. Отформованные в том раннее имеются неограниченные запасы карбонатных укладываются вместе с поддонами стопов не более 3рмеземистых пород. Во многих случаях сырья может

В. В. ПОМАЗКОВ  
кандидат технических наук

А. А. ФЕДИН  
кандидат технических наук

(Воронежский инженерно-строительный институт)

#### Вопросы технологии и экономики производства автоклавных силикатных материалов

Центрально-черноземная зона Европейской части СССР

получаются повсюду при разработке олеумовых и ших (дешевле, в наибольшей степени тоньше и вязкую морозостойкие карьеры) или при вскрытии железорудных карьерей эти образцы выдерживают только 3-4 цикла, в то время как (Курский магнитной аномалии) Ценным сырьем являются образцы из глинозема катализатора 15-кратное замораживание производства силикатных материалов, позволяющим получать наиболее дешевую и добротную продукцию являются шихты шихты металлургии и высокодисперсные кремнеземистые отходы обогащения железистых руд К

За последние годы в производстве проводились исследования некоторых видов сырья для производства глинозема и силикатных материалов Воронежского Белгородского Курского и Харьковского экономических районов

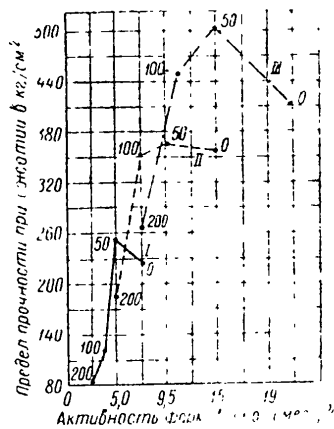


Рис. 1. Зависимость механической прочности известково-песчаных смесей от состава сырьевой смеси. I - II - активность известково-песчаного вяжущего (среднее значение) соответственно 7, 15 и 30. Цифры 50, 100 и 200 указывают количество цемента в смеси.

плотность материала повышается, а прочность снижается на основе известково-песчаных смесей. На основании данных исследований с применением различных смесей для получения стеновых блоков и армобетона можно сделать вывод о том, что при использовании в качестве вяжущего материала наиболее дешевых и вязких бетонов оказалась у образцов из микропористого Однако после

испытания микропористых и ячеистых материалов приведены в табл. 1. Наибольшая прочность была достигнута образцами из микропористого и перлитового

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств микропористых и ячеистых материалов

Состав смеси в процентах			Физико-механические свойства				
песок	цемент	глина	предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	коэффициент размягчения	поглощение по объему, %	плотность, кг/м <sup>3</sup>	
0	80	20	100	0,36	66	970	
20	80	0	165	0,43	44	1360	
50	70	0	110	0,40	65	1000	
80	0	20	170	0,50	29	1200	
30	70	0	105	0,70	36	950	
30	70	0	110	0,80	7	1200	
30	70	0	97	0,78	44	960	
30	70	0	105	0,71	46	1040	
30	70	0	125	0,70	4	1100	
30	70	0	110	0,70	5	1150	
30	70	0	130	0,60	4	950	
30	70	0	120	0,65	50	1000	

испытания микропористых известково-песчаных смесей, трещины и даже отходы производства хвосты и отходы обогащения железистых руд КМУ, шихты металлургии и т.д. При известково-глиняной смеси местного производства получены изделия объемом весом от 135 до 1450 кг м<sup>3</sup> на прочность сжатия в зависимости от содержания известка в смеси 110-300 кг/м<sup>2</sup>; в портоносности около 50

При введении в состав смеси известково-песчаных смесей карьерного песка

образцы из глинозема и глинозема на основе трещина, средняя прочность в объемах в пределах от 600 до 800 кг/м<sup>3</sup> и прочностности армобетона соответственно от 2,5 до 3,5 кг/см<sup>2</sup> к недостатку этих

С увеличением содержания глины (0,5-0,7) коэффициент размягчения смеси кварцевого песка более высокие показатели физико-механических свойств

испытания микропористых и ячеистых материалов приведены в табл. 1. Наибольшая прочность была достигнута образцами из микропористого и перлитового

Таблица 5. Физико-механические свойства газосиликата, изготовленного на основе тонкомолотого песка при увеличении давления при формировании до 1000 кг/см<sup>2</sup>. Наблюдается рост прочности только для смесей с содержанием извести 5, 7,5 и 10%. Наибольший показатель прочности при 1000 кг/см<sup>2</sup> был получен у образцов, изготовленных из смеси активностью 10%.

Вид газообразователя	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент размятия	Воздушная активность, %
Алюминиевый порошок	700	69	0,66	3
	800	90	0,69	3
	900	110	0,71	3
	1000	130	0,71	3
	1100	150	0,73	4
	1200	165	0,70	4
Пергидроль	500	30	0,80	2
	600	45	0,70	3
	700	80	0,70	3

газообразователей выявлено преимущество последнего, объясняется, очевидно, лучшими условиями образования ячеистой структуры и положительным влиянием пергидридного газообразователя на процесс твердения цементного изделия в автоклаве.

Значительный интерес представляют исследования условий изготовления автоклавных материалов на основе стов тонкодисперсных кварцитовых отходов, получаемых при обогащении железной руды на обогатительной фабрике КМА. Указанные хвосты представляют собой тонкодисперсный кварцитовый порошок (попыльный остаток на № 0063 13-15<sup>я</sup>) с примесями магнитного железняка 15-1

По данным комбината «Кмарула» запасы хвостов января 1957 года достигли 1003 тыс т. Ежегодный рост хвостов с 1957 г. по 1960 г. составляет 300 тыс т, а с 1960 г. ежегодный прирост должен быть не менее тыс т. Таким образом, в отвалах будет непрерывно увеличиваться неиспользуемые запасы тонкодисперсных кварцитовых отходов, которые могут широко использоваться при изготовлении автоклавных материалов.

Анализируя результаты проведенных нами испытаний прессованных образцов, оказалось, что с увеличением содержания извести в составе смеси от 5 до 20%, в случае применения удельного прессового давления (при формировании) 100 кг/см<sup>2</sup>, наблюдается рост предела прочности при сжатии от 139 до 736 кг/см<sup>2</sup>, т.е. в  $\frac{736}{139} = 5,3$  раза, а при общем давлении 300 кг/см<sup>2</sup> в  $\frac{864}{314} = 2,7$  раза.

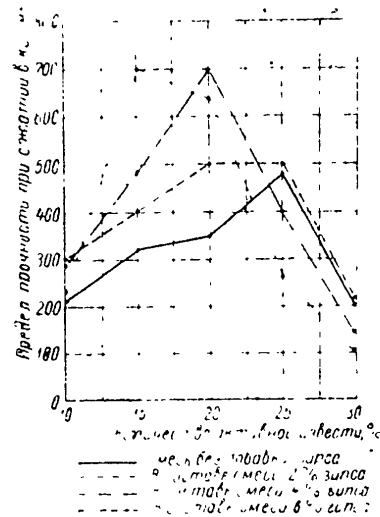


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии от состава смеси. Образцы изготовлены на основе хвостов и молотого известняка в смеси.

Показатели объемного веса этих материалов колеблются в пределах 1150-1650 кг/м<sup>3</sup>.

В результате этих испытаний нам удалось выявить положительное влияние цувоного типа, добавка которого увеличивает прочность вибрированных автоклавных материалов.

Прочностные показатели образцов, изготовленных на основе извести, по нашим данным в 2-2,5 раза ниже полученных на рис. 2.

Прочность образцов газосиликата различного объемного состава зависит от состава смеси, количества воды затворения и способа смешивания исходных составляющих.

Составляя показатели прочности образцов, изготовленных при перемешивании хвостового шлама с неташеной вестью в пропеллерной мешалке с образцами, изготовленными из смесей перемешивание которых производится в шаровой мельнице, мы установили преимущество последнего способа, так как он дает возможность в 1,5 раза повысить прочность.

Прочностные показатели образцов газоспичката находятся в пределах от 50 до 100 кг/см<sup>2</sup> при изменении объема веса соответственно от 700 до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Водопоглощение образцов составляет 35% при объеме весе 700 кг/м<sup>3</sup>, 38% - при объемном весе 800 кг/м<sup>3</sup>, 40% соответственно при объемных весах 900 и 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Проведенные испытания на морозостойкость дают возможность сделать вывод о том, что из всех автоклавных изделий, изготовленных на основе хвостов и вестей более морозостойкими являются прессованные и ячеистые материалы.

Образцы, изготовленные из пластичных смесей с помощью виброуплотнителя, оказались менее морозостойкими, хотя и они выдержали без заметного снижения прочности 15-кратное замораживание и оттаивание.

Полученные данные дают возможность сделать заключение о пригодности хвостов для изготовления на их основе автоклавных материалов и в первую очередь изделий ячеистых бетонов.

В соответствии с данными лабораторных исследований для заводских испытаний, которые в 1958 г. проводились на Белгородском заводе силикатного кирпича, был принят следующий состав сырьевой смеси: хвосты 77%, весть 20% и мюитый гипсовый камень 3%.

Перемешивание массы производилось в изготовленном мешалке-разбавке для газобетона СМ-553. Масса заливается в формы с размерами 2,0 · 1,5 · 0,5 м, с учетом использования объема мешалки. Указанные формы устанавливаются по 2 шт на вагонетку и таю возможность перевозить объем автоклава на 40 м<sup>3</sup>.

При проведении заводских испытаний были использованы сырьевые материалы, предварительно перемешанные в шаровой мельнице СМ-14. Сырьевая смесь засыпалась в непрерывном перемешивании в мешалку, в которую без предварительного подогрева заливалось необходимое количество воды. За 2-3 мин до конца перемешивания в мешалку вводилась алюминиевая пудра. Через 2 часа после формирования схватившаяся ячеистая масса разрезалась стальным формом на блоки различных размеров. Запаривание проводилось при 8 атм по режиму 3 · 12 · 3 часа.

При разборке блоков не было обнаружено никаких трещин и других признаков нарушения структуры изделия.

Таким образом, в результате проведения этих испытаний практически доказана возможность производства стеновых блоков из газоспичката с использованием хвостов отходов переработки руд Курской магнитной аномалии.

Известно, что применение автоклавных изделий в строительстве даст бо́льшой экономический эффект. Преимущество их применения, например, при возведении жилищных зданий вытекает из данных табл. 3.

Таблица 3

Показатели стоимости возведения 1 м<sup>2</sup> стены из различных материалов

Наименование изделия	По данным ЦС и А		По данным сектора экономики института строительной техники	
	в руб.	в %	в руб.	в %
ячеистые блоки толщиной 61 см	138,73	120		
ячеистые блоки толщиной 61 см	113,22	100,0	94,0	100,0
газоспичкатные пустотелые блоки толщиной 61 см	8,73	7,0	9,0	100,0
газоспичкатные пустотелые блоки толщиной 30 см	69,18	60,0	66,0	69,0

На некоторых заводах, как например, Саратовском, отменная цена 1 м<sup>2</sup> крупных блоков в 1957 г. составила 118 руб. и намечены мероприятия по дальнейшему ее снижению. Однако на большинстве заводов стоимость блоков из вспененной силикатной массы все еще составляет 140-180 руб./м<sup>2</sup>.

Аналогично обстоит дело и с ячеистыми бетонами. На выгном заводе в Латвии (по данным А. П. Седова) отменная цена блоков из пенопичката составляет 300 руб./м<sup>2</sup>. По данным ЦИИ строительных материалов в г. Риге средняя цена за 1 м<sup>2</sup> газоспичката или газобетона составляет 186 руб. В дальнейшем по мере накопления опыта производства себестоимость автоклавных материалов может быть значительно понижена, о чем со всей определенностью свидетельствует опыт их производства за рубежом.

Снижению себестоимости ячеистых автоклавных силикатных изделий в индивидуальных формах и изготовлению их в формах большой емкости и разрезкой на блоки перед запаристичных и полипластичных масс, наряду с ташеной лучшее использование объема автоклавок, применение гвезтью начала применяться и молотая негашеная известь, вых тонкодисперсных кремнеземистых материалов, мет На возможность применения негашеной извести для дурлических шлаков и др.

Расчеты показывают, что производство ячеистых силикатных изделий, изготовляемых в формах, риалов и изделий наиболее рентабельно на заводах до Дальнейшими работами советских исследователей [6, 7, точно большой производительности (100 тыс. м<sup>3</sup> в год и др.) было установлено, что применение негашеной вести повышает прочность, плотность и морозостойкость силикатных изделий. В заводских масштабах негашеная известь была впервые применена для производства пеноси-

При изучении вопроса производства автоклавных силикатных изделий в районах, располагающих кремнеземистыми отходами обогащения железистых кварцитов (силикатных изделий И. Г. Кудряшевым [9], а для производства мер. Губкин КМА) установлено, что наиболее рентабельных силикатных блоков при участии автора [10] на ным является производство ячеистых материалов ршанском заводе силикатного кирпича.

Расчеты показывают, что строительство жилья из ячеистых бетонов малого объемного веса позволит обеспечить массы с содержанием 7% активной окиси каль- значительное снижение его стоимости (примерно до 80% и 15-18% воды, имели марку „100“. Введение в массу 900 руб. за 1 м<sup>3</sup>).

Э. Д. ПЕВЗNER  
 доктор технических наук, доцент  
 (Белорусский политехнический университет им. П. В. Сяцкого)

**Силикатные автоклавные изделия на негашеной извести с кремнеземистыми интенсификаторами твердения**

Для интенсификации процессов твердения силикатных (известково-песчаных) автоклавных материалов применя в основном, при способе повышения давления пара в ав клаве до 12-16 атм и более, добавку в силикатную ма солей или щелочей калия и натрия, введение в массу тон молотых кремнеземистых добавок.

Первые два способа не нашли пока широкого распрост нения один из-за отсутствия серийного производства ав клавок, рассчитанных на повышенное давление, второг из-за недостаточной изученности вопроса.

Третий способ, благодаря работам советских исследо телей [1, 2, 3, 4 и др.] наиболее изученный и эффективн внедренный в производство, находил за последнее вре нечти повсеместное распространение.

В большинстве случаев известь в этих силикатных ма сях перед формованием изделий (прессование, вибраци- отливка) подвергается предварительному ташению, как

Химический состав в %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	и и и
83,72	8,10	2,80	1,05	0,39	нет	2,28

Механический состав (по Сабанину)

Размеры частиц в мм	100	0,25	0,25	0,05	0,05	0,01	менее 0,01
удержание в %	0,57	26,10	47,05	26,28			



Сыпучий материал в основном состоит из дисперсных зерен цемента, диспергированных глинистым веществом.

Измельченный сыпучий материал (остатки на сите № 1 мм) смешивается с молотой негашеной известью и песком в лабораторной растворомешалке. При этом частичные массы готовятся с содержанием активной окиси кальция от 5 до 8 %.



Рис. 1 Жилые дома из крупных силикатных блоков

ка от 0 до 100% воды от 13,6 до 29%. Из сыпучих масс готовились образцы-кубы с ребром 7 см, укладываемые на лабораторной виброплощадке. После схватывания образцы в формах запаривались при 8 атм пара в течение 8 часов, высушивались при 115° и испытывались на механическую прочность. Результаты испытаний показали, что оптимальной добавкой является 20% известь. Предел прочности при сжатии образцов без сульфата в % зависимости от содержания активной окиси кальция находится в пределах 100—200 кг/см<sup>2</sup> с 20% сыпучим соответственно 288—559 кг/см<sup>2</sup>, морозостойкость — 25 циклов.

Вслед за лабораторными опытами на экспериментальном заводе ИИИСМ БССР были изготовлены на негашеной извести крупные силикатные блоки размером 1,6 × 0,9 × 0,5 м, четырьмя рядами цементируемых в состав

Блоки формовались на виброплощадке и вместе с формой запаривались при обычном режиме (8 атм — 8 час.). Контрольные кубы с ребром 15 см из тех же масс, запаривавшиеся одновременно с блоками имели предел прочности при сжатии без добавки сульфата — 129 кг/см<sup>2</sup>, с 22% сульфата (оптимальная добавка) — 276 кг/см<sup>2</sup>.

Успешное освоение производства крупных силикатных блоков из полужидких масс на негашеной извести позволило разработать способ изготовления облицовочных плит и фасадов зданий по той же принципиальной технологической схеме [3, 4], включавшейся в следующем. Печальная известь, считая на активную окись кальция, вместе с песком в весовом соотношении 1 : 1,5 : 1 : 2 мелется до акости, при которой остаток на сите № 0,085 не превышает 15%.

К молотой смеси добавлялся немолотый песок с расчетом удержания в массе 6% активной окиси кальция. Молотая смесь с немолотым песком сначала насыхала, а затем с водой (5—17% к сухой массе) перемешивалась в растворомешалке в течение 3 минут. Готовая масса загружалась в кассетную форму, установленную на виброплощадке. Печенье вибрировалось 3 минуты, после чего производилось заглаживание крышной части плиты. По окончании схватывания плиты в рамах подвергались автоклавной обработке (8 атм — 84 час.).

Контрольные кубы с ребром 10 см, запаривавшиеся одновременно с плитами, имели объемный вес 1,90—1,94 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 250—300 кг/см<sup>2</sup>, теплопроводность 10—12%, морозостойкость — более 25 циклов. При повышении содержания активной окиси кальция до 10% предел прочности при сжатии повышается до 450 кг/см<sup>2</sup>.

Массовое производство облицовочных плит организовано на экспериментальном заводе ИИИСМ БССР и Оршанском заводе [12]. Форма плит 1-образная с защемляемой в закладной части. Размеры плит: лицевой части — 194—394 × 30 мм, закладной части — 194—394 × 160—65 мм и др. (рис. 2).

Для изготовления потребностей массового жилищного строительства, а также нужд индивидуальных застройщиков в стеновом материале по предложению Н. Л. Черного разработана технология производства мелкогазмерных летучих автоклавных силикатных блоков с объемным весом до 1000 кг/м<sup>3</sup>, шириной (толщина стены) 35 см и высотой (отдельного блока) не более 20 см (двухрядный блок). Структура блока представляла собою пустую коробку, лицевая часть которой облицовывалась газопопелляющим раствором веса 500—600 кг/м<sup>2</sup>. Стенки коробки блока, как 196

образующие поверхности стены, имеют толщину каждая, остающиеся в стене 3 см. Изготовление производилось из полупастичных масс в специальных мах с извлекающимся пуансоном - пустообразователем путем вибрации. Для облегчения блока в массу для



Рис. 2. Жилой дом, обшпательный силикатными блоками

ка блока был введен, вместо песка, молотого и немолотого измельченный (зерна 0-10 мм) аглопорит, полученный экспериментальном заводе НИИСМ БССР путем спекания минского сульфика в агломерационных чашах. После

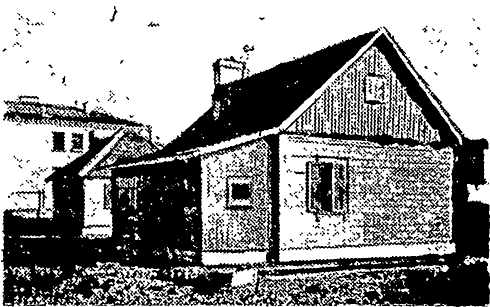


Рис. 3. Опытный дом из силикатных блоков

явился одновременно запонителем и кремнеземистым тенеффикатором твердения коробки блока, объемно-

торой нетто при этом снизился с 1800—1900 кг м<sup>3</sup> до 170 кг м<sup>3</sup> при кубиковой прочности 370 кг см<sup>2</sup>

Для заполнения пустоты блока после схватывания тела коробки применялся та же шпательная следующего состава, разработан автором совместно с С. Б. Курьянцкой: 1% сульфидка, 20% извести (по активному окиси кальция), 0% алюминиевой пудры к весу извести и 80% воды к весу кон массы.

На основе указанных составов экспериментальным заводом НИИСМ БССР изготовляет опытные партии коробчатых блоков различной конфигурации со следующими качественными показателями:

- одного блока 23 кг;
- брутто вес блока 1000—1050 кг м<sup>3</sup>;
- предел прочности при сжатии блока 170—180 кг см<sup>2</sup>;
- розостокость — более 40 циклов.

В настоящее время из коробчатых силикатных блоков возводятся опытные одноэтажные дома (рис. 3).

Помимо извести, изготавливаемых в формах из полупастичных масс, негашеная известь может быть применена и в прессованных силикатных материалах при наделяющей жесткости помола ее с кремнеземистыми тенеффикаторами. Лабораторные и заводские опыты, при которых специально изготовлены прессованные силикатные кирпичи из смеси (3% остатка на сите № 0063) смеси негашеной извести и песка в соотношении 1:3 (10% д) и карьерного глина (60% д), показали, что запоренный кирпич не имеет каких деформации, размер его был в пределах стандартной механическая прочность (среднее) 177 кг см<sup>2</sup>. В отличие как заводской кирпич из гашеной массы на той же жесткости но без тенеффикатора твердения, имеет марку 100 [13].

Негашеная известь для прессованных силикатных материалов дает лучшее приращение при создании мельчайших порок, что способствует лучшей проницаемости.

### Заключение

Применение кремнеземистых тенеффикаторов твердения силикатных материалов, в том числе и в негашеной извести, значительно повышает их прочность и розостокость.

## Литература

1. Некрасов В. П. Материалы по повышению эффективности и бетонного строительства. Госиздстрини М. Л., 1948 г.
2. Бутт Ю. М., Кржеминский С. А. Пути интенсификации процессов автоклавного твердения известково-силикатных материалов. Классификация применяемых для этого добавок. Сборн. тр. РОСНИИ № 2, 1953 г.
3. Черный Н. Л. Интенсификация производства известковых изделий. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 1, 1955 г.
4. Невзнер Э. Г. Гринштейн А. Р. Сокращение сроков парования силикатных изделий путем совместного парования известняком. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 5, 1957 г.
5. Невзнер Э. Г. Силикатные пазы для камней. Строительные материалы, № 4, 1952 г.
6. Волженский А. В. и др. Улучшенные известково-силикатные изделия. Инстит. строит. техн. Акад. арх. СССР, М., 1951 г.
7. Шварцгайт М. С. Некоторые вопросы технологии производства улучшенных изделий из гипсовых автоклавного твердения. Научно-техн. совет по вопросам теории и практики автоклавного твердения. Инст. Акад. арх. СССР, М., 1955 г.
8. Невзнер Э. Г. Силикатный кирпич на высокомагнезитовой известке. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 3, 1957 г.
9. Курьянская С. Б., Демченко А. Я. Фасадные облицовочные материалы. Стройиздат, М., 1946 г.
10. Невзнер Э. Г., Демченко А. Я. Крупные силикатные кирпичи на негашеной известке. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 5, 1957 г.
11. Невзнер Э. Г., Демченко А. Я. Силикатные изделия негашеной известке с добавкой сульфата. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 6, 1957 г.
12. Черный Н. Л., Невзнер Э. Г., Гринштейн А. Р., Курьянская С. Б., Демченко А. Я. Фасадные облицовочные силикатные плитки на негашеной известке. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 6, 1957 г.
13. Невзнер Э. Г., Багаев Г. А. Зависимость прочности силикатного кирпича на негашеной доломитовой известке. Сборн. научн. работ НИИСМБССР, вып. 6, 1957 г.

Б. П. ДАНИЛОВ

руководитель лаборатории  
Института химической технологии  
Института химической технологии  
Института химической технологии

#### Опыт активизации сырьевой силикатной массы посредством варки

В связи с решениями XXI съезда КПСС в Советском Союзе все шире разворачивается крупное и крупноразмерное строительство. Следует признать, однако, что крупноразмерные силикатные изделия выпускаемые в настоящее время предприятиями, обладают еще существенными недостатками: значительным объемным весом и теплопроводностью, недостаточной прочностью и долговечностью.

В целях повышения качества силикатных изделий нами изменена обработка сырьевой силикатной смеси посредством варки сырьевой силикатной массы при температуре

Исследованиями, проведенными при помощи электронного и поляризованного микроскопов, было установлено, что при кипячении известково-водных эмульсий в течение 30 мин. происходит пентизация сфероидальных частиц гидроксид кальция, в результате которой образуются чрезвычайно мелкие шпательчатые кристаллы.

Товарная гидратная известь, загашенная этим способом, отличается значительно (в 2 раза) более дисперсией, чем известь, загашенная обычными способами.

При исследовании известково-песчаных смесей, кипячение которых шло 15, 30 и 60 мин. было установлено, что образовавшиеся при этом шпательчатые кристаллы гидроксид кальция «прилипают» к частицам кварца. Следовательно, в результате взаимодействия между известью и кварцем с поверхности происходит в какой-то мере расхождение зерен кварца.

Кроме того, ценится работа по сравнению прочностью автоклавных силикатных изделий, изготовленных из прокипяченной известково-песчаной смеси, с такими же изделиями, изготовленными из песка и известки, загашенной обычными способами, применяющимися в промышленности.

В результате этой работы установлено, что при кипячении сырьевой силикатной массы прочность автоклавных силикатных изделий во многом зависит от того, во сколько раз она превышает прочность изделий, изготовленных обычными методами.

Так, например, прочность стандартных образцов, приготовленных на известке, загашенной в пушонку и тесто, и вареных в автоклаве при давлении пара 8 атм, в среднем составила 145-260 кг/см<sup>2</sup> при объемном весе 1300-1800 кг/м<sup>3</sup>, а прочность образцов из прокипяченной сырьевой массы аналогичного состава при таком же объемном весе составила соответственно 280-420 кг/см<sup>2</sup>.

Образцы, приготовленные из силикатной массы, загашенной паром в обычном гасильном барабане и запаренные так же в автоклаве при давлении пара 8 атм, показали прочность равную 180-260 кг/см<sup>2</sup> при объемном весе 1800 кг/м<sup>3</sup>, а прочность образцов аналогичного состава, приготовленных из прокипяченной силикатной массы и запаренных одновременно с ними в автоклаве, составила 312 кг/см<sup>2</sup>.

На основании этих исследований была разработана технология производства крупноразмерных автоклавных сили-

каждых из них в одну сторону при сгибании смеси. Видно, что при этом необходима площадь необходимая для поворота. Она основана на жестком соединении с проволочными державками до заваривания  
 решетки. Работы по изготовлению блока по методу Г. Крайса. После формовки блоки заваривались в автоклаве при 120° С. На заводе была изготовлена опытная партия изделий пара *Sami*. Объем протектильности цинка при 120° С в течение 30 мин и 180° С в течение 50 мин.

Для приготовления сыпучих силикатных отливок песчаных ртутных отливок размером 120 × 80 × 30 см с объемом 2,4 м<sup>3</sup> выливается на литейной машине до остывания нам весом 1300-1500 кг и прочностью которых соответствует 900 *атм* с/м<sup>2</sup> равного 30-40% и силикатных изделий составлена 200-260 кг с/м<sup>2</sup> протектильности карбидный десок.

На сыпучие смеси отливок в автоклаве выливается остаток на том же месте равного 4-6%.

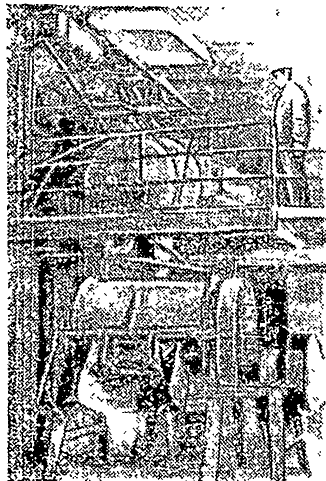


Рис. 1. Схема изготовления сыпучих отливок.

Видно, что блок должен быть изготовлен из прочного материала, способного выдерживать высокие температуры. В процессе изготовления необходимо использовать специальные материалы, обеспечивающие прочность и долговечность изделия.

Варка силикатной отливки осуществляется в смеси сыпучих материалов в паровой рубашке. При этом необходимо учитывать различные факторы, влияющие на процесс варки, такие как температура, время и состав смеси. Смесь выливается в форму в течение определенного времени, а затем подвергается обработке в автоклаве. После завершения процесса отливки необходимо провести проверку качества изделия, что осуществляется путем измерения прочности и протектильности.

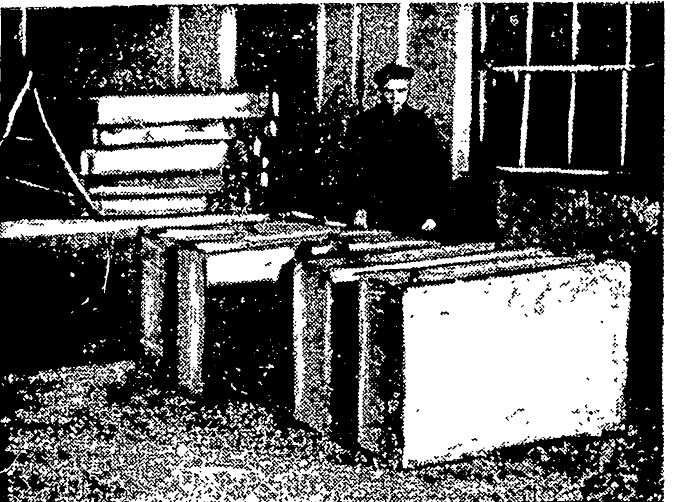


Рис. 2. Вид изнутри блока.

Процесс изготовления отливок в автоклаве требует строгого соблюдения технологии. Необходимо контролировать температуру и время выдержки, чтобы обеспечить оптимальные свойства готового изделия. После завершения процесса отливки необходимо провести проверку качества изделия, что осуществляется путем измерения прочности и протектильности.

Коэффициент протектильности зависит от объема веса отливки и от температуры. Указанные значения являются ориентировочными и могут изменяться в зависимости от различных факторов. Необходимо учитывать все факторы, влияющие на процесс изготовления отливок, чтобы обеспечить высокое качество готового изделия.

за время выдержки и старения. При этом прочность при этом не уменьшается (1,9-2,0 т).

Неоходимо отметить, что эти изделия обладают легкими конструктивными особенностями. Кроме опытной серии этих стеновых блоков, же технологии были изготовлены несколько десятков и при перестройке шириной 4 м шириной 0,4 м, до ширины 6-миллиметров проволокой.

Эти плиты как показали испытания, обладают прочностью (марка 200) несущая способность плиты 600 при коэффициенте запаса 1,6), а поверхность их достаточно гладкой, что не нужна не только штукатурка и окраска.

Щебенистые блоки изготовляются из частично зольной в составе спрессованной массы по методу принятому Саратовском силикатном заводе.

Особенность технологии производства заключается в том, что масса увлажняется горячей водой и клинчатся в течение 15-20 мин в указанном виде. Смесь затем выливается в форму, толщина которой от 50 до 60 мм. Влажность массы составляет 12-14%, а ее влажность 7%. Формовка изделий производится при помощи пневматического вибратора в течение 1 мин.

Блоки запаривались в автоклаве (без выдержки) при давлении пара 8 атм в течение 9 часов. Состав запаривания составлял 9 час.

По этой технологии была изготовлена партия стеновых блоков размером 180 x 60 x 50 см. Прочность блоков составляла 180-200 кг/см<sup>2</sup> при объемном весе (всухую) равном 1800-1900 кг/м<sup>3</sup>.

Средний расход сырья при активности 60% на стеновых изделиях составил 200-220 кг/м<sup>2</sup> стеновая поверхность 1,70 руб/м<sup>2</sup>. Расход той же смеси на стеновых блоках колеблется от 1,90 до 1,70 руб/м<sup>2</sup>, а стоимость этих изделий 1,67-3,90 руб/м<sup>2</sup>.

Таким образом, пошед стоимость 1 м<sup>2</sup> стеновых изделий из опытных стеновых блоков, составил 1,75-1,76 руб/м<sup>2</sup> в зависимости от марки цемента. Работы по устройству стеновых изделий в среднем составляют 1,20-1,30 руб/м<sup>2</sup>. Таким образом, стоимость 1 м<sup>2</sup> стеновых изделий составляет 2,95-3,06 руб/м<sup>2</sup>. Стоимость 1 м<sup>2</sup> стеновых изделий составляет 1,75-1,76 руб/м<sup>2</sup>. Таким образом, стоимость 1 м<sup>2</sup> стеновых изделий составляет 1,75-1,76 руб/м<sup>2</sup>.

Учитывая, что при этом не увеличивается расход сырья, а также и стоимость работ, то можно считать, что эти изделия являются экономически выгодными. Кроме того, эти изделия обладают хорошими свойствами и могут быть использованы в различных конструкциях. При этом не требуется дополнительной обработки, а также и специальных условий хранения.

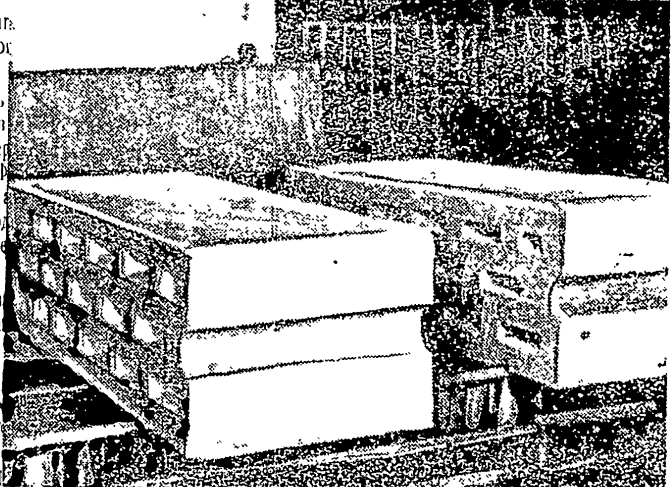


Рис. 1. Машина для изготовления стеновых изделий.

**Д. И. ЧЕМОДАНОВ** Авторы настоящей работы поставили своей задачей исследовать влияние добавок некоторых солей - интенсификаторов твердения на количество, состав и скорость образования гидросиликатов кальция и на основе этих данных определить механизм интенсифицирующего действия отдельных видов добавок. Эта задача в данной работе решается на примере введения в силикатную массу хлорида натрия и некоторых других хлоридов. Для суждения о количестве, составе и скорости образования гидросиликатов кальция образцы с добавками хлористого натрия после автоклавной обработки поворачивались аналогично содержанию свободной и связанной окиси кальция и двуокиси кремния, вступающих в реакцию. На основе таких химических данных можно было бы рассчитывать молекулярные соотношения между окисью кальция и двуокисью кремния в образующихся гидросиликатах кальция.

**О механизме интенсификации процесса автоклавного твердения известково-кремнеземистых материалов введением в силикатную массу некоторых растворимых солей**

Одной из наиболее актуальных проблем производства автоклавных и автоклаго-кремнеземистых материалов является проблема ускорения процесса автоклавного твердения. Этому вопросу посвящено значительное количество исследований как советских, так и зарубежных авторов. Рядом исследований [1, 2, 3, 4, 5] установлено, что между окисью кальция и двуокисью кремния в образующихся гидросиликатах кальция.

**Характеристика исходных материалов и методика исследования**

Исследованию этого вида интенсификации автоклавного твердения посвящено небольшое количество работ, в частности ограниченное число добавок - интенсификаторов. Недостаточно освещены вопросы механизма интенсификации. Пока имеется теоретическая интерпретация механизма ускорения автоклавного твердения при введении в силикатную массу хлористого натрия и сернистого натрия. Мнение С. А. Кржминского [1] ускорение автоклавного твердения при введении в силикатную массу хлористого натрия является результатом того, что в присутствии хлористого натрия значительно ускоряется процесс образования гидросиликатов кальция.

В качестве исходного материала в настоящей работе использовались кварцевый песок Туапсинского месторождения, известь-пушонка и хлориды натрия, магния, кобальта, меди и бария. Песок предварительно просушивался до влажности 8% и подвергался гранулометрическому анализу, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование месторождения	Гранулометрический состав песка							Прошло через сито 0,15, %
	5,0	2,5	1,2	0,6	0,3	0,21	0,15	
Песок Туапсинского месторождения				11,9	5,2	2,5	0,6	1,1

При введении в силикатную массу хлористых солей диссоциирует с образованием ионов натрия и хлора. В присутствии гидроксидных ионов, образующихся при диссоциации гидрата окиси кальция, ионы натрия взаимодействуют с кремнеземом с большой скоростью с образованием гидросиликата натрия, который легко растворяется, подвергаясь гидролитическому разложению с образованием коллоидного раствора кремнезема и окиси натрия. Коллоидный же кремнезем легко и с большой скоростью взаимодействует с окисью кальция с образованием соответствующих гидросиликатов кальция. Таким образом, интенсифицирующее действие хлористого натрия объясняется специфическими свойствами ионов натрия. Характерной особенностью приведенных исследований является то, что в них использовались в качестве добавок-интенсификаторов, делались заключения только на основе механических испытаний образцов, подвергнутых автоклавной обработке.

Исходная известь-пушонка, просеянная через сито с размером отверстий 0,2 мм, имела активность равную 8%. Известь и песок поворачивались химическому анализу, результаты которого представлены в табл. 2. Все добавки-интенсификаторы твердения имели маркировку "химически чистые" и "чистые для анализа". Для приготовления силикатной массы песок известь и добавки-интенсификаторы дозировались по весу. Активность известки — 8%, влажность — 10%. Содержание водо-

Таб.

Таблица 3

Химический состав исходных материалов							Влияние содержания хлористого натрия в силикатной массе на прочность образцов								
№№ п/п.	Название материала	Содержание, %					и.п.п.	Продолжительность обработки, час	Содержание вводимой добавки (%) и предел прочности при сжатии (кг/см <sup>2</sup> )						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO			0	0,50	1,00	1,50	2,00	1,00	6,00
1	Песок Тулганского месторождения	93,16	0,63	0,47	—		0,10	2	21,0	12,0	18,0	31,5	21,0	12,0	0,0
2	Известь-пушонка	0,76	0,64	0,23	70,84	0,17	0,51	4	1,2	7,1	9,1	15,5	63,0	18,7	10,5
								6	81,2	98,2	105,3	81,0	71,0	31,5	9,5
								8	105,0	135,9	113,0	91,1	14,0	30,1	4,2

лимой добавки-интенсификатора колебалось от 0,5 от общего веса сухой исходной массы. Исходная формовалась в виде цилиндров диаметром и высотой при удельном давлении прессования 160 кг/см<sup>2</sup>. Авток обработка образцов производилась в лабораторном авто при давлении насыщенного пара 8 атм, с продолжительностью обработки 8 часов. Через сутки после заливки образцы подвергались испытанию на сжатие. Из разрушенных образцов отбирались пробы для химического анализа. Химическим анализом в обработанных образцах определялось количество связанной с известью двуокиси кремния (в солянокислом и в щелочной вытяжке), свободной окиси кальция (этилолцидратным методом) и связанной окиси кальция по разности из исходной активности и свободной окиси кальция. На основе данных анализа рассчитывались молекулярные соотношения между окисью кальция и окисью кремния в образующихся гидросиликатах кальция.

Влияние хлористого натрия на прочность образцов, количество, состав и скорость образования гидросиликатов

В работе исследовано влияние на прочность образцов, состав и скорость образования гидросиликата кальция добавок хлористого натрия при введении его в силикатную массу в количестве от 0,5 до 1,0%. Результаты этих испытаний представлены в табл. 3, 4 и 5.

Приведенные в табл. 3 данные показывают, что введением в силикатную массу добавки хлористого натрия можно значительно повысить прочность образцов и скорость автоклавного твердения. С увеличением содержания хлористого натрия, прочность образцов растет лишь до определенного максимального значения, а затем в незначительной степени, хотя прочность образцов к этому же времени обработки увеличивается на 12—14%, которому соответствует максимальная прочность образцов.

Во всех случаях равно одному и тому же количеству. При увеличении содержания добавок выше оптимального количества, прочность образцов резко понижается. Результаты химического анализа образцов, с добавками хлористого натрия после их автоклавной обработки, представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Содержание свободной окиси кальция в обработанных образцах

Продолжительность обработки, час	Содержание вводимых добавок (%) и свободной окиси кальция (%)						
	0	0,50	1,00	1,50	2,00	1,00	6,00
2	0,62	0,59	6,85	6,98	6,91	6,68	6,92
4	3,33	3,89	4,36	5,08	6,18	7,19	7,00
6	0,77	0,97	0,98	—	1,25	1,65	2,35
8	0,18	0,59	0,60	—	1,05	1,60	2,71

Представленные в табл. 4 и 5 данные показывают, что химическое взаимодействие между двуокисью кремния и окисью кальция практически заканчивается к 6 часам автоклавной обработки. За последние 2 часа (седьмой и восьмой) количество связанных окиси кальция и двуокиси кремния в незначительной степени, хотя прочность образцов к этому же времени обработки увеличивается на 12—14%, которому соответствует максимальная прочность образцов.

Табл. химически чистые<sup>а</sup>, применялись в кристаллогидратной форме и вводились в силикатную массу в количестве от до 6<sup>а</sup> в расчете от сухой силикатной массы. При проведении этой серии опытов образцы подвергались автоклавной обработке в течение шести часов. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 6

Содержание связанной двуокиси кальция в обработанных образцах

№ опытов	Продолжительность обработки, час	Содержание вводимой добавки (%) и связанной двуокиси кремния (%)				
		0	0,50	1,00	2,00	4,00
1	4	3,20	3,11	2,83	2,19	1,86
2	6	3,49	3,41	3,20	3,00	2,23
3	8	3,77	3,25	3,35	3,23	2,73

Таблица 6  
Влияние добавок некоторых хлоридов металлов на механические свойства образцов

№ опытов	Название добавки индентификатор	Количество вводимой добавки	Предел прочности при сжатии кг/см <sup>2</sup>	Относительная прочность образцов без добавки
1	без добавки		86,00	100,00
2	Хлорид натрия	1,0	113,00	106,27
3	"	2,0	81,00	94,19
4	"	3,0	50,80	59,08
5	" магний	1,0	123,30	113,20
6	"	2,0	101,63	118,12
7	"	3,0	65,00	75,58
8	" кобальта	1,0	113,00	131,30
9	"	2,0	107,30	124,72
10	"	3,0	105,00	122,60
11	" меди	1,0	95,00	97,67
12	"	2,0	110,00	127,90
13	"	3,0	96,60	111,62
14	" бария	1,0	92,00	107,01
15	"	2,0	110,00	127,00
16	"	3,0	78,10	90,62

силикатную массу добавок хлористого натрия содержание связанных оксидов кальция и двуокиси кремния не только увеличивается, а даже несколько уменьшается. Проведенные расчеты молекулярных соотношении между оксидом кальция и двуокисью кремния в образующихся гидросиликатах указывают, что при введении в силикатную массу хлористого натрия в пределах оптимального содержания образующихся гидросиликатов практически остается неизменным. Данные табл. 4 и 5 показывают, что увеличение предела прочности образцов введенном в силикатную массу хлористого натрия в пределах оптимального содержания является не результатом увеличения скорости образующихся гидросиликатов кальция и изменения их состава. Теоретическая интерпретация механизма интенсификации твердения затруднена тем, что сам процесс автоклавного твердения является процессом сложным. Не исключена возможность того, что вводимые добавки хлористого натрия ускоряют процесс коллоидно-химического характера -- коагуляцию образующихся гидросиликатов кальция или переход их из гелеобразного состояния в кристаллическое.

Влияние на прочность образцов содержащих в силикатной массе хлоридов магния, кобальта, меди и бария

Если исходить из соображений, развиваемых С. Д. Маминским [1], о механизме интенсификации автоклавного твердения при введении в силикатную массу хлоридов натрия, то заранее можно утверждать, что хлориды активных металлов не должны интенсифицировать процесс автоклавного твердения. Для проверки этого предположения нами исследовано влияние на прочность образцов других хлоридов металлов -- хлоридов магния, кобальта, меди. Все эти добавки имели марку "чистые" для анализа.

Данные, приведенные в табл. 6, показывают, что все исследованные хлориды металлов при введении их в сырьевую смесь повышают прочность образцов, значительно отличаются по своей эффективности. Полученные данные показывают, что интенсифицирующее действие хлоридов в значительной степени зависит от природы катионов металлов, и для каждого хлорида металла характерно оптимальное содержание вводимой добавки, которому соответствует максимальная прочность образцов. Для всех исследованных хлоридов характерно то, что при введении их в силикатную массу в количестве, превышающем оптимальное содержание, прочность образцов значительно понижается. Полученные данные показывают, что способность интенсифицировать процессы автоклавного твердения известково-кремнеземистых материалов является не только специфическим свойством хлористого натрия, а является свойством присущим другим хлоридам металлов. Интенсификация



автоклавногo твердения хлоридами малоактивных металлов указывает на то, что это явление связано, по всей вероятности, с ускорением в системе коллоидно-химических процессов.

**Выводы**

1. Установлено, что ускорение процесса автоклавного твердения при введении в силикатную массу хлоридов натрия, обусловлено не увеличением скорости образования гидроксидов кальция, как предполагалось ранее.
2. Показано, что интенсификация процесса автоклавного твердения может быть вызвана введением в силикатную массу не только хлористого натрия, но и другими хлоридами металлов.
3. Высказано предположение о механизме интенсификации автоклавного твердения при введении в силикатную массу хлоридов металлов.

**Литература**

1. Будников Н. П., Матвеев М. А. и Юрчик С. П. ДАН том 81, вып. 2, стр. 255-258, 1951 г., ДАН СССР, том 84, вып. 1021-1024, 1952 г.  
 2. Житнякович В. Ф. Сборн. научн. работ, НИИ С. М. ИСМ, вып. 1, стр. 57-68, Минск, 1955 г.  
 3. Кошкин А. П. Применение хлорида натрия в производстве кирпича. М., Промстройиздат, 1951 г.  
 4. Крайневский С. А. Сборн. трудов РОСНИИМС, № 81, 106, 1951 г., № 4, стр. 115-116, 1955 г., № 5, стр. 125-138, 1953 г.  
 5. Будников Н. П. и Матвеев М. А. Журнал «Строительные материалы, изделия и конструкции», № 1, стр. 17-20, 1955 г.

Вопрос о стойкости и долговечности автоклавных изделий из смеси извести и песка в условиях эксплуатации под землей в водонасыщенном состоянии, а также при воздействии агрессивных вод изучен слабо. В связи с этим и был исследован силикатный кирпич, произведенный более 20 лет.

На территории силикатного завода (СК-3 Южгостроя Харьков (Основа)) были взяты 2 целых силикатных кирпича и 2 половинки. По сообщению мастера СК-3 тов. Пиченко, который работает на заводе со дня его основания, эти силикатные кирпичи были изготовлены в 1933 г. Кирпичи были извлечены с глубины 0,6 и 10 марта 1956 г. Первоначально свои виды кирпичи полностью не сохранили. Их поверхность так же, как и в изломе силикатная масса довольно однородная, имеются отдельные включения извести и глины (во всех образцах). Были выполнены химические и микроскопические исследования и физико-механические испытания кирпичей. Результаты испытаний приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав образцов (в %)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Сумма	SiO <sub>2</sub> растворимый	
1	5,52	85,10	1,92	6,72	0,23	следа	99,73	3,94
2	5,64	81,48	2,10	6,76	0,28	-	99,56	4,11
3	5,22	81,60	3,92	8,48	0,28	-	99,50	3,68
4	4,28	81,04	2,14	8,60	0,44	-	99,80	3,71

**И. П. РИВЛИН** кандидат технических наук, г. Харьков  
**Я. Г. БЕЛИК** кандидат технических наук, г. Харьков (Харьковский политехнический институт)  
 Примечание: пробы № 1 и № 2 относятся к кирпичу № 2, пробы № 3 и № 4 к кирпичу № 1. Кроме того, определялось содержание растворимого SiO<sub>2</sub> и количество CO<sub>2</sub> (см. значения п. п. п.) указывает на то, что почти полную карбонизацию извести. Количество растворимых кремнекислоты приблизительно отвечает обычному количеству ее в известково-песчаном кирпиче автоклавной обработки.

**К вопросу о стойкости силикатного кирпича в условиях естественной карбонизации под землей**

Вопрос о влиянии карбонизации на свойства силикатного кирпича и других изделий на основе извести, песка и глины имеет практическое значение с точки зрения долговечности этих изделий, в особенности в подземных сооружениях. Все ранее выполненные исследования в этой области относятся, главным образом, к изучению процесса карбонизации газообразной углекислотой известково-песчаного автоклавного кирпича.

Качественный анализ обнаружит присутствие в кирпиче свободной извести. Обработка фенолфталеином (проба свободную известь) излома кирпича № 1 дает центральную окрашенную область мажорного цвета с неодинаковой интенсивностью в центре ярче, по краям бледнее. Окрашенная область занимает примерно половину всей площади по сечению кирпича. Это указывает на то, что карбонизация затро-

на толькою аружные части кирпича и прошла до глубины 35 мм

Кирпич № 2 разломанный на 2 половинки, не имеет на поверхности и сома при действии фенолфталина какого окрашивания, что указывает на полное карбонизирование. С собою он имеет запах, свойственный вквашиванию.

Петрографическое исследование профиля, подготовленного из центра наивысшего содержания углекислого газа № 2 продлешетю свыше 22 см, не выявило возможности установить микроструктуру ввиду отсутствия достаточной контрастности в радиографическом состоянии. На микрофотографии не удается рассмотреть ввиду отсутствия контраста структуру базальным цементом связанного кварцевого зерна размером от 0,05 до 0,7 мм, средним размером 0,2-0,3 мкм. Вредка вглубь от поверхности отшлифованная и глянцеванная.

Как правило на свободной поверхности, примыкая к связке, кристаллы кварца примыкают к цементу, образуя взаимодельствующие тончайшие слои. В микрофотографии на камне в виде непосредственного контакта двух зерен является прилегающим звеном. Углекислый газ имеет изотропную форму меньше  $U_p$  кальция (1-187) и соответствует теплопроводности кислоты. У которого 1-16. В том случае, когда контакт имеет ширину 20-25 мкм, в нем на фоне трещинового геотермического процесса наблюдаются небольшие скопления кальция, обычно и собирающиеся из собою. В тех же случаях, когда межзерновые пространства имеют большие размеры, там же встречается с крупными сцеплениями участки с хорошо выраженным втаборщиванием, плотно примыкая к ним соседним зернам кварца, являясь их связующим звеном. Эти звенья поворачивают точку зрения В. П. Юнга на кальцита в процессах термического спикатного кирпича карбонизации известняк и гипоспикатата кальция. В тех же случаях, когда распределены в геотермическом пространстве межзерновое пространство кварца и являющиеся связкой. Мелкие зерна кварца как правило имеют более четко выраженную форму из продуктов действия большого количества воды кремневого кварца, внутри которого размещены небольшие скопления отделившиеся монолитные зерна кальцита, размером 4-5 мкм.

Зерна водистых шпатов, в частности микроклина, как и кварца имеют форму. Особенностью сочленения поперечного шпата со связкой является очень узкая перемычка (1-3 мкм) и более тесное примыкание кальцита шпатового в данном случае роль связки зона

зонита имеют форму достаточно тесные переход зонита в прилегающей кайме, что указывает на микроклин, состоящий из смеси флюидного состава образца, указывая на то, что образцы являются метаморфическими.

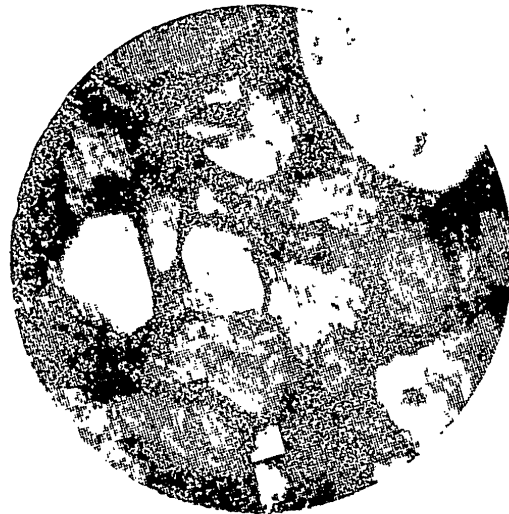


Рис. 1. Микрофотография образца № 2, полученная из центра наивысшего содержания углекислого газа. Видны зерна кварца, связанные цементным раствором. Показаны участки с хорошо выраженным втаборщиванием, плотно примыкая к ним соседним зернам кварца, являясь их связующим звеном.

Вследствие того, что в процессе карбонизации известняк и гипоспикатата кальция карбонизация известняк и гипоспикатата кальция в процессе термического спикатного кирпича карбонизации известняк и гипоспикатата кальция. В тех же случаях, когда распределены в геотермическом пространстве межзерновое пространство кварца и являющиеся связкой. Мелкие зерна кварца как правило имеют более четко выраженную форму из продуктов действия большого количества воды кремневого кварца, внутри которого размещены небольшие скопления отделившиеся монолитные зерна кальцита, размером 4-5 мкм. Зерна водистых шпатов, в частности микроклина, как и кварца имеют форму. Особенностью сочленения поперечного шпата со связкой является очень узкая перемычка (1-3 мкм) и более тесное примыкание кальцита шпатового в данном случае роль связки зона

Микрофотографии хорошо передают коррозию по-  
сторон части кварцевых зерен а также аморфизацию  
зерен заполнителя, которая привлекла к кайме  
действия  $\text{Ca(OH)}_2$  и др. веществ.

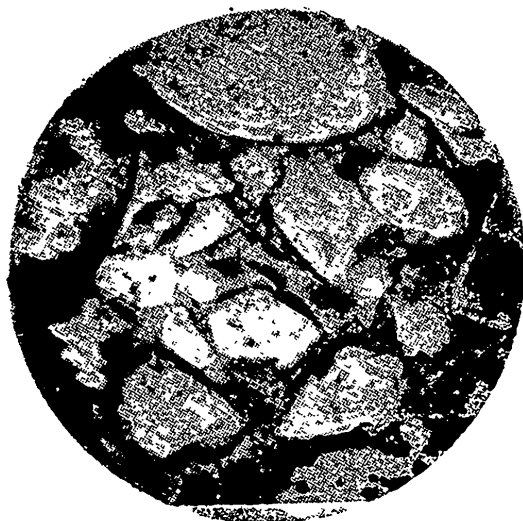


Рис. 2. Вид коррозии поверхности и каймы  
Вид коррозии зерен кварца в порах пространства  
серое мелкозернистое вещество, возникши в  
процессе пропитки цементно-песчаным раствором

При подготовке образцов кирпича к физико-ме-  
ским испытаниям оказалось, что испытываемые кирпичи  
до 1/3 не распадаются, тем самым. Кубики №  
5-5,5 см выдерживают в сухих местах, имеют  
прочности при сжатии кубик № 4 - 15 кг/см<sup>2</sup>, № 2 - 9  
(кирпич № 2), № 3 - 6 кг/см<sup>2</sup>, № 1 - 91 кг/см<sup>2</sup>  
кирпич № 1).

Водопоглощение из образцов кирпича № 2 оказа-  
ным 14,2% объёмный в. с. 18,2 г/см<sup>3</sup>.

Нам не известна из заводских документов прочность, к  
имели кирпичи до помещения их в грунт. Если бы  
что их первоначальную прочность составляла не  
100 кг/см<sup>2</sup> исходя из данных о качестве продукции  
в тридцатых годах, то кирпичи, пролежавшие в  
свыше 22 лет в почве, без всякой коррозии во  
среде действительно мороза и других атмосферных  
сохранили от 15 до 90% первоначальной прочности.

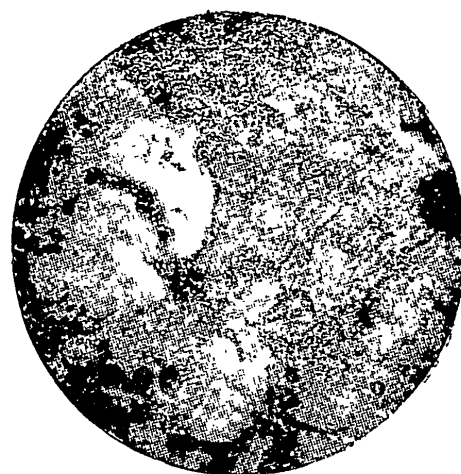


Рис. 3. Деталь микроструктуры силикатного кирпича  
гипалса 1973 г. Мелкозернистая структура, соотношение  
мелкозернистым к крупному кварцу, а также к зернам  
кварца порода № 1 с 200-х увеличении

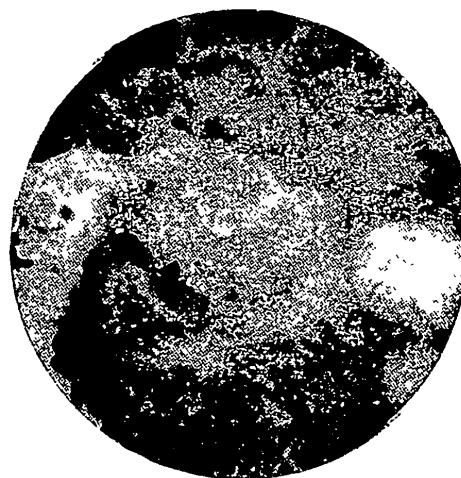


Рис. 4. Вид коррозии поверхности и каймы

Наблюдается интересная картина, это тот же кирпич  
в межзерновых пространствах, где много аморфизированного кварца  
заполнен и втрое больше, чем в сухих местах. Бывает морфи-  
зация поверхности, а также разрушение

### Выводы

1. В одних случаях происходит полная карбонизация цементного пара, в других — известняк и силикатного кирпича, в других — карбонизация. В настоящее время с помощью современных технологий используются ограниченные технологические приемы при пропаривании около половины объема кирпича.
2. Исследование микроструктуры кирпича по твердости бетонных и железобетонных изделий, в основном полной карбонизации, показало наличие двух типов естественного твердения и пропаривание в камерах при температуре от 100 °С.
3. Необходимо ставить перед собой задачу по созданию высококачественных быстротвердеющих цементов (старок 2500°, 600°), а также значительной продолжительности технологического цикла обработки изделий естественного твердения (28 дней, пропарка 20-40 часов).

### И. И. БОЖИЛОВ

Применение автоклавной обработки при производстве изделий из бетона и железобетона позволяет сократить цикл обработки с 28 до 10-15 дней при одновременном повышении качества изделия.

### Г. Ф. СУВОРОВА

Изучению поведения бетона при нагреве под давлением посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей: А. В. Сагакина (работы 1930 г.), А. В. Волженского (1941 г.), С. Л. Вольсона (1936-49 гг.), И. И. Божлова (1936-59 гг.), С. А. Миронова, М. Булга, Вика, Горькайсон, Кабулска, Хансена и др.

### Автоклавная обработка бетонов при высоких температурах пара

Известно, что при нагревании высушенных бетонных изделий происходит выделение пара, что приводит к образованию трещин. В настоящее время в строительстве используют бетонные изделия, прошедшие автоклавную обработку. Это позволяет сократить цикл обработки с 28 до 10-15 дней при одновременном повышении качества изделия.

Технология производства строительных изделий и изделий из бетона и железобетона, прошедших автоклавную обработку, позволяет использовать многообразные методы изготовления изделий, основанные на физико-химическом процессе отекания пара высоких температур, значительно активизирует процесс гидратации.

Основной задачей технологов является создание условий, чтобы достичь максимальной глубины гидратации цементных зерен и увеличить количество новообразования гидратов. С этой целью широко используются следующие способы:

- а) повышение температуры пара гидратации (различность температуры повышается до определенной предела 15-25 °С);
- б) вибрационные методы уплотнения бетонных масс (более тщательное уплотнение приводит к некоторому падению прочности бетона, особенно в глубине);
- в) вакуумирование и механические методы воздействия (вакуумирование приводит к физико-химическим методам воздействия (вакуумирование и вибрация).

В цементных изделиях, подвергнутых воздействию пара высоких температур, наблюдается увеличение количества гидратов, что приводит к увеличению прочности бетона. Одним из важных явлений работы было установление закономерности между продолжительностью пара, временем обработки изделия и его механической прочностью.

К последним относятся изделия, прошедшие автоклавную обработку при атмосферном давлении (1 атм) и 100 °С.

Давление, атм	Режим запарки, часы				Портландцемент						Нефелиновый цемент	
	подъем	выдержка	спуск	общий цикл	состав 1:3	состав 1:1	состав 1:1	состав 1:1	состав 1:3	состав 1:3		
20	1	0	4	5	105	88	102	142	144	116	70	
15	1	0	4	6	181	100	102	142	144	116	70	
12	2	0	4	6	155	83	102	142	144	116	70	
10	2	0	4	6	125	61	102	142	144	116	70	
5	2	0	4	6	70	39	102	142	144	116	70	

Увеличение давления требует уменьшения длительности запарки. Повышение давления в автоклавах до 15-25 атм при производстве строительных изделий со щает режим запаривания до 5-7 часов вместо 12-14 часов запарки при 8-атмосферном режиме.

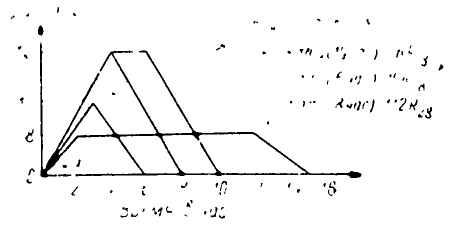


Рис. 1. Зависимость прочности цементных растворов (1:3) от режимов запаривания.

На рис. 1 показано, что изменение давления до 15-25 атм соответствует значительному повышению прочности растворов. Причем переход от стандартного режима (3-0-3) при 8 атм к «пиковым» режимам (3-0-3) при 15 атм и (4-0-4) при 25 атм, наряду с сокращением времени запаривания увеличивает прочностные показатели. Дальнейшие исследования были направлены на развитие проверки полученных результатов. Испытаниям подверглись образцы-кубы размером 7·7·7 см и 10·10·10 см, а также образцы-восьмерки для испытания на разрыв. Анализ полученных результатов (см данные табл. 1) позволяет установить, что при повышении давления пара в автоклаве до 20 атм можно получить 100% прочность (R<sub>сж</sub>) в сроки более короткие, чем при 8 атм. При «пиковом» режиме цикл обработки в автоклаве сокращается на несколько часов. При 2-х часовой выдержке под высоким давлением образцы показывали механическую прочность в 15 раз выше, чем при стандартном режиме запаривания при 8 атм. Длительная же запарка при 20 атм уже переходит в максимальный предел и приводит к некоторому снижению прочностных показателей. Автоклавная обработка растворов 1:3 на нефелиновом цементе показала, что прочность их выше прочности образ-

пов на порландцементе марки „100“ Это еще раз о положительном влиянии гипотермальной обра- малоактивные „белитовые“ вяжущие

процесс твердения бетона, взаимодействие вяжущих с за- дителями (песком и гравием) происходят более интен- зно В качестве конкретных данных, которые могут ужить обоснованием для использования пара высоких па- метров в промышленности при производстве крупных тонких изделий, являются следующие моменты

Роль режимов обработки паром повышенного давлени

Давление <i>ати</i>	Режим запарки в часах				Прочность бетонов в кг/см <sup>2</sup> при расходе цемента 200	
	потух	выдер- жка	спуск	общий цикл	жесткой консистенции	пластичной консистенции
Нормальное твердение				28 дн	210	190
8 <i>ати</i>	2	8	2	12	310	296
	1	8	2	11	260	224
12 <i>ати</i>	2	0	2	4	280	180
	2	0	1	6	256	144
	2	2	2	6	320	230
	2	2	6	10	275	210

1 Оптимальное давление пара в автоклавах зависит от минералогического состава вяжущего так цемента с высо- кой содержанием активных компонентов (C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>A) требуют повышения давления до 16 *ати* с резким сокращением ре- жима обработки, так как процесс твердения в подобных вяжущих значительно быстрее достигает стабильного со- стояния.

Вяжущие вещества типа белитовых цементов (с высо- кой содержанием C<sub>3</sub>S) доменные и маргеновские шлаки, ферритовые шламы, сланцевые золы и пр. требуют более интенсивной запарки (в пределах 16 - 25 *ати*) при усло- вии сокращенных режимов обработки

2 Во всех случаях использования пара высоких пара- метров (12 - 25 *ати*) сокращается общий технологический кл автоклавной обработки с 12 - 14 часов при 8 *ати* до - 8 часов, что в масштабах производства приведет к по- значенно производительности заводов за счет увеличения клов оборачиваемости автоклавов.

3 При интенсификации условий твердения возможно стичь экономии стоимости продукции за счет снижения тельности вяжущего путем введения молотого песка (20 - 40%).

Автоклавная обработка бетонов проводится в авто- подупромышленного типа, рассчитанном на 12 *ати* (40%).

Бетон испытывался 3-х составов по пластичности (крупно-, пластичный и лигой), на порландцементе марки с заведомо заниженным расходом цемента (200 кг) молотого песка как в ашотные, так и в белитовые целью выявления максимальной роли автоклавазации

Опытными данными (работы С. А. Миронова и Л. А. Ма- ринной, В. П. Кавалеровой) доказана возможность введе- ния молотого песка как в ашотные, так и в белитовые цементы.

Полученные результаты (см табл. 2) указыва- ют, что изменяя технологический цикл автоклавной работы (под ем, выдержка под давлением, спуск можно добиться получения изделий с необходимыми гельными свойствами.

4 Перспективность внедрения пара высоких параметров заключается в том, что автоклав в этом случае может служить универсальным аппаратом строительной промышлен- сти, позволяющим значительно расширить сырьевую базу я производства бетонных изделий за счет использования да промышленных отходов (шлаков, зол, нефелиновых амов и пр.).

При запарке бетонов при 12 *ати* была выявлен „пиковых“ и сокращенных режимов Повышение да- вания под давлением до 2-х часов без изменения постных характеристик

Приведенный в настоящей работе экспериментальный тернал убеждает в том, что автоклавный способ произ- дства при высоких давлениях позволяет решить такую кную задачу строительной промышленности, как сокра- щение сроков переня готовых бетонных изделий и вы- бождение большого количества высококачественного эт цемента путем использования низкокачественных вя- жущих

**З а к л ю ч е н и е**

Повышение давления водяного пара в автоклавах - 20 *ати* приводит к тому, что степень гидратации це-

**Н. А. ГОРОНОВ**  
действительный член АС и А СССР  
доктор технических наук, профессор  
**Х. С. НИКОГОСЯН**  
кандидат технических наук  
**А. И. БОЙКОВА**  
кандидат химических наук  
(Институт Химии Силика  
АН СССР)

**А. В. ВОЛЖЕНСКИЙ**  
действительный член АС и А СССР  
доктор технических наук, профессор  
(Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева)

**условиях образования и структуре цементирующих веществ в автоклавных материалах**

**Влияние исходного материала на фазовый состав гидросиликатов кальция, полученных при автоклавной обработке**

В качестве исходных материалов были использованы сталитический  $SiO_2$ , гель  $SiO_2$ , кварцевое стекло и гидросиликаты кальция. Соотношение  $CaO : SiO_2$  во всех образцах составляло 2 : 1.

Опыты проводились в автоклаве при температуре  $250^\circ C$  с различными выдержками (от нескольких часов до нескольких суток). Образцы помещались в автоклавный бак с водой ( $t : ж = 1 : 20$ ).

Изучение продуктов реакции проводилось рентгеновским (использовалась ионизационная методика), оптическим, термическим и химическим методами.

Было установлено, что фазовый состав гидросиликатов кальция, полученных из кристаллического  $SiO_2$  и аморфного (гель и кварцевое стекло)  $SiO_2$  в значительной степени отличен несмотря на одни и те же условия опыта. Наблюдается сходство фазового состава гидросиликатов кальция, полученных из геля  $SiO_2$  и кварцевого стекла. Кристаллооптический метод позволил наблюдать переход одного гидрата в другой при более высокой температуре ( $250^\circ C$ ) способствует быстрому достижению равновесия реакции и позволяет избежать образования некоторых промежуточных фаз ( $\alpha$ -мер,  $\alpha$ -гидрата), отрицательно влияющих на прочность силикатных изделий.

Обширные теоретические и научно-технические исследования в области автоклавных материалов, проведенные в СССР, привели к установлению основных закономерностей, имеющих место при автоклавной обработке паром, аспирально сырьевой базы и к созданию новых методов и устройств обширной номенклатуры материалов, изделий и установок.

При наших исследованиях, проведенных ранее [1], обработка изделий водяным паром должна была протекать при значительном присутствии воды в капельно-жидком состоянии, что позволило назвать этот метод "двотермическим" методом.

В жидком состоянии обычно вводится в изделие жидкой воды в материале в условиях повышенных и средних температур. При отсутствии пара под давлением атмосферного, при температурах выше  $100^\circ C$ , происходит немедленное испарение воды, высыхание материала.

При наименьших температурах термообработки, обычно начинающихся  $170 - 200^\circ C$ , максимальное развитие полужидких растворов гидрата окиси кальция в их порах создается особенно благоприятные условия для взаимодействия кремнезема с гидратом окиси кальция.

Последний, распадаясь в воде на ионы кальция и  $OH^-$ , оказывает существенное влияние на кристаллическую структуру гидрата окиси кальция в водной среде. Естественно при этом происходит образование гидроксильными ионами, которые способствуют его гидратации и тем самым подготавливают к реакции с ионами кальция в водной среде. Естественно при этом, что чем выше температура термообработки, тем большая удельная поверхность частичек взаимодействующих веществ, следовательно, тем выше скорость их растворения в воде (при прочих равных условиях) и, наконец, тем быстрее разложима использованная модификация кремнезема.

Теснее соприкасаются исходные компоненты, тем скорее

нее протекают процессы взаимодействия и возникновения особое значение приобретают вопросы, связанные с цементацией новообразованиями зростью растворения и растворимостью указанных веществ.

Подчеркивая значение реакций образования цемента, наших работах на основании сопоставления растворяемости гидросиликатов или других соединений в водной среде, хочется обратить внимание на факторы, способствующие окислу кальция и кварца а также из рассмотрения ускорению процессов твердения рассматриваемых образцов запаренных изделий отмечается преимущество. В связи с этим отмечается необходимость тесного контакта новообразования в виде каемок на реагирующих материалах. Кажется бы при реакциях хлористых твердых частичек. Подобное размещение в среде это не столь обязательно, однако относительных веществ, несомненно отражается на технической растворимости гидроокиси кальция и кварца в растворах изделий и зависит не только от соотношения и большее количество раствора в системе требуют единицы в растворимости гидроокиси кальция и кварца, то в возможном пределах их продолжения температурах термообработки, но и от скорости их в среде до встречи друг с другом и образования зреня, а также скорости диффузии в воде растворяющихся веществ. Кроме того не надо забывать и факторы в некоторых других факторов что в условиях кратковременной обработки материала с тем Ю. М. Булга и Л. Н. Рашкович [3] в поавлоктавах необходимо в короткий срок выработать и своей работе, базируясь на наших положениях, те же количество цементующих веществ, а следовательно возникновение новообразования в водной среде, всех частичек в стальной монолит. Естественно придет к следующему заключению: «Если уже условно компактные будут уложены все частички и сформировать из того, что реакция осуществляется на поверхности изделия, тем скорее будет достигнут заданный, а она в большей степени должна была бы идти на твердения» при минимальном количестве новообразованности менее растворимого компонента, т. е. известня. Особого рассмотрения заслуживает вопрос о влиянии (3) К этому выводу их привело сопоставление рашковича и структуры и тонки новообразования между каемками гидроокиси кальция и кремнезема в воде при разных поверхностями склеиваемых частичек на тех же свойства изделия. С твердостью можно сказать, что новым данным Квинси растворимость кварца при качества и, в частности прочностные изделия представляет 0,07 и при 200 0,24 г/л. Растворимость образование наиболее тонких пленок между твердыми каемками, как известно при 150 равна 0,17 и при цевыми частичками образующими прочный скелет 0,08 г/л. Однако Ю. М. Булга и Л. Н. Рашкович в целом. Утолщение пленок с некоторого момента и другие факторы в кинетике образования гидросиликатов обработки сверх определенного максимума, только скажется что привело их к такому выводу о преобладающих технических свойствах изделия. Вместе с тем образуются в основном влиянии пониженной растворимости цементующих пленок на слабых частицах, а заполнение кальция на скорость образования цементующих (например, какого-либо заменителя кварца) только еще при 175-200. Сопоставления Ю. М. Булга и давать «микробетон» с пониженными физико-химич Рашковича противоречат и данным Н. В. Петровых показателями.

Незначительная растворимость гидроокиси кальция в растворах известково-кварцевых смесей в процессе паривания отметил резкое ее падение «в момент мому, Н. А. Хинзу [2] повод к тому, чтобы считать «известня свободно известня» (стр. 4). Кажется бы при между гидроксидом кальция и кремнеземом, в условиях времени, при высоких температурах, электроавт. кавной обработки, твердофазовыми реакциями только увеличивается вследствие значительными Н. А. Хинзу опровергается отрицательными растворения кремнезема до концентрации, превосходящими опытов, проведенных нами еще 1930-32 гг. концентрацию гидроокиси кальция в растворе. Этот париванию» высушенных известково-песчаных смесей отмечает уменьшение скорости реакции же по термообработке их перегретым паром. В присутствии окиси кальция и кремнеземом вследствие время это обстоятельство еще раз подтверждено Ю. М. Булга и Л. Н. Рашковичем [3] что с течением времени поверхность зерен песка закрывается пленкой гидросиликата кальция, которая изолирует их от раствора.

При изложенном выше понимании процессов взаимодействия реагирующих компонентов и затрудняет их доступ к поверхности гидроксидов кальция и кварца в условиях автопаривания»



Как известно, гидросиликаты кальция вначале образуются в коллоидальном состоянии, но при наличии водной фазы и в условиях высокой температуры с течением времени переходят в мелкокристаллические образования. Надо отметить, что к концу запаривания гидросиликаты кальция в зависимости от возраста, будут иметь различную структуру: образовавшиеся в начале запаривания успеют до некоторой степени перекристаллизоваться, получившие в последние стадии запаривания должны еще находиться в виде коллоидов.

Более 50 лет тому назад Пешель и другие исследователи обнаружили, что при запаривании гидросиликатов кальция прочность последних вначале возрастает, достигая некоторого максимума, а затем начинает снижаться. В качестве причины подобного явления иногда высказывались гипотезы. Действие одной же причиной прекращения роста прочности, но и падения ее по мере увеличения времени, следует считать структурные изменения, происходящие в пленках новообразований. Постепенно на поверхности запаривания, как уже отмечалось, постепенно ретрагируют мелкокристаллическую и затем крупнокристаллическую структуру, что обуславливает снижение площади фактов между частицами. Правильность этих

суждений еще в 1932 г. см. «Строительные материалы», 1932 г.) в известной мере подтверждается данными учеными при определении абсолютной удельной поверхности материалов, подвергшихся различным температурам и длительности термической обработки (см. табл. 1). Они тверждают также процесс скачкообразного повышения прочности гидросиликатов кальция, а следовательно, и увеличение соответствия максимуму удельной поверхности полученные в совместной работе

И. В. Слюсовым, открывают перспективные возможности структуры пористых веществ на различных свойствах и условиях эксплуатации.

**Литература**

1. Боксеевский А. В. «Известия вузов», серия «Строительные материалы», № 11, 1960 г. Он же. «Техническая мысль при запаривании гидросиликатов строительных материалов», № 7, 1932 г.
2. Хилл Н. А. «Некоторые вопросы контроля качества изделий гидросиликатов», «Техническая мысль», Ленинград, 1958 г.
3. Баттл Ю. М. и Ратковский Л. Н. «О характере процессов, происходящих при запаривании гидросиликатов строительных материалов», № 12, 1958 г.

Табл. 1. Изменение абсолютной удельной поверхности в зависимости от длительности запаривания и величины давления при запаривании образцов размером 2х2х2 см изготовленных из теста.

Вид вяжущего	Величина давления при запаривании, атм	Длительность запаривания, час	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Абсолютная удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Пр
Отвалыный доменный шлак Магнитогорского завода с 5% гидрата окиси кальция	16	1	117	9,2	Не вышло
	16	16	832	20,0	
Отвалыный доменный шлак Липецкого завода с 5% гидрата окиси кальция	2	8	78	12,5	:
	8	8	110	23,8	
	16	8	496	26,4	
	10	16	305	20,1	
Цемент Белгородского завода	16	1	256	9,8	:
	16	16	306	18,1	
	16	30	234	17,3	
				16,8	

Ю. М. БУТТ  
 доктор технических наук, профессор  
 О. Н. ГРАЧЕВА  
 кандидат технических наук  
 Л. П. РАШКОВИЧ  
 кандидат технических наук  
 А. А. МАЙЕР  
 кандидат технических наук  
 Д. М. ХИКИР  
 кандидат технических наук  
 ИРИНСКИЙ ЦИМЛЕНТ  
 ГОСЦЕМСТРОЙ

**Технические свойства синтетических индивидуальных гидросиликатов кальция**

В 1958 году сотрудниками ЦСБД-Орбл. филиалов Физико-химического института имени Л. В. Пастера «Синтезит» и филиала ИИИИ «Синтезит» в г. Орбл. ЦСБД-Орбл. проведена работа по исследованию физико-химических свойств синтетических гидросиликатов кальция.

Работа дала возможность получить ряд констант и характеристик этих гидросиликатов, опираясь на которые получаем возможность проводить фазовый анализ слоистых силикатных систем.

Однако для сознательного управления процессами гидратации с целью получения материалов с определенными свойствами, необходимо знание не только физико-химических, но и ряда технических свойств индивидуальных гидросиликатов кальция, которые являются основным связующим материалом цементных, цементно-песчаных и известково-песчаных воздушных и водонепроницаемых гидротермального отверждения.

Для изучения технических свойств и необходимо научиться получать чистые индивидуальные гидросиликаты кальция в виде плотных образцов-призм или кубов. Трудность заключалась в том, что реакция образования гидросиликатов кальция из исходных компонентов протекает в этих условиях значительно медленнее, чем в суспензии.

В результате многочисленных экспериментов были подобраны условия синтеза и синтезированы в гидротермальных условиях в виде практически однофазных образцов-призм размером 1-1,3 см и кубов с длиной ребра 1,1 см — следующие гидросиликаты кальция из шестигранных — гидросиликаты кальция (C<sub>2</sub>SH(B)), тоберморит (C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>H), каоцит (C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub>), из двухосновных гидросиликатов — C<sub>2</sub>SH(A) и C<sub>2</sub>SH(C), и трехосновных гидросиликатов C<sub>3</sub>SH.

Для всех образцов были определены пределы прочности при сжатии или изгибе, объемный вес и открытая пористость.

Данные этих испытаний приводятся в табл. 1.

Физико-механические свойства гидросиликатов кальция

№	Наименование	Условия синтеза		R <sub>сж</sub> , кг/см <sup>2</sup>	R <sub>изг</sub> , кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>
		t, °C	время, сутки			
1	C <sub>2</sub> SH(B)	175	1	2,0	2	1,19
2	Тоберморит	200	5	—	30	1,06
3	Каоцит	250	7	122	71	1,01
4	C <sub>2</sub> SH(A)	200	1	2,5	1,5	0,87
5	C <sub>2</sub> SH(C)	300	10	11	21	0,98
6	C <sub>3</sub> SH	300	20	142	100	1,11

Как видно из таблицы все гидросиликаты получают в виде пористых образцов (пористость колеблется в пределах 50-60%, не считая C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub>).

Прочность образцов колеблется в гораздо более широких пределах. Наиболее прочными оказались двухосновные гидросиликаты C<sub>2</sub>SH(A) и C<sub>2</sub>SH(C).

Двухосновные гидросиликаты оказались гораздо прочнее (что ранее уже нами отмечалось). Наиболее прочным при сжатии имеет гидросиликат C<sub>2</sub>SH(B) (при изгибе — каоцит). Гидросиликат C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub> стоит несколько в стороне, так как он получен не из CaO и SiO<sub>2</sub>, как другие, а гидратацией алмаза в виде образцов меньшей пористости (410°). По прочности при изгибе он превосходит все остальные гидросиликаты по прочности при сжатии исключая C<sub>2</sub>SH(B).

Абсолютные значения прочностей могут от синтеза к синтезу несколько изменяться, однако указанное соотношение между прочностями различных гидросиликатов, как правило, сохраняется.

Изучение микроструктуры индивидуальных гидросиликатов синтезированных в суспензии, показало, что двухосновные гидросиликаты и C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub> состоят из крупных кристаллов, хорошо видимых под оптическим микроскопом. Двухосновные гидросиликаты (за исключением каоцита) при синтезе в суспензии кристаллизуются в виде отдельных кристаллов с различной формой. Под оптическим микроскопом или просматривающихся в виде темных пятен можно изучать лишь с помощью электронного микроскопа.

Указанная аномальность сохраняется и при синтезе образцов с той лишь разницей, что размер кристаллов в этом случае уменьшается, что особенно заметно для двухосновных гидросиликатов.

В связи с этим более высокую прочность образцов из двухосновных гидросиликатов можно объяснить тем, что гидротермический росток, образующийся в результате синтеза, имеет форму кристаллов, при большем числе контактов (длинных, является более прочным, чем при образовании таких кристаллов, например, C<sub>2</sub>SH(A), лучки которых при сжатии сминаются (рис. 1).

Таким образом, с точки зрения прочности на изгиб, в порядке убывания прочности их можно расположить так: C<sub>2</sub>SH(A) и C<sub>2</sub>SH(C) — двухосновных гидросиликатов, каоцит, тоберморит, C<sub>2</sub>SH(B) — гидросиликатов.

Число существующих фаз зависит от соотношения строения микроструктуры образцов и их пористости. На нее влияют различные факторы: одним из которых является состав (характер) связующей фазы в материале. В связи с этим нами вначале были синтезированы образцы из гидросиликатов.

тов кальция в процессе их хранения на воздухе, а в атмосфере влажного углекислого газа. Контроль за состоянием образцов осуществляется также путем определения скорости распространения звуковых волн в образцах.

Оказалось, что различные гидроксида кальция в атмосфере влажного углекислого газа. Объемный вес всех гидроксидов повышается, пористость снижается. В процессе хранения образцов прочность образцов изменяется по-разному.

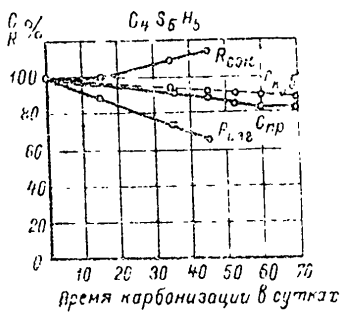
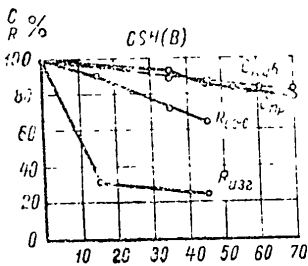


Рис. 1. Изменение прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) и растяжении ( $R_{изг}$ ) а также скорости ультразвука ( $C_{изл}$  и  $C_{сж}$ ) в кубках и призмах низковоосновных гидроксидов в процессе карбонизации.

поверхности карбонизации гидроксидов. Однако, что при взаимодействии с углекислым газом стальники низкоосновных гидроксидов разру-

шаются в кубках и аморфный  $SiO_2 \cdot nH_2O$ . При карбонизации же двухосновных гидроксидов происходит образование кальцита и аморфного  $SiO_2 \cdot nH_2O$  с нарушением формы первичных кристаллов. По-видимому, это обстоятельство благоприятно сказывается на прочности образцов двухосновных гидроксидов при карбонизации.

Нами исследовалась также сравнительная морозостойкость образцов из различных видов основных гидроксидов кальция. Морозостойкость всех гидроксидов оказалась низкой.

Ряд исследований связывает морозостойкость пористых изделий с величиной коэффициента насыщения  $K_n$ , который представляет собой отношение водопоглощения, определенного при атмосферном давлении к водопоглощению материала, определенному в условиях принудительного водонасыщения (под давлением, в вакууме). Этот коэффициент характеризует объем пор, не заполняемый водой в случае насыщения их при атмосферном давлении. Эта часть пористости может быть заполнена водой (или льдом) под влиянием возникающего при замерзании воды в порах давления и является как бы запасом хранительным для воды, освещенным условиям расширения воды во время замерзания, без возникновения опасных напряжений в материале.

К<sub>н</sub>, определенный нами для образцов основных гидроксидов, был очень близок к 1.0 и годился в пределах 0,97 - 0,99. Это говорит о том, что практически весь

объем пор образцов заполнен водой. Это обстоятельство благоприятно сказывается на морозостойкости образцов. Однако, что при взаимодействии с углекислым газом стальники низкоосновных гидроксидов разру-

шаются в кубках и аморфный  $SiO_2 \cdot nH_2O$ . При карбонизации же двухосновных гидроксидов происходит образование кальцита и аморфного  $SiO_2 \cdot nH_2O$  с нарушением формы первичных кристаллов. По-видимому, это обстоятельство благоприятно сказывается на прочности образцов двухосновных гидроксидов при карбонизации.

Нами исследовалась также сравнительная морозостойкость образцов из различных видов основных гидроксидов кальция. Морозостойкость всех гидроксидов оказалась низкой.

Ряд исследований связывает морозостойкость пористых изделий с величиной коэффициента насыщения  $K_n$ , который представляет собой отношение водопоглощения, определенного при атмосферном давлении к водопоглощению материала, определенному в условиях принудительного водонасыщения (под давлением, в вакууме). Этот коэффициент характеризует объем пор, не заполняемый водой в случае насыщения их при атмосферном давлении. Эта часть пористости может быть заполнена водой (или льдом) под влиянием возникающего при замерзании воды в порах давления и является как бы запасом хранительным для воды, освещенным условиям расширения воды во время замерзания, без возникновения опасных напряжений в материале.

К<sub>н</sub>, определенный нами для образцов основных гидроксидов, был очень близок к 1.0 и годился в пределах 0,97 - 0,99. Это говорит о том, что практически весь

объем пор образцов заполнен водой. Это обстоятельство благоприятно сказывается на морозостойкости образцов. Однако, что при взаимодействии с углекислым газом стальники низкоосновных гидроксидов разру-

шаются в кубках и аморфный  $SiO_2 \cdot nH_2O$ . При карбонизации же двухосновных гидроксидов происходит образование кальцита и аморфного  $SiO_2 \cdot nH_2O$  с нарушением формы первичных кристаллов. По-видимому, это обстоятельство благоприятно сказывается на прочности образцов двухосновных гидроксидов при карбонизации.

Нами исследовалась также сравнительная морозостойкость образцов из различных видов основных гидроксидов кальция. Морозостойкость всех гидроксидов оказалась низкой.

Ряд исследований связывает морозостойкость пористых изделий с величиной коэффициента насыщения  $K_n$ , который представляет собой отношение водопоглощения, определенного при атмосферном давлении к водопоглощению материала, определенному в условиях принудительного водонасыщения (под давлением, в вакууме). Этот коэффициент характеризует объем пор, не заполняемый водой в случае насыщения их при атмосферном давлении. Эта часть пористости может быть заполнена водой (или льдом) под влиянием возникающего при замерзании воды в порах давления и является как бы запасом хранительным для воды, освещенным условиям расширения воды во время замерзания, без возникновения опасных напряжений в материале.

объем пор заполняется водой при простом погружении образцов в воду, и «предохранительный клапан» в них отсутствует. Возможно, это является одной из причин низкой морозостойкости образцов индивидуальных гидросиликатов кальция.

Наибольшую относительную способность сопротивляться морозной агрессии показали образцы из кеонотлита.

### Выводы

1. Получены некоторые сравнительные данные о механических свойствах индивидуальных гидросиликатов различной прочности, зависимости прочности от микроструктуры, морозостойкости и стойкости в условиях карбонизации, стойкости.

2. Низкоосновные гидросиликаты кальция —  $C_2SH$  (берморит и кеонотлит) — превосходят по прочности основные гидросиликаты  $C_3SH(A)$  и  $C_2SH(C)$ . С этой целью в присутствии двухосновных гидросиликатов в автоклавных строительных материалах нежелательно.

3. Взаимодействие с влажным углекислым газом основных гидросиликатов кальция  $C_2SH(A)$  и  $C_2SH(C)$  происходит без нарушения формы их кристаллов и приводит к повышению прочности. При взаимодействии с углекислотой низкоосновных гидросиликатов кристаллы разрушаются и прочность образцов снижается. Можно ожидать, что воздухостойкость низкоосновных гидросиликатов кальция окажется ниже воздухостойкости двухосновных гидросиликатов.

4. Среди низкоосновных гидросиликатов кальция большей морозостойкостью обладает кеонотлит. Для новых гидросиликатов четких результатов получить удалось, ввиду их слишком небольшой исходной прочности.

роалюминатов кальция, составляющих основную массу цементного камня.

Настоящая работа была проведена с целью определения влияния различных условий твердения на изменение состава азучиющихся гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Об изменении фазового состава продуктов затвердевания, действии различных условий твердения мы судили по данным дифференциального термического анализа, микроскопического и электронномикроскопического исследования и механической прочности затвердевших образцов.

Трехкальциевый силикат. Гидратация  $C_3S$  начинается через несколько минут после затворения водой. Первоначально продукты гидратации выделяются в коллоидной степени дисперсности и располагаются вокруг негидратованных частиц в виде кольца с убывающей от центра плотностью.

Кристаллические гидросиликаты имеют форму ромбических и прямоугольных пластинок и начинают появляться только через 3 суток, при этом размер их достигает до 1 м. С возрастом наблюдается увеличение количества и размеров кристаллов. Сферолиты и игольчатые кристаллы, образующиеся при исследовании трехкальциевого силиката в водной суспензии не являются равновесной формой кристаллов гидрата окиси кальция и гидросиликатов кальция. Они являются вторичными образованиями продуктов гидротворения гидросиликатов кальция и извести, образующихся в процессе приготовления или просмотра препарата в электронномикроскопе.

На основании термических исследований (рис. 1, кривые 1, 2) видно, что при гидратации  $C_3S$  во влажном пространстве образуются в основном  $C_2SH_2$ , известь и в незначительных количествах гидросиликат  $CSH$ .

Состав и физико-химическая структура продуктов гидратации  $C_3S$  изменяется в зависимости от условий твердения и пропаривания при нормальном давлении, ускоряет кристаллизацию, что приводит к повышению прочности (табл. 1) и твердению  $C_3S$  в процессе запаривания образуются  $\alpha$ - и  $\beta$ -гидраты  $C_2SH_2$ , известь и в небольших количествах берморит и афвиллит (рис. 1, кривые 3, 4). Причем с увеличением продолжительности запаривания количество гидрата  $C_2SH_2$  возрастает. Значительный интерес представляют проведенные электронномикроскопические исследования  $C_3S$ , подвергнутого запариванию при 7 атм разное время. Так, после 7-часового запаривания  $C_3S$  в водной суспензии просматривается в виде сферолитов и игольчатых кристаллов различных размеров, а также сочетания их. В спиртовой суспензии видны ромбические и прямоугольные пластинки размером около 0,1 м. С увеличением

В. А. ТИХОНОВ  
Л. Г. ШПЫНОВА  
(Львовский политехнический институт)

### Влияние тепловлажностной обработки на изменение фазового состава портландцемента

Введение. Изменяя фазовый состав, а следовательно и структуру цементного камня, можно в весьма широких пределах изменять механическую прочность, деформативность и набухания, истираемость и многие другие свойства искусственного камня. Под изменением фазового состава надо подразумевать изменение состава гидросиликатов

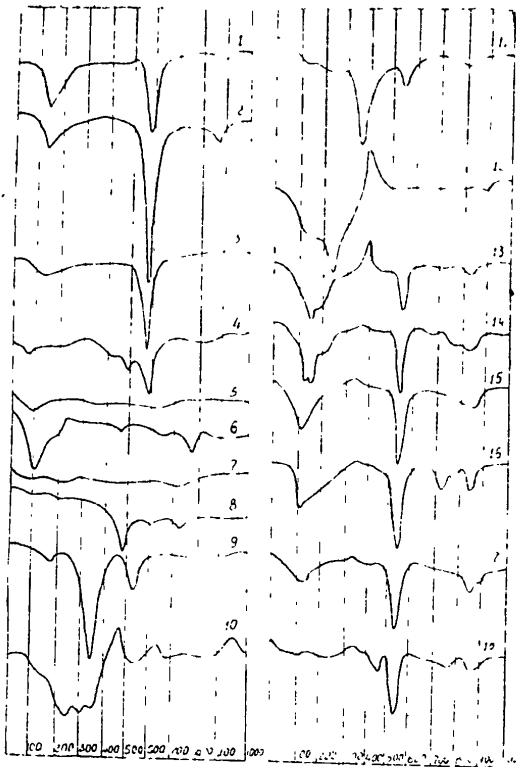


Рис. 1. Дифференциальные кривые нагревания  
 1 - гидратированного 1 сутки,  
 2 - полностью гидратированного,  
 3 - запаренного при 7 атм 7 часов;  
 4 - то же 35 часов,  
 5 - гидратированного 28 суток,  
 6 - полностью гидратированного во влажном пространстве,  
 7 - запаренного при 7 атм 7 часов,  
 8 - то же 50 часов;  
 9 - гидратированного 1 сутки;  
 10 - то же, с отведением тепла гидратации;  
 11 - гидратированного 1 сутки,  
 12 - то же, с отведением тепла гидратации;  
 13 - поргладимента Николаевск, 3-га, гидратирован в воде;  
 14 - то же, полностью гидратированного во влажном пространстве;  
 15 - то же, пропаренного при нормальном давлении в течение 3 часов;  
 16 - то же, полностью гидратированного пропариванием;  
 17 - то же, запаренного при 7 атм 7 часов;  
 18 - то же, полностью гидратированного при 7 атм.

Таблица 1

Влияние условий твердения на предел прочности при сжатии клинкерных минералов (кубики 1,41×1,41×1,41 см из теста 1 0)

цемент	Условия твердения	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>						
		1 день	3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	1 год
кальцево-алюминатный	Во влажном пространстве	137	300	375	150	525	800	850
	В воде	-	-	-	625	654	700	800
	Пропаривание с дальнейшим твердением во влажном пространстве	-	100 <sup>4</sup>	425	521	850	-	-
	Запаривание с дальнейшим твердением во влажном пространстве	-	150	425	163	175	550	600
кальцево-силикатный	Во влажном пространстве	-	12	30	137	650	800	937
	В воде	-	-	-	153	825	836	-
	Пропаривание	-	42	48	175	825	-	-
	Запаривание	-	61	75	261	1000	-	-
кальцево-силикатный	Во влажном пространстве	6	6	6	13	21	30	33
	В воде	-	-	3	6	6	10	12
	Пропаривание	-	16	9	14	20	30	25
	Запаривание	-	13	13	10	18	21	23
трекшевый	Во влажном пространстве	325	650	600	675	675	700	750
	В воде	-	-	-	630	725	720	725
	Пропаривание	-	654	750	800	750	675	700
	Запаривание	-	612	725	800	725	750	750

нация.

Длительности запаривания чувствительность гидросилатов к дисперсионной среде суспензии понижается. Так, после 21 часа запаривания в водной суспензии одновременно сферолитами и шпильчатыми кристаллами просматриваются ромбические и прямоугольные пластинки. В спиртовой суспензии наблюдаются пластинки размером около 0,6 мк и тонкодисперсная полупрозрачная масса. С увеличением продолжительности запаривания до 35 часов, как в водной, так и в спиртовой суспензиях, в основном наблюдаются прямоугольные пластинки размером 5-6 мк. Количество же ромбических пластинок резко ратилося.

Кроме пластинок гидросиликата кальция, наблюдаются гидроокиси алюминия (кривая 10), а  $C_3A$  является полупрозрачные гексагональные пластинки гидрата тротвердеющим высокопрочным клинкерным минералом кальция. Сопоставляя термические и электрооптические исследования, можно отметить, что в четырехкальциевый алюмоферрит. Гидратация гидротермальной обработки образуются  $C_2S$  и  $C_3S$  начинается через несколько минут после затворения раствора, в различной степени подверженные гидродействию, при этом (за счет тепла гидратации) наблюдается в больших объемах воды, т. е. состав продуктов гидратации изменяется не только от температуры среды, но и от продолжительности ее воздействия. Основным продуктом гидратации являются кубические кристаллы и коллоидная масса.

Двухкальциевый силикат. Гидратация  $C_2S$  происходит только через 4 часа после затворения водой. Присутствует, согласно данным Н. А. Торопова, о внедрении гидратации  $C_2S$  протекает аналогично  $C_3S$  с образованием решетки  $C_2AH_4$  некоторого количества железа. Таким же гидросиликатом, первые кристаллы которых наблюдаются в 7-дневном возрасте. Нарастание прочности происходит только в первые сроки твердения для  $C_2S$  быстрее, чем для  $C_3S$ . Объясняется это различной скоростью гидратации, а также и кристаллизации новообразований (табл. 1). Гидротермальная обработка даже при повышенном давлении, почти не оказывает влияния на состав и структуру  $C_2S$  даже превышает таковую для  $C_3S$ . Продукты гидратации  $C_4AF$ , в то время как понижение температуры коренным образом изменяет их. Основным продуктом гидратации  $C_4AF$  при отведении тепла его гидратации являются гексагональные гидроалюминаты и коллоидная масса гидроокиси алюминия и гидроферрита кальция.

Гидротермальная обработка при 7 атм изменяет структуру продуктов гидратации  $C_2S$  (рис. 1, кривые 1 и 2). При этом образуются  $\alpha$ -гидрат  $C_2SH_2$  и в незначительных количествах  $\beta$ - и  $\gamma$ -гидраты  $C_2SH_2$ ,  $CSH$  и известковая масса гидроокиси алюминия и гидроферрита кальция (кривая 11).  $C_4AF$ , гидратированный в тесте, является быстротвердеющим высокопрочным клинкерным минералом (табл. 1). Гидротермальная обработка даже при повышенном давлении, почти не оказывает влияния на состав и структуру продуктов гидратации  $C_4AF$ , в то время как понижение температуры коренным образом изменяет их. Основным продуктом гидратации  $C_4AF$  при отведении тепла его гидратации являются гексагональные гидроалюминаты и коллоидная масса гидроокиси алюминия и гидроферрита кальция (кривая 12). Прочность  $C_4AF$  при отведении тепла гидратации резко уменьшается. В процессе проведения электрооптических исследований выяснено, что сферолиты, рассматриваемые исследователями, как одна из форм кристаллов гидроалюминатов кальция, наблюдаются только при оттовлении препаратов  $C_3A$  и  $C_4AF$  в водной суспензии.

Гидросиликаты, образовавшиеся при гидратации  $C_3S$  менее подвержены гидролизу в воде, чем образовавшиеся из  $C_2S$ .

Таблица 2

Минералогический состав и результаты механических испытаний цементов (согласно ГОСТ 310—41)

Пробные образцы	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	$CaSO_4$	$C_2H_2O_4$	През прочности гребенчатых образцов, кг/см <sup>2</sup>					
							при сжатии			при растяжении		
							3 дня	7 дней	28 дней	3 дня	7 дней	28 дней
Котельского	15,5	55,6	9,5	9,0	5,0	93,2	200	312	388	15	22	31
Маторского	40	32,3	15,5	6,0	3,1	96,9	175	213	320	10	16	25
Поровского	54	25,6	6,7	1,25	4,6	92,15	120	160	254	13	18	21

Портландцемент. После рассмотрения влияния условий твердения на состав и структуру основных минералов представляет интерес выяснение действия на полиминеральные цементы.

Дифференциальные кривые нагревания портландцемента Николаевского завода, гидратированного в различных условиях приведены на рис. 1 (термограммы 13-18).

Термограмма 13 портландцемента Николаевского завода, гидратированного в воде в течение 3-х суток, три ясно выраженных эндотермических и один экзотермический эффекты.

Эндозффекты с минимумами при 120, 550 и 830° являются характерными для  $C_3S$ , гидратированного в влажном пространстве (кривая 1). На них накладываются небольшие эндозффекты при 150-250°, характерные гексагональных гидроалюминатов кальция. Наличие последних подтверждается также экзотермическим эффектом 300-420°, который отвечает кристаллизации геля гидроалюмината. (Возможно, что указанные эндозффекты могут быть отнесены к разложению гидросульфата кальция). Эндозффект при 800-850° объясняется карбонизацией препарата.

С возрастом эндозффекты продуктов гидратации кальция увеличиваются, в то время как экзотермический эффект при 360° постепенно уменьшается, а совсем исчезает. Указанное явление, очевидно, можно объяснить взаимодействием геля гидроокиси алюминия с гидратом окиси кальция и другими новообразованными

Термограмма 15 имеет ясно выраженные эндозффекты гидросиликатов кальция, гидрата окиси кальция и гидратированного кубического гидроалюмината кальция.

На термограмме 16 того же препарата, полностью гидратированного пропариванием, кроме гидросиликата кальция ( $CSH$  (эффект при 60-350°), кубического  $C_3AH_6$  (эффект при 350-400°),  $\alpha$ -гидрата  $C_2SH$  (450-540°) и  $Ca(OH)_2$ , который частично перешел в  $CaCO_3$ , появились новые эндозффекты при 730 и 770°, которые могут свидетельствовать о взаимодействии между собой клинкерных минералов в продолжительном пропаривании.

Термограмма 17 портландцемента запареного 7 ами 7 часов и термограмма 18 того же препарата, полностью гидратированного при 7 ами, имеют характерные для силикатов кальция, гидратированных в ответствующих условиях. Эффекты гидроалюминатов отсутствуют, что может свидетельствовать о взаимодействии их с силикатами.

Таким образом, в процессе твердения цемента в условиях комнатных температур в первые сроки не наблюдается взаимодействия между клинкерными минералами. Последнее возможно при длительном твердении и воздействии на цемент повышенных температур.

Следовательно, повышение прочности цементного камня и гидротермальной обработке (табл. 3) объясняется изменением фазового состава продуктов гидратации его, а также относительно более быстрой кристаллизацией части новообразованных.

Таблица 3

Влияние условий твердения на физико-механические свойства портландцементов

(Блаочки 1x1x16 см из раствора 1:3)

Условия твердения	Николаевского завода			Каматовского завода			Щуровского завода		
	$R_{сж}$	$R_{пл}$	$l_{10}$	$R_{сж}$	$R_{пл}$	$l_{10}$	$R_{сж}$	$R_{пл}$	$l_{10}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	64	13	133			-			
	158	10	258				62	10	219
	323	13	380	111	22	241	82	14	231
	364	53	123	203	28	278	162	29	318
	370	53	118	205	36	305	232	58	355
	392	55	118	264	38	335	210	58	370
	410	60	120	296	38	358	250	63	383
	171	27	240	110	21	235	104	26	226
	210	26	227	181	29	218	132	31	180
	320	33	219	251	30	206	181	33	204

**В. С. САЛЬНИКОВА** Из литературных источников [10] известно, что в составе основных мартеповских шлаков насчитывается до 20 минеральных фаз, в основном это силикаты Ca, Ca и Mg, периклаз, окислы и др соединения.

**Мартеповские шлаки сырье для производства автоклавных строительных материалов**

Мартеповские шлаки до последнего времени не использовались в строительстве.

Между тем на основании ряда исследований можно предположить, что они могут быть использованы как вяжущее вещество при производстве автоклавных строительных изделий [1, 2, 3, 4, 5, 6] и как заполнитель для бетонов [7, 8].

Работами, проводимыми с 1952 г. в лаборатории строительных материалов ЛПИ, установлено, что при нормальных условиях твердение шлаков идет медленно. Минералы в условиях гидротермальной обработки проявляют себя как вяжущие вещества [9].

Выявленные вяжущие свойства у природных силикатов Mg и Ca и литературные сведения о мартеповских шлаках позволяют поводом для систематического изучения их свойств, весьма разнообразных по химическому и минералогическому составу.

Работа по изучению вяжущих свойств мартеповских шлаков проводится под руководством проф. П. П. Божанова.

О разнообразии химического состава мартеповских шлаков можно судить по данным химического анализа некоторых шлаков, приведенным в табл. 1. <sup>1)</sup>

**Химический состав основных мартеповских шлаков**

№№	Содержание окислов в %							
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
1	16,86	10,21	10,17	8,41	13,81	1,41	1,21	0,12
2	16,50	39,38	9,30	8,00	11,50	6,01	5,10	0,13
3	17,81	16,89	9,79	7,99	9,81	2,21	1,19	0,19
4	21,20	13,01	9,81	9,25	9,71	1,10	3,91	0,32
5	19,00	10,10	11,00	9,25	9,00	5,17	2,63	0,08
6	23,50	10,23	15,31	7,96	7,85	1,22	2,92	0,17
7	22,00	13,29	11,70	6,31	5,12	0,88	7,81	6,10
8	24,10	11,10	11,50	6,30	5,71	1,06	2,81	0,18
9	22,00	40,52	16,83	6,00	6,26	0,97	5,83	0,09
10	21,70	11,68	13,50	1,64	1,00	3,48	5,18	0,10
11	20,00	39,00	12,90	5,93	7,51	3,49	5,65	нет
12	20,50	40,00	13,71	5,93	9,10	1,92	5,65	нет

<sup>1)</sup> В дальнейшем шлаки будут обозначаться номером, соответствующим порядковому номеру табл. 1.

Изучение 14 проб мартеповских шлаков показало, что они способны к гидратационному твердению.

Сроки схватывания исследованных шлаков, за исключением № 9, находятся в пределах: начало от 7 мин. до с. 25 мин. и конец от 15 мин до 12 час. 40 мин.

Из данных табл. 2 следует, что шлаки после запарки имеют высокую прочность при сжатии и изгибе.

Прочность образцов в растворе значительно превышает прочность образцов в тесте, что свидетельствует о взаимодействии кремнезема с составляющими шлака в условиях

автоклава. При нормальных условиях твердение шлаков идет медленно. Минералы в условиях гидротермальной обработки проявляют себя как вяжущие вещества [9].

Наибольшее влияние автоклавной обработки наблюдается у шлаков № 4, 5, 9, у которых прочность запаренных образцов в 29 — 57 раз превышает прочность образцов нормального твердения. У остальных шлаков это превышение колеблется от 3 до 17 раз.

При этом следует учесть, что давление водяного пара и температура автоклавной обработки шлаков был выбран произвольно.

Поэтому можно предполагать, что при отработке образцов и установлении оптимальной величины давления пара эффективность гидротермальной обработки мартеповских шлаков удастся повысить.

Испытания образцов автоклавного и нормального твердения через длительные сроки хранения, как это видно из табл. 2, показали нарастание прочности во времени.

Установлено, что некоторые шлаки в процессе автоклавной обработки дают неравномерное изменение объема, что приводит к вспучиванию и растрескиванию образцов.

Это нежелательное явление выявлено у десяти проб исследованных шлаков. Неравномерное изменение объема образцов сильно проявляется для образцов в тесте и значительно уменьшается в растворе.

Анализируя химические составы шлаков, можно предположить, что неравномерное изменение объема связано с присутствием в шлаках периклаза — MgO. При этом имеет значение соотношение между MgO и FeO.

Шлаки с содержанием MgO менее 10%, и соотношением FeO к MgO менее 1 не вспучивались; все шлаки, содержащие более 10% MgO и имеющие отношение MgO: FeO более 1,



Механическая прочность образцов

№ п/п	Состав (шлак, песок)	Количество воды отгорения	Автоклавная обработка при 8 атм по режиму 1-6-1				Нормальная твердость			
			З.ж., кг/см <sup>2</sup> , через				З.ж., кг/см <sup>2</sup> , через			
			1 день	28 ш.	3 мес.	6 мес.	1 день	28 ш.	7 ш.	28 ш.
1	1 0 19	271	401	515		31	63	127	173	
	1 1 12	469	580	672		17	51	36	67	
	1 3 11	340	360	375				10	12	
2	1 0 18	166	210	253	239	52	58	51	98	
	1 1 13	289	312	351	146	66	70	36	55	
	1 3 12	190	188	232	237			9	18	
3	1 0 21	165	167	226		36	40			
	1 1 14	327	375	433		17	63			
	1 3 12	215	225	360						
4	1 0 18	137	211	181		61	59	6	11	
	1 1 12	456	498	485		60	56	6	8	
	1 3 11	257	310	321				4	7	
5	1 0 16	50	53	60		9		16	18	
	1 1 12	261	306	367		39	57	6	5	
	1 3 11	110	127	138				2	3	
6	1 0 18	91	138	263	194	46	55	102	198	
	1 1 12	449	484	630	666	75	80	19	153	
	1 3 11	279	301	396	460			15	48	
7	1 0 19	50	78	75		20	20	33	71	
	1 1 12	309	390	383		60	68	17	23	
	1 3 11	278	295	313				1	4	
8	1 0 17	28	15	91	19		12	81	136	
	1 1 12	280	352	358	468	36	46	29	63	
	1 3 11	271	270	358	411			12	31	
9	1 0 16	27	13	31		11	11	7	11	
	1 1 11	157	226	230		61	81	6	6	
	1 3 10	136	187	240		12	11	1	4	
10	1 0 15	84	95	112		32		26	32	
	1 1 12	295	418	470		43	48	15	17	
	1 3 11	168	208	231				4	7	
11	1 0 14	133	172							
	1 1 10	575	638							
12	1 0 15	196	331							
	1 1 11	170	222							
13	1 0 17	135	141			51	67		18	
	1 1 12	267	269	50	13	70	67		28	
	1 3 12	150	138							
14	1 0 20	151								
	1 1 15	126	148							
	1 3 15	217	251							

Примечание: шлак испытывался в образцах кубиков 3х3х3 и призмах 1х1х16 см.

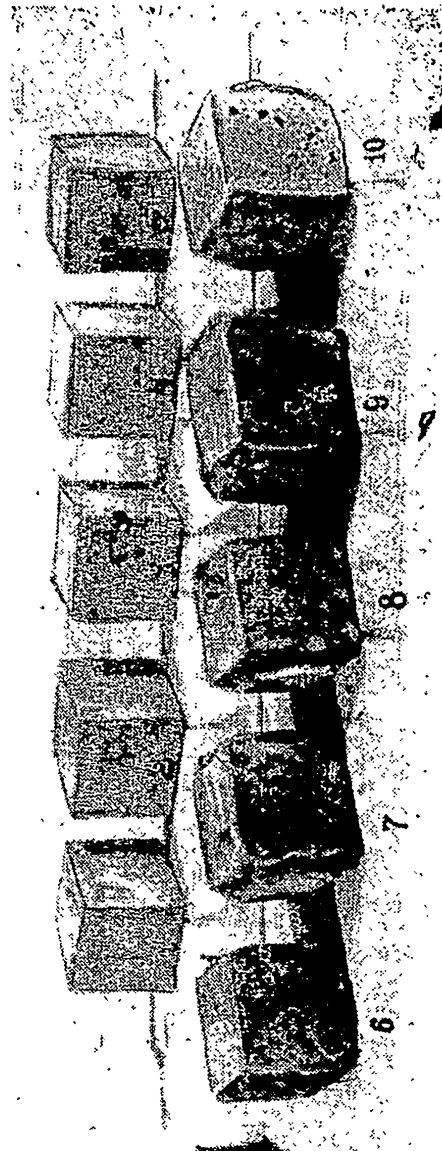


Рис. 1. Образцы из 10 проб излучившихся мартеновских шлаков (в тесте).

На рис. 1 представлены фотографии образцов 10 изучавшихся шлаков (в тесте) Образцы 1, 2, 3, 4 излучены из вспучивающихся шлаков, 5, 6, 7, 8, 9, 10 соответствующих номеров вспучивающихся шлаков. При ликвидации вспучивания в шлаки вводился кремнезём в виде добавки в виде молотого песка и глиниста.

Введение в шлак № 10<sup>1)</sup> тонкомолотого песка и глины в количестве 10% и более приводит к увеличению прочности образцов, как это следует из рис. 2. При этом

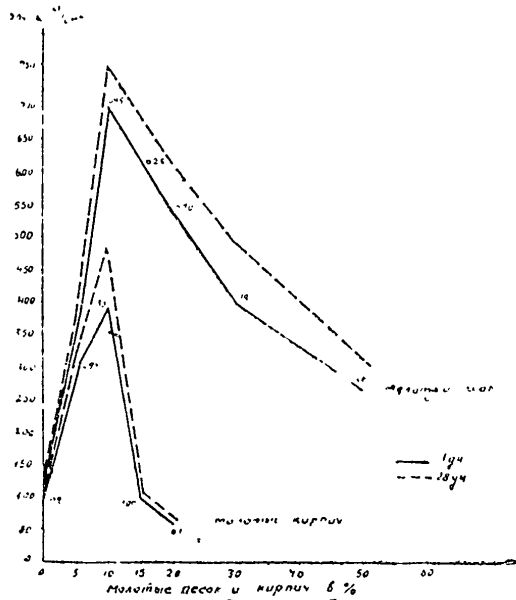


Рис. 2. Влияние молотых добавок песка и кирпича на прочность запаренных образцов. Шлак № 68185.

данных признаков неравномерного изменения образцах 3x3x3 см не установлено.

При испытании вспучивающихся шлаков с кремнезёмными добавками в образцах большого размера имеются трещины. Так, на образцах 7x7x7 см в ряде случаев трещины нет, на кубах 15x15x15 см появляются отдельные поперечные трещины. Это говорит о том, что кремнезём

<sup>1)</sup> На рис. 2 шлак обозначен № 68185

авки уменьшают, но не ликвидируют полностью неравномерное изменение объема шлаков.

Испытания на морозостойкость показали, что у вспучивающихся шлаков (№№ 3, 4) потеря прочности после циклов замораживания при 15° находится в пределах 2% в тесте и до 17% в растворе 1:1.

Образцы из вспучивающегося шлака № 10 в тесте разрушились после 3-х циклов замораживания, в растворе 1:1 держали 25 циклов без изменения. При этом потеря прочности не происходит.

Работа по изучению свойств основных мартеновских шлаков в настоящее время продолжается в направлении изучения причины вспучиваемости и выяснения путей ее ликвидации.

### Литература

1. Куропанов М. С. и Сокотов Я. А. Местные строительные материалы. Бюро Технич. информ. МПСМ РСФСР, вып.3-4, 1971 г.

2. Тисский А. В. Использование различных шлаков в промышленности строительных материалов. Бюро Технич. информации МПСМ РСФСР, М. 1917 г.

3. Волженский А. В., Буров Ю. С., Мочалов А. И., Лесков И. С. Автоклавные бетоны из вяжущих из отвалных шлаков и зол. Журнал "Бетон и железобетон", № 8, 1957 г.

4. Волженский А. В., Ситянский И. С. Автоклавные шлакобетоны и крупноблочные бетоны из шлаков. Автоклавные шлакобетоны на базе отвалных металлургических шлаков, 1958 г.

5. Боженов И. И., Сальникова В. С., Полежаева Л. П., Есенин Г. В. Изучение вяжущих свойств мартеновских шлаков и применение их для автоклавных строительных материалов. Технический отчет, НИИ, 1958 г.

6. Сальникова В. С. Автоклавные строительные материалы из отвалных шлаков. Доклад на XVI научной конференции АН СССР, г. Ленинград, 1958 г.

7. Шумский Г. В. Применение мартеновских шлаков в строительстве. Сб. тр. Харьковского государственного университета, Харьковское обл. изд-во, 1958 г.

8. Битковская И. И. Бетон из металлургических шлаков. Ленинград, 1930 г.

9. Боженов И. И. и Сальникова В. С. О вяжущих свойствах некоторых природных минералов. Сб. научных работ по химии и физике силикатов. Промстройиздат, М. 1956 г.

10. Талин В. В. Петрография металлургических и топливных шлаков. М. 1956 г.

Т. М. БГРКОВИЧ

кандидат технических наук  
(НИИАС БГСЦЕММЕНТ)

**Теоретические основы автоклавной технологии  
асбестоцементных изделий**

Задача резкого сокращения производственного изготовления асбестоцементных изделий может быть решена переходом на автоклавную технологию.

Фундаментальные исследования в области теории и практики процессов автоклавного твердения вяжущих материалов проведены П. П. Будниковым, Ю. М. Буттом, Волженским, С. А. Кривичским, С. А. Мирочевым и др. учеными, действующими в области разработки автоклавной технологии асбестоцементных изделий.

Существенное значение в разрешении рассматриваемых проблем имеют работы выполненные П. П. Боженом.

С учетом указанных исследований, а также сведений работ в этой области, проведенных нами совместно с сотрудниками [1 - 7] в институте «НИИАС БГСЦЕММЕНТ», с привлечением различных технологических и физико-химических методов, а также результатов заводских опытов и практических исследований [8, 9], теоретические основы автоклавной технологии асбестоцементных изделий следующие:

При гидратации  $C_2S$  в условиях обычных температур (до  $100^\circ$ ) образуются гидросиликат  $C_2SH_2$  и гидроксид кальция  $Ca(OH)_2$ , а в ходе автоклавной обработки при  $175-200^\circ$  образуются гидросиликаты  $C_2SH(A)$  и  $C_2SH_2$ , а также гидросиликаты  $C_2S$  при  $175^\circ$ , повышая прочность цементного камня. Однако аналогичная обработка цемента на  $C_2S$  приводит уже к понижению его прочности, а также к снижению его армирующих свойств. Связано это с образованием гидросиликатов кальция  $C_2SH(A)$  и гидросиликатов кальция  $C_2SH(B)$ . В результате гидратации  $\beta-C_2S$  в обычных условиях твердения (до  $100^\circ$ ) сопровождается образованием  $C_2SH_2$ , а при автоклавной обработке при  $175-200^\circ$  также и  $C_2SH(A)$ . Одновременно резко увеличивается степень гидратации  $C_2S$ , что приводит к большому повышению прочности цементного камня.

при  $175-200^\circ$  -- также и  $C_2SH(A)$ . Одновременно резко увеличивается степень гидратации  $C_2S$ , что приводит к большому повышению прочности цементного камня.

С введением в состав цемента, изготовленного из  $C_2S$ , золотого кварцевого песка, основность гидросиликатов снижается и образуется  $CSH(B)$ ; при этом, если применена оптимальная дозировка песка в  $25\%$ , то прочность запаренного цементного камня, и особенно асбестоцемента, повышается.

Введение в состав цемента на  $C_2S$  и  $\beta-C_2S$  волокон бестабильно влечет за собой снижение основности гидросиликатов  $CSH(B)$ , а также в ряде случаев способствует появлению  $C_4S_3H_5$ .

Фазовый состав новообразований и прочность цементного камня, особенно асбестоцемента из  $C_2S$  и  $\beta-C_2S$ , связаны с степенью интенсивности автоклавной обработки.

Гидратация  $C_2A$  как в обычных условиях твердения при применении пропаривания при атмосферном давлении, так и при автоклавной обработке приводит к образованию, в основном, кубического гидроалюмината  $C_4AH_3$ , а также тетраэдрического гидроалюмината  $C_3AH_4$ . При гидратации  $A$  в присутствии гипса в обычных условиях твердения образуются высокосульфатный гидросульфаталюминат  $C_4A \cdot CaSO_4 \cdot 3H_2O$ , а при автоклавной обработке гидросульфаталюминат  $C_4A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ . Продуктами автоклавной обработки  $C_2A$  с добавками гипса и молотого кварцевого песка, кроме гидротригидрата  $C_4AS_3H_6$ , являются также  $C_4AH_3$ ,  $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ ,  $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$  и др.

В продуктах гидратации  $C_4AF$ , твержденного как в обычных условиях, так и в автоклаве, присутствуют железистый гидроалюминат  $C_3(A, F)H_4$  и гидросульфаталюминаты кальция, возможно образующие гидросульфат кальция  $C_3F \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$ .

В условиях автоклавной обработки при  $5$  атм. сульфаталюминаты кальция, образующиеся при гидратации  $C_4A$  и  $C_4AF$  (с дозировкой гипса), обладают локальной устойчивостью. Введение в состав высокопрочных цементов из  $C_2S$  и  $C_4AF$  кристаллического асбеста не оказывает заметного влияния на фазовый состав гидратных новообразований. Прочностные свойства  $C_2A$  при автоклавном твердении снижаются, добавка молотого кварцевого песка улучшает его прочность. В отношении влияния автоклавной обработки и добавки песка на прочность  $C_4AF$  наблюдается обратная зависимость.

Волокна хризотил асбеста при запаривании асбестоцементом подвергаются коррозии, и при этом образуются гидросиликат кальция в виде кристалликов (чешуек) и полосок геля, в основном, ориентированных параллельно оси волоконности. Степень же коррозии асбеста зависит от размера волокон и интенсивности гидротермальной обработки, но во всяком случае она не превышает 10% с одной стороны, коррозия асбеста приводит к потере прочности изделия, так как ухудшаются условия его сцепления с затвердевшим цементным камнем.

С другой стороны, при очень интенсивной автоклавной обработке возможно отрицательное влияние замещения волокон асбеста новообразованиями, особенно в случае неориентированного расположения. В связи с этим можно считать, что конечный эффект коррозии асбеста в автоклавах зависит от условий гидротермальной обработки.

Автоклавная обработка портландцементного асбестоцемента вследствие нежелательного изменения фазового состава продуктов гидратации силикатов кальция образует  $C_2SH(A)$  - и усиленную коррозию асбеста приводит к уменьшению (на 30-40% и более) прочности цемента.

Среди ряда опробованных кремнеземосодержащих автоклавных асбестоцементов лучшим оказался кварцевый песок.

Тонкоизмельченный кварцевый песок обладает в среднем достаточной адгезией к волокнам асбеста, а обеспечивающая способность разбавленных и концентрированных асбестоцементных суспензий при введении их в автоклавного кварцевого песка уменьшается; пластичность свежеформованного полуфабриката при этом быть достигнута такая же, как при использовании цемента.

Минералогический состав клинкера, в особенности содержания  $C_3S$ , существенно влияет на физико-механические показатели запаренного асбестоцемента и оптимального содержания кварцевого песка, при этом влияние зависит так же и от режима автоклавной обработки.

Попытки повышения прочности запаренных асбестоцементных изделий, изготовленных на мономинеральных цементных (10, 25, 50, 75%) показало, что максимальная прочность достигается на  $C_3S$  с 50% песка. Прочность асбестоцементных изделий с оптимальной дозировкой песка (25%) оказалась ниже, прочность асбестоцемента на  $C_4A$  в 2 раза ниже прочности запаренного асбестоцемента на  $C_3A$  и  $C_2S$ .

Попытки применения марганцевых примесей и в особенности, примесей железа в автоклавных асбестоцементных образцах глинистых (10, 25, 50, 75%) показали, что максимальная прочность достигается на  $C_3S$  с 50% песка. Прочность асбестоцементных изделий с оптимальной дозировкой песка (25%) оказалась ниже, прочность асбестоцемента на  $C_4A$  в 2 раза ниже прочности запаренного асбестоцемента на  $C_3A$  и  $C_2S$ .

меньше прочности асбестоцемента на  $C_3S$  и  $C_2S$  (менее алитовых клинкеров ( $C_3S = 50\%$ ) по сравнению с белитовыми ( $C_3A = 30-40\%$ )), значительно повышает механическую прочность и уменьшает водопоглощение автоклавного асбестоцемента, позволяет применять более короткие режимы автоклавной обработки и увеличивает оптимальное количество песка в цементе.

Оптимальная дозировка песка, обеспечивающая максимальную прочность запаренному асбестоцементу, соответствует полному связыванию свободной  $Ca(OH)_2$ , отсутствию  $C_2SH(A)$  и четкому соотношению с отношением  $C_3S = 0,8-1,0$ .

Использование алитовых клинкеров с содержанием  $C_3S$  менее 50-55% при нормальной гранулометрии песчаных цементов позволяет применять дозировки песка порядка 45% и одновременно сокращать длительность автоклавной обработки. На белитовых же клинкерах, с содержанием  $C_3S$  в 30-40%, оптимальное количество песка снижается примерно до 30%, прочность асбестоцемента при этом повышается.

Увеличение содержания  $C_3A$  в клинкерном компоненте цементного асбестоцемента, ускоряя процессы предварительного гидратации, в то же время неблагоприятно отражается на физико-механических показателях асбестоцемента после автоклавной обработки.

Оптимальная дозировка глина должна устанавливаться с учетом минералогического состава клинкера, в первую очередь величины  $C_3A$ .

Влияние качества кварцевого песка на технологию автоклавного асбестоцемента сказывается следующим образом: содержащиеся в природных песках высокодисперсные глинистые примеси (размером менее 5 микрон) ухудшают фильтративные свойства асбестоцементных суспензий и обуславливают самым снижением производительности сеточной формовочных машин.

На физико-механические свойства запаренных асбестоцементных образцов глинистые примеси существенно влияют, в частности, оптимального содержания кварцевого песка, при этом влияние зависит так же и от режима автоклавной обработки.

Известное улучшение фильтративных свойств асбестоцементных суспензий с глинистыми примесями может быть достигнуто путем добавки в автоклавный цементно-активный материал (цементно-кварцевый шлам, в количестве 10% от веса глинистых примесей) с добавленным молотого кварцевого песка (размером менее 5 микрон).

В автоклавных образцах глинистых (10, 25, 50, 75%) показали, что максимальная прочность достигается на  $C_3S$  с 50% песка. Прочность асбестоцементных изделий с оптимальной дозировкой песка (25%) оказалась ниже, прочность асбестоцемента на  $C_4A$  в 2 раза ниже прочности запаренного асбестоцемента на  $C_3A$  и  $C_2S$ .

кварцевые пески с содержанием окислов щелочных металлов по расчету: 2)  $\lambda$  ранее образовавшегося субмикроструктурного гидросиликата кальция увеличиваются размеры

качества кварцевого песка как компонента песчаного цемента должно оценивать не только по содержанию, но и по количеству примесей. Предпочтительно при использовании песчаного цемента с содержанием  $\text{SiO}_2$  не ниже 87-90%.

Тонкость помола песчаного цемента оказывает существенное влияние на производительность формовочных машин, качество "сырого" полуфабриката, длительность автоматической обработки и физико-механические показатели готового асбестоцемента. Лучшие результаты достигаются при использовании песчаного цемента тонкого помола с остатком на сите № 0085 в 4-6% (удельная поверхность 3,2-3,6 тыс. см<sup>2</sup>/г).

Для обеспечения производительности листоформовочных и абсотрубных машин, достижения высоких физико-механических показателей и сокращения длительности запаривания песчаный цемент нормальной granulometрии должен отвечать следующим техническим требованиям: содержание клинкера должно составлять 60-55%, песка 40-35%, клинкер для производства песчаного цемента должно содержать не менее 50-55%  $\text{C}_2\text{S}$ , содержание  $\text{C}_3\text{A}$  не выше 6-8%; кварцевый песок должен содержать не более 1-3% окислов щелочных металлов, содержание в цементе глина ( $\text{SO}_3$ ) должно быть не более 1,7%. Оптимальное его содержание должно устанавливаться в зависимости от содержания  $\text{C}_3\text{A}$  в клинкере и тонкости помола песчаного цемента; песчаный цемент должен быть подвергнут более тонкому помолу, остаток на сите № 0085 порядка 4-8% (удельная поверхность 3,6 тыс. см<sup>2</sup>/г).

Кинетика процесса автоклавного твердения цемента на песчаном цементе характеризуется следующими закономерностями: прочность асбестоцемента зависит в сложной зависимости от времени ( $\tau$ ) и давления запаривания. Функция  $R_p - f(\tau)$  при использовании клинкеров характеризуется следующими особенностями: 1) при низком давлении (до 4 атм) величина прочности как правило, непрерывно возрастает с повышением времени запаривания; 2) при более высоком давлении (от 6 атм и выше) прочность возрастает до определенной длительности запаривания ( $\tau_{\text{opt}}$ ), после чего прочность перестает возрастать, а затем несколько уменьшается; 3) с повышением времени запаривания ( $\rho$ ) величина  $\tau_{\text{opt}}$  уменьшается.

Увеличение длительности запаривания оказывает влияние на его микроструктуру. 1) гидросиликат кальция переходит из гелевидной формы в микрокристаллическую; 2)  $\lambda$  ранее образовавшегося субмикроструктурного гидросиликата кальция увеличиваются размеры кристаллов от тысячных до сотых долей мм; 3) увеличивается коррозия зерен кварца и волокон асбеста.

Глубина коррозии зерен неслка составляет 3,5-4,5 при среднем диаметре в 20-30 р в среднем 1 р.

В процессе запаривания, особенно подъема и температуры, в асбестопемени возникают напряжения, величина которых зависит от скорости изменения температуры.

Для того, чтобы указанные напряжения не привели к нарушению структуры материала, появлению трещин, растрескиванию, набуханию и даже вздутию и трещинам самим не ухудшились физико-механические показатели, особенно, морозостойкость запаренного асбестопемени, он должен пройти обязательно "подготовку" в виде предварительного воздушного твердения и пропаривания при невысоких температурах (50-60).

Подъем и снижение температуры в автоклаве проводится в строгом соответствии с разработанными режимами.

Режимы предварительной выдержки, а также подъема и снижения температуры в автоклавах зависят от плотности (фактически, его размеров, от содержания в цементе  $SiO_2$ ,  $SO_2$  и токсичности помола. Поэтому они на каждой установке устанавливаются применительно к своему виду исходного сырья, вида изделия и автоматически поддерживаются с помощью программных регуляторов температуры или других устройств.

Литература

1. Беркович Е. М. Автоклавы асбестопемени. Патент, 1954 г.
2. Беркович Е. М., Рабинов Н. Г., Сотицкая В. А. Вестник ВНИИ асбестопемени в автоклавах. Патент, № 1 1954 г.
3. Беркович Е. М., Рабинов Н. Г., Сотицкая В. А., Васильева А. Н. Вестник асбестопемени в автоклавах. Патент, 1954 г.
4. Беркович Е. М. Вестник ВНИИ асбестопемени, № 1, 1954 г.
5. Беркович Е. М., Рабинов Н. Г., Сотицкая В. А., Смирнов Н. П. Строительный журнал, № 11, 1954 г.
6. Беркович Е. М., Хенкер Е. М., Громова О. Н., Заварова Н. П., Громова В. И. Вестник ВНИИ асбестопемени, том 8, 1958 г.
7. Беркович Е. М., Хенкер Е. М., Громова О. Н., Заварова Н. П. ТМ СССР, т. 120, № 2, 1958 г., т. 120, № 1, 1958 г.
8. Максакова М., Сивухин А., Бельский В., Бальтерс В. Строительный журнал, № 11, 1954 г.
9. Сотицкая В. Г., Гинкель С. П. Опыт производства крупноформатных изделий из асбестопемени на базе строительного материала. Информационный бюллетень НИИ асбестопемени, № 20, 1958 г.

З. И. РАКИЦКАЯ  
инженер

Инженер-проектировщик строительного производства

Возможности получения изделий типа асбестоцементных на базе отходов асбестодобывающих производств

Расширение сырьевой базы для производства строительных изделий с использованием промышленных отходов является более важным и ответственным значением. Миллионы тонн серпентинитов и тальков как природных, так и отходных производств практически почти совсем не используются.

Ряд отечественных ученых (Ф. В. Сыромятников [1], Ф. Мельников [2], В. П. Юнг, П. П. Будинков [4], С. Березин [4], О. П. Мещеряков-Петровский [5, 6] и другие, занимающиеся изучением природных силикатов, установили, что на их основе может быть получено равновесное вяжущее, обладающее достаточной активностью в условиях нормального твердения.

Синтезируют силикаты магнезита, Balduzzi G., Grigolli W., G. P. [10], получили отдельные волокна кристаллового состава с максимальной длиной в 1,5 мм при  $t = 350-370^\circ C$ , выдержки свыше 200 мин.

Хотя длина синтезированного волокна незначительна, важно то, что вырваны как возможность получения х волокон из реакции между гидроксидом магнезита и мискисным раствором при определенном значении  $R_{H_2O}$  омент реакции, так и возможность перекристаллизации кристаллового и природного хризотила и серпентина в окна различной формы в зависимости от исходного материала (см. табл. 1).

На шпите кафедре Н. П. Божновым и В. С. Сальников [3] была проведена большая работа по выявлению свойств у некоторых природных минералов, содержащих силикаты и алюмосиликаты магнезита. В результате этого можно на шпите вяжущих свойств у серпентинизированного ошника, хризотилового асбеста, талькерита и ряда других минералов, составы производства которых зависят от температуры обезвоживания.

Гидротермальная обработка при давлении водяного пара 10 атм и выше ускоряет процессы твердения магнезитовых минералов.

На основании кривых динамического выщелачивания, термического и петрографического анализа можно было предположить, что полученные при гидротермальной обработке минералы приближаются по своим свойствам к природным. Подтверждается исследованиями П. С. Кащенко-Льского,

Перекристаллизация синтетического и природного серпентина и хризотила (объем воды 60% полезного объема автоклава, T = 370°C)

Исходный материал	Кремнекислотная примесная масса	Первоначальная длина волокон	Длина волокон после 24-часовой гидротермальной обработки
Хризотил субмикрорекристаллический	кварца	$1 \cdot 10^{-4} \text{ см}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$
-	SiO аморфного	$1 \cdot 10^{-4} \text{ см}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ см}$
-	кварца	$1 \cdot 10^{-4} \text{ см}$	-
Хризотил-овые волокна	кварца	$5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$	-
Зерна серпентина, $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$	кварца	-	-
Зерна серпентина 4 грмма	кварца	-	-
Зерна серпентина, $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$	SiO аморфного	-	-
Хризотил-овые волокна, $1,5 \text{ см}$	кварца	-	-

тонкогомолотого кварцевого песка образуется гидросиликат магнезии как при атмосферном давлении в процессе проназания, так и в условиях нормального твердения. Таким образом, выявленная активность магнезевых спигозов позволила нашей кафедре поднять вопрос об использовании для изготовления изделий и отходов асбестодобывающих производств, содержащих природные силикаты магнезии. В результате были получены асбомагнезиальные плитки, вышедшие предел прочности на изгиб свыше  $200 \text{ кг/см}^2$ . Вследствие всего вышесказанного появилась необходимость начать подготовку экспериментальных исследований по разработке технологии изготовления изделий на базе их отходов.

Для выявления оптимальных условий обжига были выбраны следующие температуры обезвоживания: 600, 700, 800, 900°C с различными выдержками при данных температурах. Материал обжигался в тонкогомолотом состоянии (остаток на сите  $900 \text{ отв/см}^2$  не более 20%) и в щебенке. Сравнение данных табл. 2, 3 показывает, что предварительный помол перед обжигом, необходимость которого признают некоторые исследователи, не является обязательным, так как обжиг в щебенке сокращает по времени операцию почти в 2 раза и не оказывает существенного влияния на механическую прочность.

Таблица 2

Жизнь обжига	Механическая прочность на сжатие, $\text{кг/см}^2$				Примечание
	норм. твердое, 28 дн.	гидротермальная обработка, 8 сут		1	
		1 день	28 дн		
1	2	3	4	5	6
После 12 час. вод серпентин перекристаллизовался и хризотил-овые волокна					
После 12 час на поверхности зернышки					
После 24 час при 800-1 час серпентин перекристаллизовался и воле длина магнезии	21	52	107		Обжиг в тонкогомолотом состоянии
700-1	15	45	86		
700-3	11	42	88		Обжиг в щебенке
700-6	9	29	56		
Волокна перекристаллизовались первоначально	10	24	70		Обжиг в щебенке
не волокон	12	20	52		
600-1		6	30		Обжиг в щебенке
600-3		3	73		
600-6		11	53		Обжиг в щебенке
800-крит		39	48		
800-1 час		35	52		Обжиг в щебенке
800-3 часа		63	85		

М. С. Жабинского [7], Э. Д. Певзнер, Л. А. Базаровой, которые показали, что в условиях гидротермальной обработки (8 сут) при взаимодействии MgO и SiO<sub>2</sub> образуется гидросиликат магнезии с высокими цементными свойствами (предел прочности на сжатие 70) кг/см<sup>2</sup>). Было установлено также, что при активном состоянии

Примечание образцы размером 2 × 2 × 2 см, вода затворения 11% изготавливались методом полусухого прессования при 200 кг/см<sup>2</sup>

Следует отметить, что даже при температуре 0,5% необходимо было вылить влияние величины давления прессования на механическую прочность образцов. Как видно из табл. 5, с увеличением давления прессования механическая прочность значительно возрастает.

Таблица 5

Режим обжарки	Механическая прочность образцов, кг/см <sup>2</sup>			Примечание
	нормальный	1-процентный	2-процентный	
600 1 час 1*	1	10	12	Нижнее значение, полученное при испытании образцов, изготовленных из отходов, содержащих сыпучий материал, составляет 10 кг/см <sup>2</sup> .
800 2 час 1*	8	7	161	
900 3 час 1*	1	22	167	
900 крит 1*	1	2	161	
900 10 мин 1*	1	20	155	
900 1 час 1*	1	19	155	
900 крит 1*	1	60	158	
900 10 мин 1*	1	40	165	
900 1 час 1*	1	25	113	
900 1 час 1*	1	25	113	

Таблица 6

Давление прессования, кг/см <sup>2</sup>	Величина прессования, кг/см <sup>2</sup>			
	100	200	300	400
800 21	1,8	168	203	215

Примечание: режим гидротермальной обработки при 8 атм 2, 8, 3; при 200 атм 5, 0, 5, 5.

Удельный вес материала увеличивается с повышением температуры от 2,7 при 600 С, до 2,89 при 800 С. Цвет терракоты меняется от бежевого до темно-бежевого с красноватым оттенком при более высоких температурах. Методом опыта выбрана температура обжарки 800 С с длительностью 2 часа.

Полученное вяжущее имеет следующие характеристики:

- 1) тонкость помола - остаток на сите 4900 *ати* см<sup>2</sup> больше 10<sup>00</sup> м;
- 2) удельный вес 2,89;
- 3) нормальная влажность 34%.

1) сроки схватывания: начало 3 часа, конец 5,5 часа.

Далее были определены основные технологические параметры изготовления образцов:

Вода (г/образец)	10	12	14	20
800 21	170	175	157	155

Как показывают данные табл. 4, количество образцов, изготовленных из отходов, не оказывает существенного влияния на механическую прочность образцов. Таблица 5 дает картину влияния метода изготовления образцов на механическую прочность образцов.

Одним из важных технологических параметров являются условия хранения образцов перед гидротермальной обработкой. Для получения образцов из отходов, содержащих сыпучий материал, максимальный срок хранения до гидротермальной обработки не более 21 час, в то время, как изделия, изготовленные из отходов, содержащих сыпучий материал, как показывает табл. 6, с увеличением времени хранения марки незначительно изменяют механическую прочность, т.е. возможен длительный интервал хранения.

Таблица 7

Давление прессования, кг/см <sup>2</sup>	Продолжительность хранения образцов, % потерь при восстановлении												
	в часах						в сутках						
800 21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
300	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Анализируя данные табл. 7, следует отметить, что образцы, изготовленные из отходов в чистом виде и с добавкой асбестовой пыли 10<sup>00</sup> м, с увеличением давления с 10 до 200 *ати* повышают прочность примерно в 10 раз.

На образцах, изготовленных из портландцемента в чистом виде и с добавкой асбестовой пыли наблюдается обратное явление - прочность падает с увеличением давления. Образцы с добавкой 10<sup>00</sup> м и известкой вяжущему уже при давлении 10 *ати* дают значительную механическую прочность, оптимальное давление пара соответствует 50 *ати*.



Состав смеси в тесте (1:10)	Нормы прочности в тесте	Механическая прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>																				
		15 атм	25 атм	50 атм	200 атм	100 атм	10 атм	50 атм	10 атм	50 атм	10 атм	50 атм										
Земляное и глина 10	14	16	170	200	218	87	127	210	325	175	408	272	88	180	277	221	289	120	211	104	158	
Земляное и асбестин	9	12	65	91	71	101	58	130	112	181	130	171	170	211	182	240	228	207	180	231	225	281
Земляное и асбестин + 10% асбестин	4,5	60	265	311	317	5,29	118	212	280	357	119	135	112	215	10	208	167	319	130	119	212	300
Земляное и асбестин + 10% асбестин	1	8	71	79	68	99	111	36	184	201	111	195	189	225	161	271	230	302	207	284	362	312
Портландцемент	69	91	115	115	105	103	223	317	281	340	123	195	236	311	154	223	220	36	189	230	156	233

**Выводы**

1. Оптимальная величина давления гидротермальной обработки зависит от состава смеси.
2. Гидротермальная обработка значительно повышает механическую прочность образцов на вязущем из отходов сравнительно с нормальным твердением: при 10 атм в 8-15 раз, при 200 атм в 50-60 раз.
- Эффективность гидротермальной обработки на образцах портландцемента сказывается слабее: при 10 атм в 6-8 раз, при 200 атм в 2-3 раза.
3. Проведенная работа позволяет сделать предположение, что на базе отходов асбестодобывающих производств можно получить изделия с высокими строительными свойствами.

**Литература**

1. Сыромятников Ф. В. Германский анализ хризотилового асбеста. Бюлл. Моск. общ. исп. природы. Отд. Геология, 12, № 1, 1934 г.
2. Метведев М. Ф. Работа АНИ по получению вязущего материала из отходов асбесто-обогащенных фабрик. Строит. бюллетень, 4, 1933 г.
3. Боженов П. П., Сальникова В. С. О вязущих свойствах некоторых природных минералов. Сборник и р. по химии и технологии силикатов. Промстройиздат, 1956 г.
4. Будников П. П., Бережной А. С. Реакции в твердых телах. Промстройиздат, 1949 г.
5. Мчедлов-Петросян О. П. Серпентинитовый цемент. Сборник по химии и технологии силикатов, 1956 г.
6. Мчедлов-Петросян О. П. О вязущих свойствах силикат-магния. Доклады АН СССР, 78, № 3, 1951 г.
7. Канцеляпольский И. С., Жабинский М. С. Изучение процессов взаимодействия окиси магния с кремнеземом при обычных условиях. Труды института химии АН УзССР, выпуск 2, 1949 г.
8. Певнер Э. Д., Базаева Л. А. Образование гидросиликат-магния в условиях водотепловой обработки. Сборник и р., № 4, ИСМ БССР, Минск, 1955 г.
9. Бутт Ю. М., Рашкович Л. П. Взаимодействие кремнезема с окисью магния при автоклавиной обработке. Сборник трудов ПОСНИИМС, 11, 1956 г.
10. Baldazzi I., Furrer W., Niggli P. Weitere Versuche Synthese von Serpentin Mineralien Schweiz. Min. Petr., Mitt. B, 31, 1, 1951 г.

**И. А. КАЛИНИНА**  
 кандидат технических наук  
 (Сталкинское отделение Западно-Сибирского филиала АС и А СССР)

**Автоклавные материалы на базе местного сырья Кузбасса**

Семилетним планом развития народного хозяйства СССР предусматривается широкое использование богатых по содержанию 196

жанию и выгодных по условиям эксплуатации природных ресурсов восточных районов нашей страны.

Контрольными цифрами на 1959-1965 гг., утвержденными XXI съездом КПСС, намечено направить на развитие восточных районов, в том числе Сибири, капитальных вложений свыше 40 процентов общего объема, около 780 миллиардов рублей.

Для осуществления такой программы строительства необходимо огромное количество строительных материалов.

Между тем в восточных районах страны в настоящее время производство строительных материалов развито недостаточно. Окончание строительства Западно-Сибирского металлургического завода и строительство новых шахт добычи местных коксующихся углей повлекнут за собой огромное жилищно-коммунальное строительство.

Чтобы обеспечить его потребуются огромные количества строительного материала, особенно стенового.

В качестве стеновых материалов в Кузбассе используются, главным образом, красный кирпич, в незначительных количествах мелкие шлакобетонные камни и меньшие крупные стеновые блоки с применением в качестве заполнителя гранулированного металлургического шлака.

Предстоит создание мощных предприятий по производству стеновых крупноразмерных конструкций из новых высокоэффективных материалов.

Особенно эффективно изготовление автоклавных материалов, имеющих широкую сырьевую базу, короткий цикл производства и обеспечивающих необходимые прочностные свойства.

#### 1. Сырьевые ресурсы Кузбасса для автоклавных материалов

В настоящее время Кузбасс не располагает разведанными запасами песков, на основе которых могло бы быть организовано производство различного вида автоклавных материалов. Однако здесь имеются богатейшие, почти неисчерпаемые запасы горючих пород, как шахтных (герриков) так и природных (сопки), пригодных в качестве кремнистого составляющего.

Правда, данное сырье требует постоянного контроля в отношении содержания несгоревшего угля. Однако родные горючие породы в Кузбассе обладают достаточным постоянным составом и имеют незначительные примеси (до 1,5%); содержание в них  $SiO_2$  от 63 до 75%  $Al_2O_3$  от 14 до 22%. Это сырье будучи тонко размоленным местно с известью-кипелкой образует цемент гипса и др. ково-гипсового.

Автоклавные материалы, изготовленные на базе горючих пород, имеют высокие физико-механические свойства

Наряду с горючими породами колоссальным источником сырья в Кузбассе для автоклавных материалов может служить зола-унос тепловых электрических станций. По данным П. Эпизона ежегодно в Кемеровской области от пылевых выбросов при сжигании каменного угля получают золы около 10 тыс. т.

Этот вид сырья, благодаря тонкой дисперсности сжигаемых углей, не требует затрат на дорогостоящий процесс помола.

Недостатком местных зол является наличие в них большого количества несгоревшего угля (до 20%) и то, что доклавные ячеистые бетоны на этих золах имеют высокое водопоглощение.

Другим видом сырья для автоклавных материалов могут быть местные несоревниваемые сульфиды, распространенные в огромных количествах в различных районах Западной Сибири.

Они представляют собою смесь пылеватых частиц, образовавшихся при выветривании различных горючих пород.

Характерным признаком этой смеси в сухом состоянии является ее рассыпающийся мучистый состав. Местные сульфиды содержат  $SiO_2$  60-65%,  $Al_2O_3$  15,5% и обладают устойчивым составом, позволяющим использовать их как кремнеземистый компонент автоклавных материалов.

В условиях Кузбасса целесообразно в качестве вяжущего для автоклавных материалов использовать гранулированный металлургический шлак, местный шлак является таким и относится ко II-му сорту (ГОСТ 3476-52). На основе этого шлака с добавкой кремнеземистого компонента могут изготавливаться автоклавные материалы высокой прочности.

Автоклавные материалы на местном сырье

Одним из путей уменьшения веса конструкции является применение эффективных легких бетонов, в том числе ячеистых. В табл. I приведены составы автоклавных ячеистых бетонов и их свойства, установленные нашими исследованиями.

Данные этой таблицы показывают, что на основе местного сырья возможно изготовить автоклавные ячеистые бетоны, обладающие необходимыми качествами.

В 1957-1958 гг. изучалась возможность использования сульфидного сырья для получения автоклавного легкого материала, названного нами силикат-органиком, с целью изготовления из него стеновых блоков.

№ п.п.	Наименование	№ составов	Оптимальными составами оказались следующие:					Расход вяжущего кг/м³
			Состав в % по весу сухих материалов					
			портландцемент М-250 Спасского завода	маломагн. изв. извест. - известка	дессовидный сульфат	древесные опилки	Вязкость смеси в % к весу сухих материалов	
I	портландцемент	I	20	-	70	10	35	250
II	известка	II	10	15	65	10	40	300
III	мелкозернистый граншлак	III	-	20 25	65 70	10	40	250 300
IV	песок мелкий	IV	-	20 25	60 65	15	40	250 270

№ п.п.	Наименование	Уточн. ин. фр.	Силицист. ин.	объемный вес, кг/м³	предел прочности на сжатие, кг/см²	водопоглощение по объему, %	коэффициент размягчения	предел сорбционного увлажнения	коэффициент температурного расширения	температура прогрева, град. час	снижение прочности в после замораживания
1	Первичный бетон	15	10	1200	110	5,5	0,80	8	0,33	10-25	
2	Ячеистый бетон	17	12	1200	20	1,2	0,70	10	0,12	10-20	
3	Дюпидак-бетон	19	10	1200	90	2,0	0,75	10	0,19	10-15	
4	Дюпидак-бетон	19	10	1200	215	5,5	0,80	7	0,33	10-25	
5	Первобетон	20	10	1000	100	1,7	0,90	5	0,22	10-25	
6	Первобетон	20	10	1000	100	1,0	0,90	10	0,25	10-25	
7	Первобетон	30	18	1000	100	2,5	0,94	7	0,25	10-25	
8	Первобетон	20	18	1000	120	4,5	0,90	19	0,16	10-25	

Примечание: количество извести зависит от содержания в ней активных СаО + MgO. Формование образцов выполнялось в вибростенде и литьем в зависимости от подвижности.

Автоклавный силикат-органик указанных составов обладает пределом прочности на сжатие 75-100 кг/см² при объемном весе в сухом состоянии 1200-1400 кг/м³. На рис. 1 представлен микроструктурный рисунок.

III. Некоторые результаты исследований режимов автоклавной запарки ячеистых бетонов

Ячеистые бетоны указанных составов, испытанные после запарки под давлением не менее 8 атм в образцах 10x10x10 см, оказались пригодными для изготовления из них крупных блоков. Однако некоторые умеренные изгибы подверженные запарке, дали сколы на поверхности. Поэтому подопытные составы мы считаем пригодными для любых изделий толщиной не более 20 см.

Безопилочные составы ячеистых бетонов оказались непрочными и не выдержали 1-5 циклов.

В связи с большим для ячеистых бетонов оптимальных режимов автоклавной запарки нами проводилось измерение температурного расширения образцов 10x10x10 см, изготовленных разным объемным весом бетона.

При этом были обнаружены явления экзотермических эффектов, возникающие во время автоклавной запарки ячеистого бетона.

Наблюдаемая экзотермия, как показывает наш опыт, зависит от объемного веса бетона. Можно предположить,

что она обратно пропорциональна объемному весу ячеек бетона

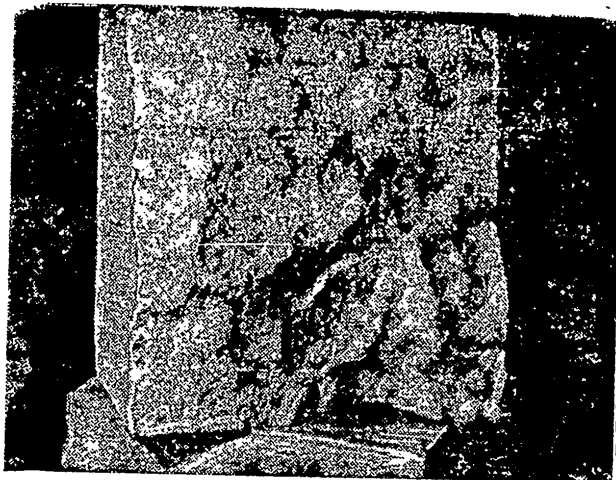


Рис. 1. Структура стикки-омалитка в изоме

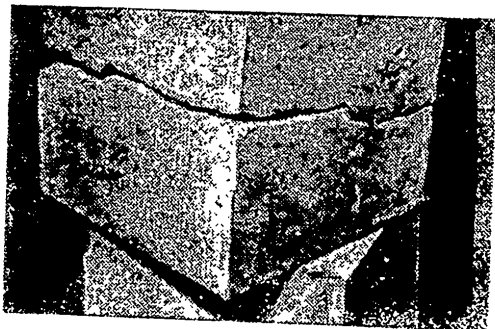


Рис. 2. КЛБ в виде стикки-орнэтка размером 35 × 35 × 35 см после автоклавной обработки по режиму 7-7-8 ч

Работа в этом направлении протекает с целью устранения причин, вызывающих трещины в бетоне при автоклавной обработке

А. Я. СТАХИВ  
инженер  
(Ленинградский инженерно-строительный институт)

### Влияние режима запаривания на прочность бетона на нефелиновом цементе

На кафедре Строительных материалов Ленинградского инженерно-строительного института с 1951 года проводятся исследования по изучению автоклавной обработки вяжущих веществ различного минералогического состава паром высокого давления (от 8 до 20 атм).

Автором под руководством проф. Н. И. Боженова было изучено влияние автоклавной обработки на прочность и другие свойства различных бетонов и растворов на нефелиновом цементе.

Нефелиновый цемент представляет собою механическую тонкомолотую смесь нефелинового шлама (получаемого при переработке нефелина на окись алюминия и соду), известняк и строительного гипса. Состав нефелинового цемента был принят следующий:

нефелиновый шлам	85%
известняк	15%
строительный гипс	0%

При исследовании в дальнейшем решались следующие вопросы:

1. Возможно ли частичное замещение портландцемента нефелиновым в автоклавной обработке автоклавного бетона.

2. Влияние продолжительности запаривания на твердость (по маяку) и прочность на сжатие автоклавного бетона на нефелиновом цементе.

3. Влияние продолжительности выдержки в сухом виде выжатого кирпича на прочность бетона на нефелиновом цементе.

4. Влияние длительности запаривания пара на прочность раствора.

Несколько образцов бетона на образцах 10 × 10 × 10 см и бетона с раствором нефелинового цемента 320 кг/м<sup>3</sup> и ВЦ 9,5 и образцы 140 × 140 × 140 см и раствора 1:3 и стандартной конвентом.

Возможно ли частичное замещение портландцемента нефелиновым в автоклаве при производстве автоклавного бетона. В целях экономии портландцемента при изготовлении частичная замена его мелотым кварцевым песком, доломитовыми шлаками и другими материалами.

Одлбчквание данных исследований с этой целью нефелинового шлама не известно.

В качестве исходного был использован портландцемент завода им. Воровского, характеризовавшийся расчетным минералогическим составом  $C_1S - 59$ ,  $C_2S - 16$ ,  $C_3A - 13\%$ .

К портландцементу добавляется нефелиновый шлак в  $\%$  по весу: 50, 70, 80, 90, 95.

Результаты испытаний на сжатие приведены в табл.

Таблица

Состав смеси вяжущего вещества, %		Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	
нефелинов. шлак	портландцемент	автоклав при 8 атм	нормальное твердение во влажной среде
-	100	376,0	307,0
50	50	448,0	237,0
70	30	310,0	167,0
80	20	207,0	113,0
90	10	161,0	41,5
95	5	132,0	10,0
100	-	-	3,5

Проведенные испытания показали следующее:

1. Добавление к портландцементу 50% нефелинового шлака увеличивает прочность автоклавного бетона в 1,2 раза сравнению с бетоном на чистом портландцементе.

2. Изготовление автоклавным способом высокопрочных сборных бетонных строительных изделий на вяжущем в составе указанного выше состава позволяет высвободить менее 50% портландцемента, повысить их прочность и снизить стоимость.

3. При нормальном твердении для получения бетонов марок 170—200 за счет нефелинового шлака можно сэкономить 50—70% портландцемента.

Влияние продолжительности предварительного твердения (до запарки) на прочность автоклавного бетона на нефелиновом цементе. При установлении оптимального времени твердения бетона образцы выдерживались 6, 9, 12, 18 и 21 часа. После этого они запаривались в промышленном автоклаве при 7 атм по режиму 5+6+4,5 часа.

Результаты испытаний приведены в табл. № 2

Проведенные опыты показали, что оптимальное время предварительного твердения, обеспечивающее максимальную прочность автоклавного бетона при сжатии равно 12 часам.

Таблица 2

Длительность предварительного твердения, час	Предел прочности при сжатии	
	кг/см <sup>2</sup>	%
6	151,0	71
9	181,0	90
12	204,0	100
18	196,5	96
21	166,0	81

Следовательно, не имеет смысла выдерживать изготовленные бетонные изделия до запарки больше указанного времени, так как это может привести к некоторому снижению прочности. Абсолютные значения прочности показывают, что, применяя безклинкерный нефелиновый цемент и запарку, уже при 7 атм можно получить бетон марки 170—200.

Влияние продолжительности подъема и спуска давления водяного пара на прочность бетона на нефелиновом цементе. При установлении режима запарки, как показали опыты ЛИСИ и другие ранее проведенные работы, необходимо особое внимание обращать на отработку продолжительности подъема и спуска давления водяного пара в автоклаве. При этом необходимо учитывать размеры запариваемых изделий.

Для установления оптимального времени подъема и спуска бетонные образцы запаривались при 12 атм по «пульсному» (подъем—спуск) режимам, т. е. без выдержки под давлением. Образцы в автоклав загружались в распалубленном виде после предварительного твердения в комнатных условиях в течение 12—16 часов.

Для оценки влияния подъема давления были приняты следующие режимы запаривания: 2+0 2+0 2 и 6+0 2, для спуска 2+0+2, 2+0 4 и 2+0+6 часа. Кроме того, аналогичные опыты были проведены при нахождении образцов в автоклаве одинаковое время (8 часов), по режимам 2+0 6, 3+0 5, 5+0 3 и 6+0 2 часа.

Зависимость прочности бетона на нефелиновом цементе от интенсивности подъема давления водяного пара показана на рис. 1, а от интенсивности спуска на рис. 2.

На первый взгляд кажется, что по мере увеличения продолжительности подъема (рис. 1) или спуска (рис. 2) давления водяного пара происходит нарастание механической прочности в бетоне, однако при раздельном рассмотрении приведенных графиков видно, что увеличение прочности

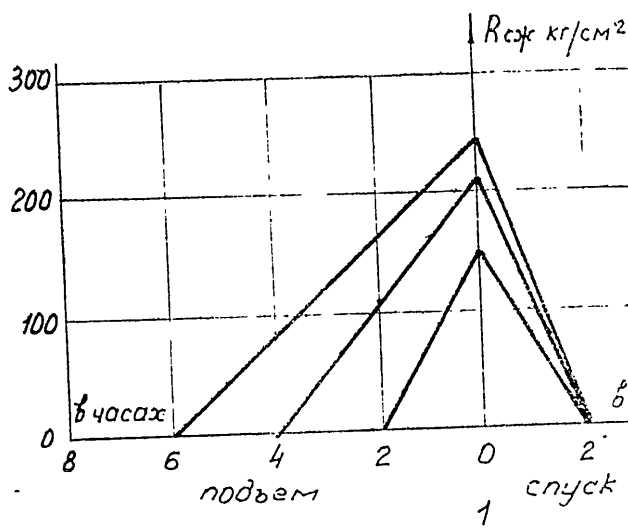


Рис. 1. Влияние интенсивности подъема водяного пара на прочность бетона.

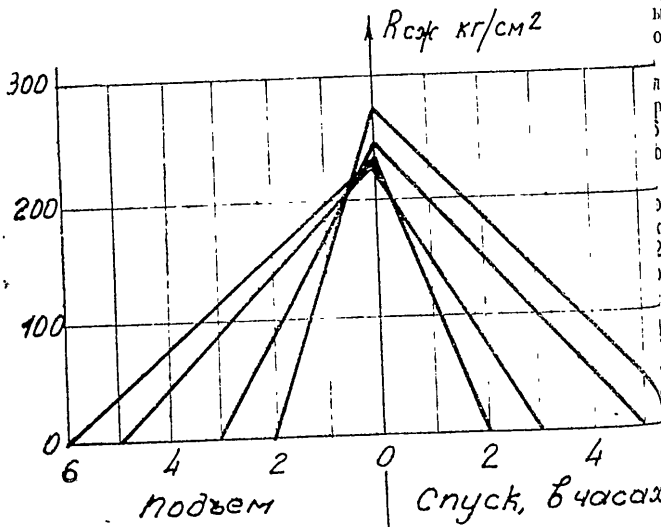


Рис. 2. Влияние интенсивности спуска водяного пара на прочность бетона.

связано с увеличением времени всего цикла запаривания. Однако нарастание прочности в этих случаях происходит не пропорционально увеличению времени нахождения образцов в автоклаве. Если же сравнить данные рис 1 и рис 2, можно видеть, что при одинаковой продолжительности запарки одинаковая прочность получается у образцов при медленном спуске. Это замечание полностью совпадает с результатами испытаний, приведенными на рис 3, где так же дано влияние продолжительности запарки и показано влияние подъема и спуска водяного пара на прочность неопаленого бетона на нефелиновом цементе.

Например, бетон запаренный по режиму 2 0 6 имеет прочность при сжатии 277 кг/см<sup>2</sup>, а по режиму 6 0 2 - 142 кг/см<sup>2</sup>, т.е. почти в 2 раза ниже, хотя общая продолжительность в обоих случаях была 8 часов.

Следует отметить, что при коротких спусках давлением некоторых образцов было отмечено образование мелких поверхностных трещин.

Это свидетельствует о нарушении структуры камня, вызванного быстрым снижением температуры, бурным парообразованием, а также излишним обезвоживанием бетона, приводящим к хрупкости и понижению прочности.

Поэтому нельзя рекомендовать спуск давления водяного пара в течение менее четырех часов, а при запарке крупных изделий возможно также некоторое увеличение длительности спуска.

Таким образом, при запаривании бетона при 12 атм следует рекомендовать режим 2 0 4, т.е. выдержку как высокую прочность, так и в большую продолжительность цикла (3 часов), и обеспечивающую получение бетона на нефелиновом цементе марки «250».

Интересно сопоставить прочностные характеристики бетонов, изготовленных на свежем цементе, хранившемся на складе 2 месяца и на цементе, пролежавшем до затворения 2 месяцев. Запаривать образцы при давлении 8 и 12 атм рис 4.

Анализируя полученные данные, следует отметить следующее:

1. Длительное хранение нефелинового цемента снижает его активность, однако прочность бетона все же достаточно высока (около 150 кг/см<sup>2</sup>), что позволяет при автоклавной обработке использовать нефелиновый цемент даже через год после его изготовления. Можно напомнить, что в ряде стран применение портландцемента через 6 месяцев после изготовления запрещено.

2. Для получения бетона одинаковой прочности запаривание при 12 атм требует 6 часов, а при 8 атм - 12 часов.

нию геля и, следовательно, к ослаблению связей между отдельными кристаллами

### Выводы

1. Оснащение технологии приготовления бетонных и железобетонных изделий автоклавами высокого давления (12-25 *атм*) открывает широкие возможности для привлечения в строительную промышленность вяжущих веществ, полученных на базе промышленных отходов, в том числе нефелинового шлама

2. Внедрение нефелинового цемента в строительную промышленность, как и других безитовых цементов из отходных производств, позволит значительно увеличить количество вяжущих веществ в нашей стране

3. Автоклавы бетон на нефелиновом цементе обладают необходимой прочностью свойственной сборным бетонным и железобетонным изделиям, морозостойкостью, хорошим сопротивлением агрессивным средам и т.д. Он должен получить распространение в гражданском, промышленном и гидротехническом строительстве.

4. При оптимальных составах бетона и режимах запаривания могут быть получены изделия с начальной прочностью не ниже  $300 \text{ кг/см}^2$

5. Оптимальным при запаривании бетона на нефелиновом цементе является давление около 21 *атм*. При запаривании бетона под давлением ниже оптимального выдерживание в автоклаве при постоянном давлении увеличивает прочность

6. Замедленный спуск давления в автоклаве благоприятно сказывается на нарастании прочности в бетоне

7. Внедрение в заводскую технологию автоклавов высокого давления (16-25 *атм*) обеспечит выпуск в кратчайшие сроки высококачественных изделий с максимальной начальной прочностью, сократит сроки запаривания, высвободит большие количества портландцемента, увеличит съём продукции с производственных площадей и оборачиваемость стальных форм. Все это повысит производительность заводов и, следовательно, снизит стоимость изделий

8. Нефелиновый шлам следует рассматривать как активную гидравлическую добавку к портландцементу

М. С. ШВАРЦЗАЙД  
кандидат технических наук  
Г. В. КРАСНОВА  
кандидат технических наук

(Научно-исследовательский институт  
новых строительных материалов  
АС и А СССР)

### Перспективы развития производства сборных деталей и конструкций из автоклавных мелкозернистых бетонов

Во многих случаях одного термина "бетон" уже явно недостаточно для обозначения отличительных особенностей технологии и свойств материалов известных под этим собирательным названием.

Наряду с традиционными бетонами, содержащими в качестве обязательного компонента крупный заполнитель (щебень, гравий), широкое применение находят бетоны, не содержащие в своем составе такого заполнителя. Сюда, например, можно отнести ячеистые бетоны, отличительной особенностью которых наряду с отсутствием крупного заполнителя, обычно заменяемого мелкотым песком и другими весьма дисперсными материалами, является ячеистая структура.

Другой группой бетонов, также не содержащих в своем составе крупного заполнителя, являются так называемые мелкозернистые бетоны. Если в ячеистых бетонах размеры поревых заполнителей не превышают 0,10-0,15 мм (по принятой классификации частицы таких размеров относятся к пыли), то в случае мелкозернистых бетонных смесей, больше известных под названием "строительные растворы", мы имеем дело преимущественно с частицами размером 0,15-2,5 мм, т.е. с песком [1].

Определение строительных растворов как мелкозернистого бетона впервые дано профессором Н. А. Поповым [1]. Название это еще более уместно, когда речь идет об использовании растворяемых смесей для изготовления сборных деталей и конструкций, которые по назначению и основным свойствам должны быть максимально близки к аналогичным изделиям, изготовляемым из обычных (крупнозернистых) бетонов.

Поскольку основной составляющей мелкозернистых бетонов является песок, этот вид цементного бетона часто называют "песчаным". С нашей точки зрения это название нельзя признать удачным. Общеизвестно, что бетоны прежде всего различаются по виду вяжущего (цементный бетон, гипсобетон и т.д.), а не заполнителя. Термин "мелкозернистый бетон" характеризует структурные особенности этого вида бетона, связанные не с видом заполнителя, а с размером его зерен.

Большой интерес к мелкозернистым бетонам вызван рядом причин, среди которых существенное значение имеет все более широкое применение тонкозернистых конструкций в том числе так называемых армоцементных.

С экономической стороны интерес к мелкозернистым бетонам определяется прежде всего тем, что для их изготовления, как уже было отмечено, не требуется крупный заполнитель.

Известно, что из-за ограниченного распространения месторождений высокопрочных каменных материалов, во большинстве случаев приходится перевозить на большие расстояния.

В настоящее время средняя дальность перевозки щебня также для бетона средних марок (100 - 200) составляет 500 км, а в отдельных случаях доходит до 800 - 900 км и более [2]. В связи с этим, а также ввиду неослабной на большинстве каменных карьеров механизации производства, обычной перегрузочных операций по пути следования объекта, стоимость высокопрочного щебня достигла 130 - 150 руб./м<sup>3</sup>. При изготовлении же тонкозернистых бетонов из высокопрочных бетонов требуется щебень мелких и средних фракции (3 - 10, 10 - 20 мм), являющихся самими дефицитными и дорогими. Поставка такого щебня в современных условиях создает наибольшие трудности в работе предприятия нерудной промышленности. Применение крупных заполнителей недостаточно высокого качества всегда связано с перерасходом цемента, а часто технически неосуществимо. В связи с этим одной из важнейших задач строительной науки и практики является разработка методов получения мелкозернистых бетонов. Проводимые исследования охватывают как цементные, так и бесцементные мелкозернистые бетоны.

В области цементных мелкозернистых бетонов исследование ведется в двух основных направлениях. По одному из направлений основным методом твердения цементных мелкозернистых бетонов является автоклавная обработка обеспечивающая значительную активизацию процессов твердения цемента и вовлечение заполнителя (в первую очередь молотого песка) в реакцию образования цементирующих веществ. Согласно другому направлению применение во термической обработки для твердения мелкозернистых цементных бетонов нецелесообразно, так как такая обработка приводит к ухудшению структурных качеств бетона.

С нашей точки зрения во всех тех случаях, когда меры деталей и конструкции из мелкозернистых цементных бетонов увязаны с размерами автоклавов, исключать автоклавное твердение нецелесообразно. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что все остальные мероприятия

применение вяжущих повышенной дисперсности, введение мелкозернистых кремнеземистых добавок, например, молотого песка, применение жестких смесей, возможно более тщательное перемешивание, сильное уплотнение и др.), хотя оказывают существенное влияние на прочностные показатели цементного мелкозернистого бетона, но они все же столь эффективны как автоклавная обработка и недостаточны для замены крупного заполнителя песком. В связи с этим переход от обычных цементных (крупнозернистых) бетонов к мелкозернистым при отсутствии автоклавной обработки влечет за собой существенное увеличение расхода цемента, в результате чего экономический эффект замены крупного заполнителя песком уменьшается.

Но, если в отношении цементных мелкозернистых бетонов можно говорить о применении двух методов твердения, для бесцементных известковых, шлаковых, золыстых (др.) мелкозернистых бетонов автоклавная обработка является практически единственным методом твердения при производстве сборных изделий и конструкций.

В зависимости от особенностей цементирующих веществ мелкозернистые бетоны автоклавного твердения могут быть условно подразделены на следующие три группы.

Группа 1-ая Цементные мелкозернистые бетоны. Прочность и другие свойства этих бетонов обусловлены главным образом твердением собственно цемента, являющегося достаточно активным вяжущим веществом и в обычных условиях твердения. К этой группе могут быть отнесены автоклавные мелкозернистые бетоны на основе цементов, имеющих марку не ниже "200".

Группа 2-ая Мелкозернистые бетоны на основе малоактивных цементно-песчаных материалов. В этой группе могут быть отнесены мелкозернистые бетоны, основные физико-механические характеристики которых связаны, в основном, с твердением материалов, по составу родных с цементом, но в обычных условиях (при нормальном выжаривании и пропаривании без выжаривания) проявляющих вяжущие свойства в слабой степени. Сюда мы относим мелкозернистые автоклавные бетоны на основе молотых гравельных шлаков, сланцев и некоторых других топливных зол.

Группа 3-ья Силикатные мелкозернистые бетоны. К данной группе могут быть отнесены мелкозернистые бетоны, цементирующие вещества которых образуются в процессе автоклавной обработки. Сюда относятся мелкозернистые бетоны, изготовляемые, например, из известки и песка.

Известно, что при обычных условиях твердения ни известка сама по себе, ни смесь ее с песком не образуют



цементирующих веществ, обеспечивающих более или менее значительную прочность, близкую к прочности, достигаемой при автоклавной обработке этих материалов.

Ниже рассматриваются основные технологические особенности и физико-механические свойства мелкозернистых автоклавных бетонов, относящихся к трем перечисленным группам.

В нашем сообщении идет речь о мелкозернистых бетонах сравнительно большого объемного веса (1800—2200 кг/м<sup>3</sup>), которые в соответствии с классификацией, принятой для обычных бетонов, могут быть отнесены к тяжелым.

#### Цементные мелкозернистые бетоны

В настоящее время производство тонкозернистых армоцементных и прокатных изделий ориентировано в основном на применение вместо щебня крупных кварцевых песков. Но в этом случае изготовление мелкозернистого цементного бетона сопряжено с высокими расходами цемента, на 1 т бетона затрачивается 600—800 кг высокомарочного цемента („600“—„700“).

Исследования, проведенные в Институте новых строительных материалов АС и А СССР, МИСИ им. Куйбышева и ГИСИ им. Чкалова [3, 4, 5] и др. показали, что при автоклавной обработке можно получать высокопрочные мелкозернистые бетоны при нормальных расходах цемента средними марками („400“—„500“).

Для изготовления высокопрочных мелкозернистых цементных бетонов (марок „300“—„700“) применяются рядовые кварцевые пески, в том числе мелкие. Зачастую используются для применения в обычном бетоне. Расход песка составляет 1—1,2 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> бетона. Расход цемента марок „400“—„500“ для бетонов марок „300“—„700“ составляет 225—450 кг/м<sup>3</sup>. Цемент необходимо применять песчаный, содержащий в своем составе 25—30% молотого песка. Применение песчаного цемента способствует, с одной стороны, повышению прочности бетона на 20—40%, по сравнению с бетонами на чистом или глинистом цементе, при одном и том же общем расходе вяжущего, с другой стороны—экономии глинистого цемента.

Полупромышленный опыт изготовления изделий на опытно-производственном заводе РОСНИИМС'а в Красково, опыты работы автоклавного бетона Горьковского завода сборного железобетона № 1 и др. показали, что производство изделий конструктивных мелкозернистых цементных бетонов может быть осуществлено на стандартном оборудовании, серийно выпускаемом для предприятий сборного железобетона.

Высокопрочные мелкозернистые цементные бетоны (марок „300“—„700“) характеризуются следующими показате-

По данным Е. С. Силаенкова [6] прочность шлакопесчаного бетона после 8 месяцев воздушного и водного хранения на 25 - 35% выше, чем через два дня после запаривания.

Исследования поведения стальной арматуры, проведенные к настоящему времени, показывают, что при воздушном хранении бетона коррозия практически не развивается. При попеременной воздушно-влажностной сохранности арматуры зависит в основном от плотности бетона.

Установлено, что усадка в шлакопесчаных бетонах высушенных при относительной влажности 65 - 75% и температуре 18—20°, составляет 0,1—0,15 мм/м.

Экономические расчеты показывают, что применение отвалных шлаков взамен известки при производстве автоклавных материалов позволяет снизить стоимость продукции на 10—15%.

## 2. Сланцезольные мелкозернистые бетоны

Использование отходов промышленности для производства строительных материалов является важной народно-хозяйственной задачей. В этом смысле использование в качестве вяжущего сланцевых зол при производстве сборных деталей и элементов зданий из мелкозернистых автоклавных бетонов представляет большой практический интерес. Основные технологические принципы изготовления строительных деталей из мелкозернистых автоклавных бетонов с использованием пылевидной сланцевой золы Эстонской ССР в качестве вяжущего разработаны Институтом строительства строительных материалов АН ЭССР при участии Института новых стройматериалов АН А ССР [7].

Установлено, что сланцевая зола, применяемая в жестких и пластичных бетонных смесях, должна подвергаться предварительному гашению во избежание объемных изменений в отформованных изделиях. Подожигательное влияние на прочность сланцезольных бетонов оказывает введение 15—20% молотого песка, как это имеет место и в цементных и силикатных мелкозернистых автоклавных бетонах.

Сланцевая зола в условиях автоклавной обработки является высокоактивным вяжущим веществом. На ее основе способом вибрации получены [7] мелкозернистые бетоны прочностью 350—675 кг/см<sup>2</sup> с объемным весом 1800—2100 кг/м<sup>3</sup>. При воздушном хранении прочность бетонов увеличивается, при водном не снижается. Модуль упругости мелкозернистого сланцезольного бетона имеет значения в пределах 2,25 · 10<sup>9</sup>—3,5 · 10<sup>9</sup> при кубиковой прочности от 350 до 675 кг/см<sup>2</sup>. Коэффициент размягчения этого бетона составляет в среднем 0,78—0,86. Морозостойкость

сланцезольного бетона достигает 100 циклов и более. Она повышается с увеличением объемного веса бетона. Коррозия арматуры в сланцезольном мелкозернистом бетоне примерно в два раза больше, чем в силикатном бетоне, изготовляемом по гидратной схеме, поэтому при изготовлении из этого бетона армированных изделий необходимо принимать меры для защиты арматуры от коррозии.

Опытными работами показано, что из мелкозернистого сланцезольного бетона можно изготовлять крупные стеновые и фундаментные блоки, панели покрытий и перекрытий и другие сборные строительные детали.

Стоимость сырьевых материалов для сланцезольного мелкозернистого бетона в условиях ЭССР примерно в 2,5 раза ниже, чем для силикатных бетонов (на известке).

В настоящее время при заводе силикатного кирпича "Кварц" (Таллин) строится цех крупных стеновых блоков, где предусматривается освоение и дальнейшее совершенствование промышленной технологии производства строительных деталей из автоклавного сланцезольного бетона.

## Силикатные мелкозернистые бетоны

Для изготовления этого вида мелкозернистого бетона также широко можно использовать местные материалы.

В настоящее время на силикатного мелкозернистого бетона на ряде заводов (Москва, Ленинград, Лисичанск, Куйбышев, Орна, Калинин и другие) изготовляются крупные стеновые блоки и армированные (железобетонные) конструкции. В 1958 году из силикатного бетона было изготовлено около 150 тыс. м<sup>3</sup> крупных стеновых блоков и около 50 тыс. м<sup>3</sup> железобетонных изделий.

Производство силикатобетонных и железобетонных изделий осуществляется по двум технологическим схемам, отличающимся друг от друга главным образом способом подготовки исходных материалов (известки и песка).

Один из них можно назвать условно "гидратным", а другой — "клиноточным".

При гидратном способе подготовки сырья гашение известки в присутствии воды производится предварительно до укладки этой смеси в формы, где и готовятся изделия, причем гашение известки происходит в условиях, приводящих к ее пушению, что значительно снижает плотность, прочность и морозостойкость силикатного бетона. Кроме того, силикатобетонная смесь, полученная по гидратному способу, не обладает способностью схватываться и приобретать еще

до автоклавной обработки некоторую прочность, обеспечиваемую при формировании крупноразмерных пустотелых изделий.

Кислочный способ производства силикатных изделий значительно прогрессивнее гидратного способа. Исследования НИИИПСМ, РОСНИИМС, ГИСП им. Чкалова и др. показали [8, 9, 10], что силикатный бетон, получаемый по кислочному способу, по основным своим свойствам аналогичен обычному цементному бетону и по прочности на сжатие может достигать до марки „500“. Морозостойкость его составляет 50—100 циклов. Это дает возможность изготавливать из такого бетона как армированные, так и неармированные конструкции по той же номенклатуре, что и изделия из цементного бетона.

Опыт предприятий, освоивших производство крупных силикатных блоков (Москва, Орша, Куйбышев, Сталинград и др.) и железобетонных конструкций (Москва, Калинин, Лисичанск и др.) показал не только практическую реальность замены обычных бетонных и железобетонных конструкций конструкциями из силикатного бетона, но и подтвердил значительную экономичность этой замены: себестоимость силикатобетонных и железобетонных изделий оказалась на 15—25% ниже себестоимости аналогичных изделий из цементного бетона.

Другое различие в технологии подготовки сырья состоит в том, что при гидратном способе, в случае применения дезинтеграторной обработки, тонко перемалывается песок. Вследствие этого в изделиях снижается модуль упругости, что исключает возможность изготовления длинномерных игибаемых конструкций. Указанные выше соображения подтверждают необходимость рекомендовать для вновь строящихся предприятий по производству изделий и конструкций из силикатного бетона кислочную схему подготовки сырья.

Технологическое оборудование для производства крупных силикатных блоков и железобетонных конструкций в основном может быть применено из числа серийно выпускаемого для предприятий сборного железобетона.

Отдельные виды специального технологического оборудования требуют особого проектирования, освоения и организации серийного их выпуска. В первую очередь это относится к оборудованию для формирования крупных силикатных блоков для наружных стен с теплотехническими пустотами. В настоящее время формовочное оборудование для производства таких блоков серийно не выпускается, что может затормозить развитие этой отрасли производства силикатных изделий.

#### Основные выводы и предложения.

1. Мелкозернистые бетоны - новый прогрессивный вид бетонов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о своевременности широкого внедрения этих бетонов в практику производства сборных деталей и конструкций. Использование мелкозернистых бетонов для изготовления деталей и конструкций даст существенный экономический эффект — снижение стоимости изделий на 15—25% ... уменьшение расхода цемента, сокращение объема перевозок.

2. В производстве сборных деталей и конструкций из мелкозернистых бетонов (в том числе и цементных) основным методом твердения должен быть метод автоклавной обработки.

3. В будущем семилетии наряду со строительством заводов сборного бетона и железобетона, рассчитанных на использование обычных (крупнозернистых) бетонов, необходимо строить также заводы по производству подобных изделий из мелкозернистых автоклавных бетонов, ориентированных на применение различных исходных материалов в зависимости от местных условий.

4. Необходимо расширить комплексные исследования вопросов производства и применения сборных конструкций и деталей из различных видов мелкозернистых бетонов и разработку проектов предприятий разной мощности и разного типа, в том числе домостроительных комбинатов.

В технологических исследованиях особое внимание необходимо уделить усовершенствованию способов формирования крупноразмерных изделий (панелей разного назначения, стеновых блоков для наружных стен и др.)

#### Литература

1. Скрамтаев Б. Г., Попов П. А. и др. Строительные материалы и изделия. Госстройиздат, 1948 г.
2. Сборник технико-экономических показателей промышленности сборных железобетонных изделий. Интограф, издание НИИ железобетона, 1957 г.
3. Шварцгайд М. С., Крайнова Г. В. Высокопрочные мелкозернистые цементные бетоны. „Бетон и железобетон“, № 8, 1956 г.
4. Волженский А. В., Попов П. П. Получение прочных и качественных бетонов методом автоклавной обработки. Отчет НИИИ им. Куйбышева, 1957 г.
5. Шуров А. Ф. Некоторые строительные свойства высокопрочного силикатного бетона и возможности его напряженного армирования. Труды ГИСП им. Чкалова, № 29, 1958 г.
6. Автоклавные шлакопесчаные бетоны на базе тяжелых металлургических шлаков. Сборник статей по общей реляции А. В. Волженского, ЦСТП, 1958 г.
7. Шварцгайд М. С., Рейман В. А. Подготовка литейной сланцевой золы в случае ее применения в автоклавных бетонах. Известия АН ЭССР, серия технических и физико-математических наук, № 2, 1958 г.

8. Шварцман М. С., Гурвич Н., Гусакон В. П. Сборник детали из силикатных бетонов. "Строительные материалы", № 6 1957 г.

9. Гусакон В. П. Исследование прочностных и деформационных свойств силикатного бетона на негашеной извести. Сборник "Свойства автоклавных бетонов и изделий из них", Госстройиздат, М., 1958 г.

10. Рунин В. К. Многоугольные панели перекрытия из армированного силката. Бюлетень Горьк. СХУ "За технический прогресс Горький", 1958 г.

А. Ф. ЩУРОВ  
кандидат технических наук

(Горьковский инженерно-строительный институт)

### Применение высокопрочных мелкозернистых бетонов автоклавного твердения для напряженно-армированных конструкций

Технология изготовления высокопрочных мелкозернистых бетонов автоклавного твердения, их прочностные и деформационные свойства изучены недостаточно и это является одной из причин того, что в производстве предварительно напряженных конструкций автоклавный бетон еще не занимает должного места.

Ниже приводятся некоторые результаты наших исследований, которые показывают, что автоклавная обработка позволяет достигать высокой прочности при сравнительно небольших расходах вяжущего и получать безусловно мелкозернистые бетоны с минимальной ползучестью. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для напряженно-армированных конструкций, так как обеспечивает сохранение предварительного напряжения в арматуре.

Получение высокопрочного мелкозернистого бетона. Известка-кипелка и часть песка предварительно подвергается совместному тонкому помолу в шаровой мельнице СМ-14 на типовой помольной установке. Полученная таким образом молотая смесь применяется в качестве известково-песчаного вяжущего для приготовления силикатного бетона. Для производства вяжущего использовался мелкий намывной песок с р. Оки и комовая известка второго сорта.

Отношение между известью и песком составляло 1:1-1:1,2, при этом тонкость помола известково-песчаного вяжущего характеризовалась удельной поверхностью по Тонарову 4100-5200  $cm^2/g$ . В качестве заполнителя использовался крупный кварцевый песок с объемным весом 1,52  $t/m^3$ , модулем крупности 2,86 и средним диаметром 0,69  $mm$ , а также мелкий песок с объемным весом 1,48  $t/m^3$ .

152

модулем крупности 0,99 и средним диаметром 0,24  $mm$ . Химические составы песков и извести приведены в табл. 1. Для приготовления цементно-песчаного бетона применялся портландцемент марки "400" Волжского завода. Кликерный цемент также предварительно подвергается совместному помолу с песком в соотношении 1:1. Тонкость помола цементно-песчаного вяжущего характеризовалась остатком 5-7% на сите 5100  $cm^2$ .

Опытные образцы в виде кубов размером 100x100x100  $mm$ , призм 100x100x400  $mm$  и призм с расширенными концевыми частями 100x100x700  $mm$  формовались из пластичных смесей на вибростоле при частоте колебаний 3000 в мин. и амплитуде 0,5  $mm$ .

Таблица 1

Вид материала	Химический состав, %					п.п.п.
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
Мелкий песок с р. Оки	97,82	1,15	0,51			0,5
Крупный песок	71,23	7,95	9,51	2,0	слезы	8,4
Известка комовая	1,02	3,13	71,59	0,7		14,60

Автоклавная обработка опытных образцов производилась при 5  $atm$  по режиму 2:3:2 час.

Для регулирования скорости гидратации негашеной извести в воду затворения вводилась сульфитно-спиртовая барда в количестве 0,5% от веса извести.

Влияние содержания вяжущего в мелкозернистом автоклавном бетоне на его прочность показано на рис. 1, из которого видно, что первоначальное увеличение содержания вяжущего в бетоне ведет к повышению прочности, что вызвано образованием большего количества цементирующего вещества и уменьшением гранулометрического состава песка.

Повышение содержания вяжущего более 45-50% вызывает снижение прочности. Это связано с тем, что в монолите получается чрезмерное количество новообразований, и, кроме того, увеличение содержания окиси кальция в смеси приводит к образованию высокоосновных гидросиликатов, а часть извести оказывается просто не связанной в новообразования. Последние обстоятельства всегда ведут к падению прочности [1].

Из графиков на рис. 1 видно, что при содержании в мелкозернистом автоклавном бетоне известково-песчаного вяжущего от 20 до 50% (что соответствует расходу активной извести соответственно 1,9-3,00  $kg/m^3$ ) можно получать бетон с кубиковой прочностью от 200 до 600  $kg/cm^2$ .

153

Замена извести на клинкерный цемент не приводит к существенному повышению прочности мелкозернистого автоклавного бетона.

Результаты опытов (рис. 1б) показывают, что образцы бетона, приготовленного на негашеной извести при прочих

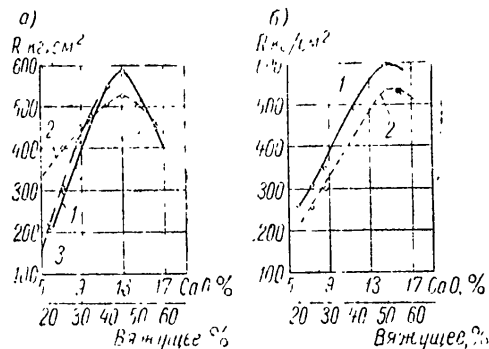


Рис. 1. Графики зависимости прочности мелкозернистого автоклавного бетона от содержания в нем вяжущего а) — при различных видах песка б) при различном состоянии извести в вяжущем

равных условиях имеют прочность на 10-20% больше, чем образцы на гидратной извести. Кроме того, улучшаются остальные свойства бетона, отформованного на негашеной извести, и особенно повышается морозостойкость [2]. Это объясняется тем, что применение негашеной извести мелкозернистым силикатным бетону ведет к качественному улучшению структуры монолита в сторону повышения плотности и уменьшения размеров кристаллов гидросиликата в цементирующихся новообразованиях [3].

Одним из важных факторов прочности бетона является количество воды в бетонной смеси. Зависимость прочности мелкозернистого бетона различных составов от водоцементного отношения (В/Ц) показана на рис. 2. Характерно, что здесь, как и в обычных бетонах, сохраняется закон водоцементного отношения, т. е. наибольшая прочность достигается при некотором, определенном для данного состава и условий укладки, водоцементном отношении. При изготовлении опытных образцов, а также и четкий в производственных условиях, оптимальная пластичность формируемой смеси мелкозернистого бетона характеризовалась осадкой конуса СтройЦНИЛ 1,5-2 см.

Прочность мелкозернистых автоклавных бетонов при сжатии и растяжении. Прочностные характеристики изучались для бетонов с кубиковой прочностью от 250 до 524  $\text{kg/cm}^2$ .

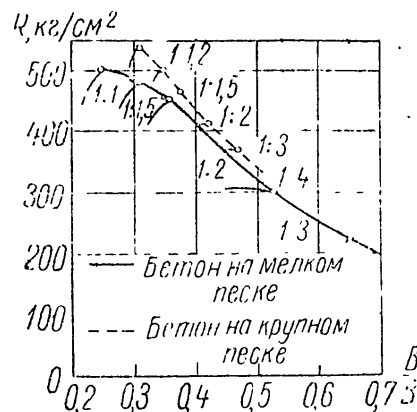


Рис. 2. Графики зависимости прочности мелкозернистого силикатного бетона от водоцементного отношения

Данные опытов показывают, что при кубиковой прочности от 250 до 500  $\text{kg/cm}^2$  призматическая прочность и прочность при растяжении для таких бетонов находятся примерно в таких же соотношениях, как это имеет место в обычных бетонах на клинкерном цементе.

Характерным для мелкозернистых автоклавных бетонов является хрупкое разрушение, вызванное, по всей вероятности, двумя основными причинами. Первое это то, что в процессе водотермической обработки и особенно в момент остывания готового монолита возникают значительные собственные напряжения, которые сохраняются, видимо, в некоторой мере и во «взрослом» бетоне. Второй причиной является мелкозернистая структура, в которой отсутствует крупный инертный, служащий дополнительным сопротивлением развитию микротрещин.

Модули деформации мелкозернистых автоклавных бетонов.

Мелкозернистая структура песчаных бетонов связана с повышенным количеством цементирующих новообразований в единице объема монолита, что, в свою очередь, приводит к повышению деформативности и снижению значений моду-

лен упругости. Повышение прочности бетона выше  $300 \text{ кг/см}^2$  путем увеличения содержания в нем вяжущего не приводит к существенному росту модуля упругости, так как это связано с увеличением количества цементирующей массы в бетоне. При содержании в бетоне цементирующей массы выше  $50\%$ , независимо от прочности, рост модуля упругости прекращается.

Замена мелкого песка на крупный позволяет повысить модуль упругости автоклавного бетона на  $50-60\%$ .

Усадка и ползучесть мелкозернистых автоклавных бетонов. Усадка представляет собой укорочение от высыхания, при котором избыточная вода испаряется, и масса тела, постепенно твердеет, сжимается. Ползучесть также связана в основном с тепловыми свойствами и ее свойствами.

Прежде чем перейти к описанию опытов и их анализу, необходимо отметить некоторые структурные особенности автоклавного бетона, имеющие прямое отношение к деформациям ползучести и усадки. Исследования [1,3] показывают, что получающиеся в автоклавном бетоне новообразования представляют собой находящееся в стадии кристаллизации телеобразное вещество.

В отличие от обычных бетонов, где процесс кристаллизации протекает длительное время и совпадает часто с процессом развития деформации усадки и ползучести, в автоклавных бетонах максимальное отношение объема кристаллического скелета в единице объема цементирующей массы к объему тела достигается в течение 12-14 часов при температуре  $174^\circ$  и в последующем практически остается постоянным.

Второй особенностью является то, что телеобразная фаза цементирующего вещества, образующегося при температуре  $174^\circ$ , в остывшем монолите приобретает совершенно новую структуру, чем структура тела, твердеющего в нормальных условиях портландцемента. Характерным для автоклавных бетонов является дегидратация их в процессе охлаждения, благодаря чему телеобразное вещество изменяет свои механические свойства в сторону повышения вязкости.

Таким образом, обезвоживание и повышение вязкости тела автоклавного монолита должно вести к уменьшению усадки и ползучести.

В данной работе исследовались мелкозернистые силикатные бетоны с равной кубиковой прочностью.

Результаты измерения деформации ненагруженных образцов в течение года дают основания предположить, что мелкозернистые силикатные бетоны, приготовленные на негашеной извести, после автоклавной обработки при воздушносухом хранении не проявляют деформации усадки.

156

Результаты опытов по изучению деформаций ползучести показывают, что деформации ползучести мелкозернистых силикатных бетонов при напряжениях до  $0,5 R_{пр}$  носят затягивающий во времени характер.

Полученные экспериментально и вычисленные аналитически расчетные характеристики ползучести даны в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики мелкозернистого (силикатного) бетона	Кубиковая прочность $R_c$ , $\text{кг/см}^2$	Время испытания $t$ , суток	Отношение $\sigma$ к моменту времени $t$ , $\sigma \cdot 10^{-4} = \frac{\sigma}{t} \cdot 10$	Предельное относительное величина, $\sigma \cdot 10^{-4}$ , $\sigma \cdot 10^{-4} \cdot L$
Силикатный бетон на мелком песке, состав 1 1,5, $\sigma = 0,5 R_{пр}$	300	310	0,19	0,52
Силикатный бетон на мелком песке, состав 1 2,3, $\sigma = 0,5 R_{пр}$	533	310	0,36	0,99
Силикатный бетон на крупном песке, состав 1. 5; $\sigma = 0,55 R_{пр}$	400	340	0,78	0,60

Потери предварительного напряжения в арматуре от усадки и ползучести. Для потерь предварительного напряжения в арматуре имеют значение размеры усадки и ползучести, начиная с момента создания предварительного напряжения. В зависимости от количества формовочной влаги и размеров изделия при выходе из автоклава плотный мелкозернистый бетон имеет влажность от 5 до  $10\%$ .

Исходя из того, что на практике большей частью имеют дело с элементами относительно крупных размеров и с достаточно устойчивыми температурно-влажностными условиями, следует считать конечные размеры усадки принимать в пределах  $0,1-0,15 \text{ мм/м}$ .

Поскольку пока еще не накоплено достаточно экспериментальных данных для предварительно напряженных конструкций из автоклавного мелкозернистого бетона, следует принять меры ползучести  $S$  на  $20\%$  больше, приведенных в табл. 2.

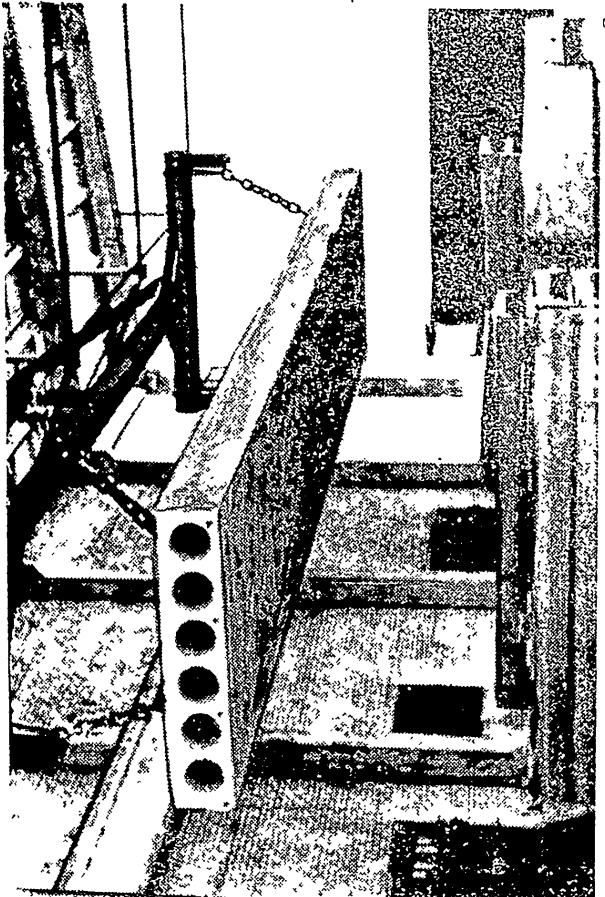
Для автоклавных бетонов, характеристики которых указаны в табл. 2, при предварительном обжатии в  $150 \text{ кг/см}^2$  и модуле упругости арматуры  $E_a = 1800000 \text{ кг/см}^2$  максималь-

157

ные потери предварительного напряжения в арматуре от усадки и ползучести по данным наших опытов могут составлять  $2210 \text{ кг/см}^2$

потерь предварительного напряжения в арматуре от усадки и ползучести при применении автоматизированной обработки значительно уменьшается.

Изготовлены предварительно напряженные конструкции из автоклавного мелкозернистого бетона. На заводе сборного железобетона № 1



По данным проф. М. К. Сызорова, д.т.н. и Г. Г. Мухомова и К. С. Каваринского (1967) мелкозернистый бетон естественного затвердевания имеет прочность при таких же напряженных воздействиях в 1,5-2 раза больше, чем составленный через 3 дня  $2880 \text{ кг/см}^2$  и через 18 дней —  $8290 \text{ кг/см}^2$ . Это сравнение справедливо для длины

Горьковского сооружения организованно и изготовление сборных элементов из мелкозернистого бетона с предварительным напряжением опорными вентриерами. Цементно-песчаный

бетон состава 1:4 на крупном речном песке и портландцементе марки "100" приготавливается в мешалке принудительного действия.

Железобетонные элементы формируют в металлических формах на вибростеле; подвижность бетонной смеси характеризуется осадкой стандартного конуса 2-3 см. Придавая элементам двутаврового профиля осуществляется с помощью штампа-пригруза. Для образования арматурных каналов в форму до бетонирования закладываются газовые трубы, которые извлекаются через 1-2 часа после бетонирования.

Отформованные изделия 4-5 часов выдерживаются в помещении цеха, а затем в формах направляются в автоклавы. Обработка в автоклавах ведется при 8 атм по режиму 5-6+5 часов.

Средняя кубиковая прочность мелкозернистого бетона элементов опор сразу после автоклавной обработки составляет 312 кг/см<sup>2</sup>, прочность бетона в возрасте 6 месяцев равна 320 кг/см<sup>2</sup>.

На этом же заводе были изготовлены и испытаны опытные предварительно напряженные многослойные панели перекрытия из мелкозернистого силикатного бетона. Натяжение стержневой арматуры на формы осуществлялось электротермическим способом. Арматура периодического профиля диаметром 18 мм из упрочненной стали марки Ст. 5 имела предварительное напряжение на поддоне 4000 кг/см<sup>2</sup>.

Мелкозернистый силикатный бетон на крупном речном песке, приготовленный в бетономешалке принудительного действия, укладывался в формы на механизированной вибростальной установке И-1-51, предназначенной для изготовления таких же панелей из обычного бетона.

Термовлажностная обработка панелей велась в автоклаве при 8 атм по режиму 5-6+5 час. Через 4-5 часов после выгрузки из автоклава анкера стержней обрезались автоклавно и предварительное напряжение арматуры передавалось на бетон. Кубиковая прочность мелкозернистого силикатного бетона в момент передачи на него предварительного напряжения составляла 250 кг/см<sup>2</sup>.

#### Общий вывод

Высокая прочность, небольшие деформации и устойчивость к воздействию влаги, а также сравнительно высокие показатели прочностных строительных свойств, позволяют рекомендовать мелкозернистый автоклавный бетон для изготовления предварительно напряженных конструкций.

#### Литература

1. Бутт Ю. М., Майер А. А. Изучение процесса взаимодействия кремнезема с окисью кальция при автоклавной обработке. Труды ОСНИИМС, № 11 Промстройиздат, 1956 г.
2. Щуров А. Ф. Мелкозернистые известково-песчаные бетоны повышенной прочности. Известия ВУЗ'ов МВО СССР, Строительство архитектуры, № 2, Новосибирск, 1958 г.
3. Стулалечко П. П., Щуров А. Ф. Особенности структуры получения высокопрочного силикатного бетона. МВО СССР Труды ВПИ им. В. В. Куйбышева, том 19, вып. 7, 1957 г.
4. Симонов М. З., Матузов Т. Г., Карачетян К. С. Применение высокопрочных мелкозернистых бетонов для предварительно напряженных конструкций. Бетон и железобетон, № 5, 1958 г.

В. И. СКАТЫНСКИЙ

кандидат технических наук

(Научно-исследовательский институт строительных конструкций АС и А СССР)

#### Исследование деформативности и собственных напряжений силикатных и армосиликатных автоклавных изделий

В решении общих задач развития народного хозяйства СССР на 1959-1965 гг. намечена грандиозная программа строительства и производства строительных материалов и изделий.

В решении общих задач производства сборного железобетона, экономии цемента и снижения стоимости строительных-монтажных работ в текущем семилетии должны играть значительную роль силикатные автоклавные материалы, производство которых в последние годы значительно расширилось. В настоящее время наряду с силикатным кирпичом и стеновыми силикатными блоками все шире применяются армированные силикатные изделия.

Силикатные автоклавные материалы плотной структуры объемного веса 1,9 - 2,1 т/м<sup>3</sup>) находят применение как стеновых ограждающих конструкциях, так и в несущих армированных. В первом случае прочность материала не всегда бывает полностью использована, при определении решений решающим является термическое сопротивление, а экономический эффект не так велик, ибо сопоставление делается с местными стеновыми материалами. Во втором случае прочность может быть полностью использована: технологическая характеристика здесь уже не играет роли, экономическая эффективность значительно повышается,



так как сопоставление тут делается со сборным железобетоном, в сравнении с которым армосиликатные конструкции дают до 40—50% экономии денежных средств и не требуют цемента и крупного заполнителя.

Номенклатура силикатных и армосиликатных изделий все время расширяется. уже производится стеновые блоки, ребристые плиты покрытий и перекрытий, многопустотные панели перекрытий, различные балки и пр. Из силикатных и армосиликатных конструкций построены ряд зданий в Северодонецке, Tallине, Орше, Ленинграде, Калининне, Сталинграде и других городах.

При производстве силикатных изделий у нас применяются различные технологические приемы. Известь применяется как в виде пушонки, так и в виде кипелки. Различными методами ведется подготовка силикатной массы, формовка изделий, применяются различные добавки.

В тресте Лисхимпромстрой на протяжении ряда лет производятся по довольно широкой номенклатуре силикатные и армосиликатные изделия и конструкции, причем в качестве местной уплотняющей добавки применяется глина, в связи с чем изделия именуются известково-глинно-песчаными

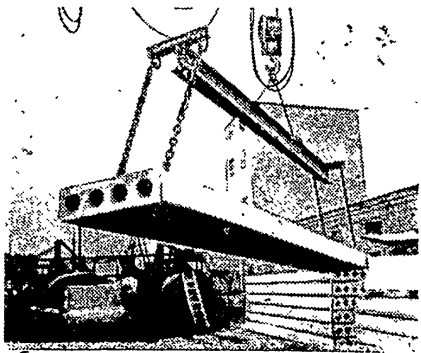


Рис. 1. Многопустотные армосиликатные плиты перекрытия, изготовленные в тресте Лисхимпромстрой

Производятся стеновые блоки, из которых уже построено свыше тридцати трехэтажных жилых домов, а также армированные изделия, плиты покрытий типа ПКЖ  $1,5 \times 5$  м, балки и многопустотные плиты перекрытий пролетом 4,5—6 м (рис. 1). Всего уже выпущено около 20 тыс. м<sup>3</sup> крупно-

габритных силикатных и армосиликатных изделий при этом получена значительная экономия денежных средств.

Учитывая положительный опыт производства и принимая во внимание ряд исследований, выполненных АС и У УССР в сотрудничестве с трестом Лисхимпромстрой, разработаны временные технические условия на производство и применение армированных силикатных (известково-глинно-песчаных) изделий, выпускаемых заводом силикатного кирпича треста Лисхимпромстрой\*.

ВТУ в 1956 г. одобрены Госстроем СССР и являются первым нормативным документом по армосиликатным конструкциям.

Однако более широкому распространению силикатных и армосиликатных конструкций все же препятствует их недостаточная изученность.

В Академии строительства и архитектуры Украинской ССР в сотрудничестве с трестом Лисхимпромстрой выполнены ряд исследований силикатных материалов и армосиликатных конструкций ползучести и усадки материалов, жесткости армосиликатных конструкций при кратковременном и длительном нагружении, а также собственных напряжений (самонапряжений) в армосиликатных конструкциях.

Ползучесть исследовалась на образцах различных марок силикатных автоклавных материалов, внеочередное применение в производстве. Образцы были изготовлены в производственных условиях на заводах в Северодонецке, Tallине и Дарице по принятой на этих заводах технологии. Одновременно с силикатными образцами в тех же условиях исследовались бетонные образцы, служившие эталоном.

Исследование ползучести проводилось в специально запроектированных пружинных приборах при сжатии, растяжении, сдвиге арматуры и изгибе. На протяжении опыта напряжение оставалось постоянным и составляло 0,15 соответствующего предела прочности. Усадка определялась на ненагруженных образцах, находящихся в тех же условиях, что и нагруженные образцы. Образцы исследовались в воздушно-сухом и насыщенном водном состоянии. Деформации нагруженных и ненагруженных образцов измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Длительность наблюдения составляла около одного года.

В нижеприведенной таблице приведены данные таблицы по кратковременной и длительной деформативности при сжатии призм размером 80 × 80 × 300 мм.

Наименования материалов, армированных в таблице, сохранены местные и в связи с их условностью заключены в кавычки.

Из указанных опытов вытекает, что деформации ползучести и характеристики ползучести изменяются со временем

Наименование материалов	Предел прочности на растяжение в кг/см <sup>2</sup>	Средняя величина деформации при растяжении в %		Характеристика прочности
		в момент разрушения	в момент начала образования трещин	
Цементно-песчаный бетон	140	0,4	0,8	1,48
Силикатный бетон	140	0,8	1,6	1,25
Щебеночный бетон	140	1,1	2,2	2,26
Силикат	190	1,7	3,4	1,17
Бетон	225	2,2	4,4	3,21

по выходящему закону  $\lambda$  силикатных материалов и плотной структуры значения величин деформации ползучести так же

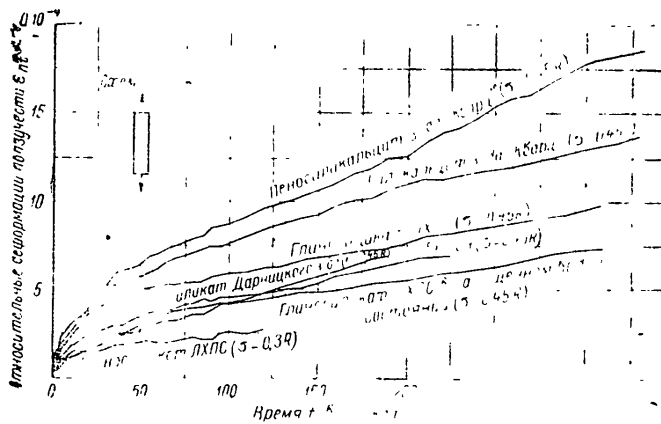


Рис. 2. Деформированность элементов в зависимости от продолжительности действия нагрузки.

же порядка, как и у бетона. Характеристика ползучести силикатных материалов значительно ниже, характерна для ползучести бетона.

Кроме того, было экспериментально установлено, что модуль упругости силикатных материалов в течение 100 дней не изменился.

На рис. 2 приведен свойный график деформированности в течение суток призм размером 80 x 80 x 300 мм. Кривые являются средними значениями, полученными при испытании трех образ-

цов, а деформации образца получены как средние из показаний двух индикаторов, установленных на противоположных сторонах образца.

Эксперимента была проверка несущей способности на натуральных образцах, изготовленных в цехе Института Стройматериалов (ребристые панели 1,5 x 5,0 м, дворовые балки пролетом 5 м, многослойные панели пролетом 4 и 6 м), подвергнута обо нованности определения несущей способности по II и III для железобетона.

Однако проверка жесткости армосиликатных элементов показала, что прогибы элементов значительно ниже величин, вычисленных по формулам для железобетона. Так, фактически прогиб середины дворовой балки пролетом 5 м при эксплуатационной нагрузке составляет 0,7 вычисленного по нормам для железобетона (II и III 123 - 55).

М. С. Шварцман и В. П. Гусakov также указывают, что у армосиликатных элементов фактический прогиб при испытаниях на кратковременное нагружение меньше, чем полученный по расчету.

Причину повышенной жесткости армосиликатных элементов в сравнении с железобетонными необходимо искать в технологии изготовления армированных изделий. При термальной обработке изделий, как это указано ниже, приводит к созданию остаточных растягивающих напряжений в арматуре и сжимающих напряжений в затвердевшей силикатной массе, вследствие различных коэффициентов линейного расширения стали и силикатной массы в интервале температур, соответствующих остыванию изделий.

После установления остаточных напряжений в арматуре армосиликатных конструкций заводского изготовления прямыми опытами, были проведены специальные опыты.

Для исследования собственных напряжений были изготовлены силикатные образцы длиной 1 м, прямоугольного сечения 300 x 220 и 300 x 120 мм, центральные армированные одним стержнем из горячекатанной стали марки Ст.5 периодического профиля диаметром 12 и 16 мм. Посредине длины образца имелось сквозное окно (рис. 3). В окне на арматуре при помощи специального держателя крепился индикатор.

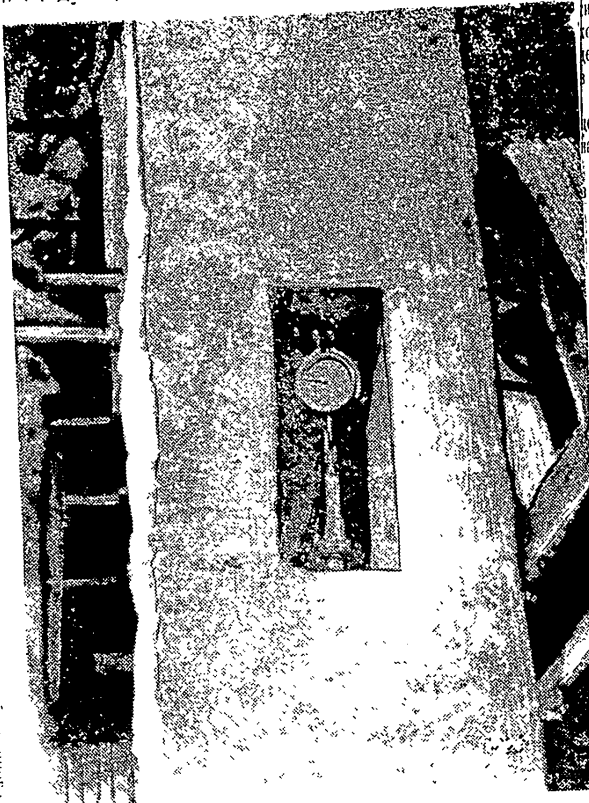
База замера деформации составляла 200 мм.

В окне вне базы измерения при помощи поковки стержень разрезался. По длине стержня определялось напряжение в арматуре. Наибольшие напряжения составляли 700 - 1300 кг/см<sup>2</sup>.

Таким образом, факт наличия напряжений в арматуре армосиликатных элементов при условии надежной анкеровки можно считать установленным. Причем напряжения создаются самыми технологическими условиями получения

основной технологической операции — тверднении массы не требуют никаких дополнительных средств. Процесс волникования самонапряжения можно представить в следующем виде. В сформованном изделии ничто

Рис. 3. Армирование плиты сформованной в автоклаве. Вид в автоклаве.



ная прочность стальной арматуры в процессе ее нагревания расширяется. При выдерживании в среде насыщенного пара в условиях гидротермальной обработки происходит твердение известковой массы и ее уплотнение, что уже удлинившимися арматурой. После окончания выдержки в автоклаве обработка (8-10 часов) снижает ее температуру и температуру арматуры, застревающая в стальной массе, стремится

растянуться в ней, возникают растягивающие усилия, на стальной массу передаются сжимающие усилия. При этом происходит упругое обжатие элемента, процесс протекает в течение небольшого промежутка времени, необходимого для установления равновесного режима в системе сталь-известковая масса — наружная среда. В этот же период происходит и сокращение элемента, вызванное температурными деформациями вследствие чего деформации и напряжения арматуры соответственно снижаются.

Кроме того, из-за места статично протекающие процессы высыхания и ползучести, которые также снижают напряжения в арматуре.

На рис. 4 представлена схема деформирования арматуры в процессе гидротермальной обработки изделия, последую-

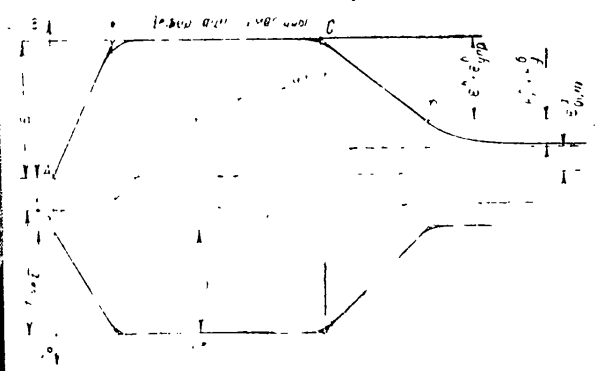


Рис. 4. Схема деформирования арматуры в процессе гидротермальной обработки изделия. А — до начала выдержки; В — после окончания выдержки; С — после окончания выдержки и выдержки в автоклаве.

его окончания и выдерживании (эксплуатации). На торцевой поверхности среза в часках, ниже оси времени дан график температуры, соответствующий технологическому режиму гидротермальной обработки. По оси времени дана кривая изменения прочности со временем (без масштаба прочности) и график деформирования арматуры. Участок АВ (исходное состояние стержня) соответствует давлению и времени, указанным на участке ВС в условиях гидротермальной обработки. Длина арматуры не меняется, на участке СГ длина стержня уменьшается, происходит упругое обжатие элемента и его температурное сокращение, за точкой Г по направлению к точке Д (которая может отстоять как угодно далеко от точки Д)

развиваются процессы усадки и ползучести силикатно-массы, которые также приводят к сокращению длины арматуры и снижению в ней растягивающих напряжений.

Исходя из изложенного, представляется возможным написать выражение для остаточной деформации арматуры  $\epsilon_{ост}^a$  в элементе с симметричным армированием сечения

$$\epsilon_{ост}^a = \epsilon_1^a - (\epsilon_1^a + \epsilon_{упр}^a + \epsilon_{нт}^a + \epsilon_{\nu 1}^a),$$

где

$\epsilon_1^a$  — полная относительная деформация арматуры при нагревании от температуры до температуры гидротермальной обработки

$$\epsilon_1^a = \alpha_1^a \Delta t$$

$\alpha_1^a$  — коэффициент линейного расширения стали

$$\Delta t = t_{техн} - t_0$$

$t_{техн}$  — технологическая температура гидротермальной обработки,

$t_0$  — температуры среды до обработки и после остывания изделия,

$\epsilon_{\nu 1}^a$  — температурная деформация за твердение силикатбетона при охлаждении от  $t_{техн}$  до  $t_0$ ,

$$\epsilon_{\nu 1}^a = \alpha_1^a \cdot \Delta t$$

$\alpha_1^a$  — коэффициент линейного расширения силикатбетона в интервале температур  $t_{техн}$  до  $t_0$ ,

$\epsilon_{упр}^a$  — относительная упругая деформация силикатбетонного элемента, соответствующая остаточному напряжению в бетоне  $\sigma_{ост}^b$  вызванная остаточным напряжением в арматуре  $\sigma_{ост}^a$

$$\epsilon_{упр}^a = \frac{\sigma_{ост}^a}{E_a} = \frac{F_a \sigma_{ост}^a}{F_a E_a} = \sigma_{ост}^a \frac{F_a}{F_a E_a}$$

$E_a$  — модуль упругости силикатбетона,

$F_a$  — площадь силикатбетонного сечения,

$\mu = \frac{F_a}{F_b}$  — коэффициент армирования сечения,

$\epsilon_{нт}^a$  — относительная деформация ползучести силикатбетона при напряжении, возникшем в элементе с остаточным напряжением в арматуре ( $\sigma_{ост}^a$ ) на момент времени

$t$  может быть выражена простейшей экспоненциальной зависимостью

$$\epsilon_{нт}^a = \epsilon_{нт}^a (1 - e^{-bt}),$$

$\epsilon_{нт}^a = \epsilon_{нт}^a - \infty$  — предельная деформация ползучести; определяется для данного материала экспериментально,

$b$  — параметр, определяемый из эксперимента, основание натуральных логарифмов,

$\epsilon_{\nu 1}^a$  — относительная деформация усадки силикатбетона на момент времени  $t$ , по аналогии с ползучестью может быть выражена также экспоненциальной зависимостью

$$\epsilon_{\nu 1}^a = \epsilon_{\nu 1}^a (1 - e^{-bt}),$$

$\epsilon_{\nu 1}^a = \epsilon_{\nu 1}^a - \infty$  — предельная деформация усадки; определяется экспериментально

Представим выражение для остаточной деформации в арматуре в развернутом виде:

$$\epsilon_{ост}^a = \alpha_1^a \Delta t \cdot \left[ \alpha_1^a \cdot \Delta t + \epsilon_{нт}^a + \mu \frac{F_b}{F_a} \cdot \epsilon_{нт}^b (1 - e^{-bt}) + \epsilon_{\nu 1}^a (1 - e^{-bt}) \right]$$

или после преобразования

$$\epsilon_{ост}^a = \frac{(\alpha_1^a + \alpha_1^b) \Delta t (\epsilon_{нт}^a + \epsilon_{\nu 1}^a) (1 - e^{-bt})}{1 + \mu \frac{F_b}{F_a}}$$

Следует указать, что в приведенной формуле не учтены потери напряжения от ползучести силикатбетона, вызываемые эксплуатационной нагрузкой.

Кроме того, все приведенное относится к анкеровке арматуры в бетоне, исключаяющей ее скольжение. В общем случае необходимо вводить коэффициент, на который нужно умножить всю правую часть выражения для  $\epsilon_{ост}^a$ . При наличии скольжения он будет равен 0, а при полном отсутствии скольжения будет равен 1.

Определив величину остаточной деформации, получаем остаточное напряжение:

$$\sigma_{ост}^a = \epsilon_{ост}^a E_a$$

Из формулы для величины остаточной деформации в арматуре следует ряд выводов.

Для получения больших остаточных напряжений в элементе необходимо применять такие разновидности силикатных материалов, которые обладают низким коэффициентом линейного расширения, незначительной усадкой и ползучестью и высоким модулем упругости при сжатии.

Существенное влияние на величину остаточного напряжения имеет температура гидротермальной обработки: чем

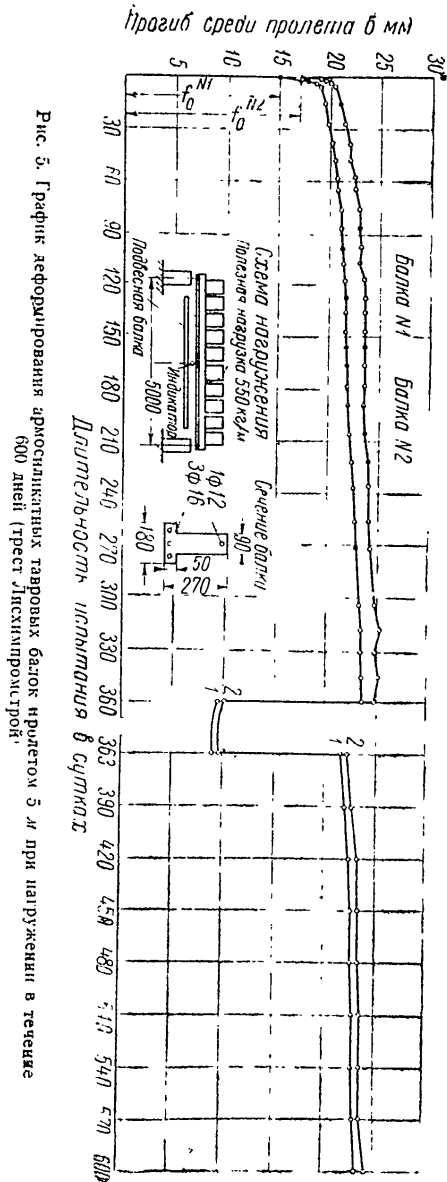


Рис. 5. График деформирования армосиликатных тавровых балок размером 5 м при нагружении в течение 600 дней (трест Лисхимпромстрой).

выше температура, тем напряжение больше. Малые значения коэффициента армирования приведут к большим величинам остаточных напряжений.

Возникновение самоупреждений в армосиликатных конструкциях является благоприятным. Оно повышает жесткость конструкции и его учет приведет к дополнительному эффекту при расчете армосиликатных элементов по II (деформации) и III (трещины) предельным состоянием.

В центральной лаборатории треста Лисхимпромстрой более двух лет тому назад были поставлены под постоянную нагрузку две тавровые армосиликатные балки пролетом 5 м. Прогибы посредине пролета замеряются индикатором, установленным на подвесной траверсе, опирающейся на те же опоры, что и сами балки.

На рис 5 представлен график деформирования балок на протяжении 600 суток. Из графика следует, что значительное нарастание прогиба имело место в течение первой недели, затем нарастание ощущалось в течение 2-2,5 месяцев, после чего имеет место затухание.

На 360-й день после нагружения балки были полностью разгружены. Причем упругая деформация разгрузки мало отличается от упругой деформации загрузки. Так, для балки № 1 эти величины были соответственно 15 и 14 мм, а для балки № 2 -- 17 и 15 мм. В течение трех дней балки оставались без нагрузки, при этом упругое восстановление деформации составило соответственно 0,50 и 0,69 мм. Потом балки были загружены прежней нагрузкой. Незначительное отличие упругих деформаций нагружения и разгрузки после выдерживания указывают на то, что модуль упругости материала не претерпел больших изменений во времени, а в структуре материала, образовавшейся при автоклавной обработке, не произошло изменений, которые могли бы оказать влияние на механические свойства материала. Следует упомянуть, что при первом нагружении балки были взяты непосредственно из автоклава и были горячими.

В течение двух недель после повторного нагружения балки систематически и обильно увлажнялись при помощи фитилей и непосредственной поливки. Как видно из графика, увлажнение балок, находящихся под нагрузкой, не сказало на их деформативности.

В целом за весь период наблюдений балки показали вполне удовлетворительную работу.

Опыт производства и применения армосиликатных конструкций показал целесообразность их более широкого и смелого распространения не только в жилищном и гражданском, но и в промышленном строительстве, а проведенные исследования подтвердили высокие качества новой разновидности сборного железобетона армосиликатных изделий.

Э. Г. ОЙМАА  
кандидат технических наук  
В. А. РЕЙМАН  
старшего научного сотрудника  
(Институт строительства и строи-  
тельных материалов Академии наук ЭССР)

## Основы технологии производства строительных деталей из автоклавного сланцево-зольно-песчаного бетона

### Введение

Наиболее высокие вяжущие свойства по сравнению с другими видами промышленных отходов от переработки искомого горючего сланца имеет пылевидная зола от сжигания сланца в шахтомельничных топках, удаляемая мультициклонами.

Большое значение пылевидной золы объясняется не только относительно высокими вяжущими свойствами, а также большими, из года в год все увеличивающимися количествами этой золы. Если в 1958 году получалось примерно 0,25 млн. т. пылевидной золы, то к 1961 году, с пуском первой очереди Прибалтийской электростанции, ее будет примерно 1 млн. т. в год.

Вяжущее, полученное путем помола пылевидной золы характеризуется медленным нарастанием прочности в обычных условиях твердения в основном за счет содержания в золе  $32CaO \cdot SiO_2$ . С повышением температуры твердения и достигаемая при этом прочность значительно повышаются. Весьма эффективной оказывается автоклавная обработка бетонов, приготовленных на базе пылевидной золы. При автоклавной обработке, одновременно с ускорением твердения наиболее полно используются вяжущие свойства золы, вследствие чего значительно повышается прочность бетона и улучшаются его физические свойства.

Целесообразность применения автоклавной обработки определяется также возможностью замены дорогостоящего крупного заполнителя (щебня) более распространенным и дешевым сырьем — песком.

Основными технологическими вопросами, требующими разрешения для организации производства строительных деталей из автоклавного сланцево-зольно-песчаного бетона являются: подготовка пылевидной золы с целью улучшения ее вяжущих свойств, состав смеси, способы приготовления и уплотнения смеси, условия твердения и основные физические механические свойства получаемого бетона.

Вопросы подготовки пылевидной золы с целью улучшения вяжущих свойств исследованы, но в данном докладе эти исследования не публикуются. Из проведенных исследований был сделан вывод, что золу-унос необходимо обрабатывать предварительно без песка в обычных тасильных барабанах в течение 40—60 мин. при 4 *атм*.

В вопросе приготовления и уплотнения зольно-песчаной смеси была установлена опытным путем эффективность применения помола ташеной известки, обработки вяжущей смеси в бегунах и применения длительного вибрирования при частоте 1000 колебаний в минуту с пригрузкой в 25 г/см<sup>2</sup>.

### Оптимальное давление при автоклавной обработке сланцево-зольно-песчаного бетона

Для выяснения оптимального режима автоклавной обработки сланцево-зольно-песчаный бетон различного состава подвергался гидротермальной обработке различной продолжительности при давлениях от 0 до 25 *атм* (см. табл. 1). Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Как общую закономерность можно отметить, что прочность на сжатие образцов определенного состава возрастает с увеличением выдержки под давлением до определенного максимума. При более длительной выдержке наблюдается либо сохранение достигнутой максимальной прочности, либо в большинстве случаев некоторое ее снижение. Максимальная достигаемая прочность зависит от состава бетона и достигается тем быстрее, чем выше давление (температура) при автоклавной обработке. Следовательно, наблюдается полная аналогия с данными, полученными С. А. Кржвинским [4] и другими авторами при исследовании динамики автоклавного твердения известково-песчаных смесей.

2. Наблюдается тенденция, что достигаемая максимальная прочность в некоторой мере зависит и от величины давления. Так например, при 24 *атм* при данных выдержках один состав не достиг таких прочностей, какие он имел при более низком давлении. Далее можно отметить, что более богатый состав содержит пылевидной золы, тем при более низком давлении он приобретает максимальную прочность.

Оптимальное соотношение пылевидной золы и песка в бетонной смеси для получения максимальной прочности с повышением давления изменяется в сторону уменьшения содержания золы в смеси.

3. В самой пылевидной золе молекулярное соотношение между  $SiO_2$  и  $CaO$ , свободными и связанными в минералах,

которые вступают в реакции при автоклавной обработке, составляет около 1:1, что примерно соответствует соотношению в новообразованиях при автоклавной обработке извлекательно-песчаных и цементно-песчаных бетонов [5 и 6]. Из-за неравномерного распределения кремнезема, содержащегося в золе, он не способен полностью реагировать со свободной окисью кальция и цементными минералами золы. Поэтому при автоклавной обработке сланцево-золистых бетонов необходимо вводить дополнительно кремнезем.

Активное участие песка в реакциях при автоклавной обработке доказано тем, что при применении пропаривания (при температуре 80° С) введение тонкого молотого песка практически не привело к повышению прочности, а при запаривании в автоклаве прочность этих бетонов превышает в среднем в 1,7 раза прочность образцов с таким же содержанием золы, но без добавки молотого песка.

Полученные данные позволили определить оптимальное давление при автоклавной обработке сланцево-золистых изделий. При этом за основу приняты следующие соображения.

1) В заводских условиях, очевидно, целесообразно изделия не доводить до максимальной прочности. Вблизи максимума нарастание прочности замедляется, и уже не целесообразно затрачивать время на незначительное повышение прочности. Однако необходимо подойти достаточно близко к максимальной точке и остановиться на некотором участке кривой, чтобы возможные отклонения от заданного режима не вызвали резкого снижения прочности. Поэтому за основу была взята прочность, составляющая 90% от максимальной.

2) Основным критерием при определении оптимального давления следует считать общую продолжительность автоклавной обработки, так как от этого непосредственно зависит производительность автоклава. Следовательно, оптимальным является давление, при котором для достижения прочности, составляющей 90% от максимальной, потребуется минимальная общая продолжительность обработки.

Средние выдержки при соответствующих давлениях, которые необходимы для достижения прочности, составляющей 90% от максимальной, нанесены на рис. 1 (кривая 1). Кривая 2 на рис. 1 дает общую продолжительность автоклавной обработки в зависимости от давления. Для этого к кривой 1 добавлено время, необходимое для выпуска пара и выпуска его из автоклава, как оно было принято в наших опытах.

На рис. 1 видно, что с повышением давления пара общая длительность цикла запаривания сокращается до определенного предела. В данном случае наблюдается интенсивное сокращение общего цикла запаривания до 12 мин. При пе-

№ со- ставляющей части	Состав сланцево-золистого бетона			Образцы, изготовленные на золе К-13															
	Содержание в процентах от общего веса (ухой смеси)			0 ами (..80°)				1 ами				8 ами				12 ами			
	Гашеной золы	песка карьера Мининка	мелкого молотого песка	часов		часов		часов		часов		часов		часов		часов			
1	15	85	-	9	35	48	36	58	139	77	161	179	201	17	152	164	196	168	
2	25	72	-	36	101	143	109	161	199	120	230	268	218	45	272	244	217	210	
3	35	65	-	23	127	172	131	191	204	116	223	292	230	58	256	268	204	165	
4	100	-	-	29	157	173	131	157	163	117	177	105	138	33	312	290	312	338	
5	25	80	15	36	100	129	198	143	211	136	295	313	290	33	292	276	312	338	
6	25	80	15	33	97	115	103	290	327	89	313	359	319	110	344	384	356	385	

№ со- ставляющей части	Образцы, изготовленные на золе К-13				Образцы, изготовленные на золе К-35				Продолжение				
	16 ами	12	20	0	16 ами	12	20	0	24 ами	12	20	0	24 ами
1	104	187	196	167	61	135	140	188	140	141	141	136	136
2	176	228	241	203	74	222	189	248	159	177	151	151	151
3	173	159	151	139	73	147	157	164	142	110	130	130	130
4	120	105	118	129	92	231	230	256	221	241	240	240	240
5	231	336	299	290	92	309	313	288	289	309	309	309	309
6	347	404	349	346	285	309	313	288	289	309	309	309	309

Принятая нагрузка: 1 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на изгиб; 2 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на сжатие; 3 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на сжатие; 4 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на сжатие; 5 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на сжатие; 6 Образцы кубы 7x7x7 см нагружены до предела на сжатие.

переходе с 12 *ати* на 16 *ати* общий цикл запаривания с автоклава только примерно на один час, а далее практически уже не уменьшается главным образом за счет увеличения длительности впуска и выпуска пара.

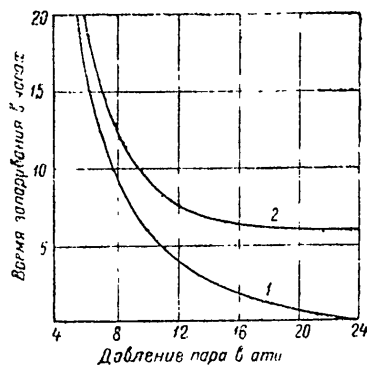


Рис. 1 Объемные изменения сланцезольно-песчаного бетона в зависимости от точности помола золь. Состав смеси 35:65 (золь К 12 песок).  
1-удельная поверхность золь 1500  $см^2/г$  (без помолы).  
2-удельная поверхность золь 3000  $см^2/г$ .

Следовательно, применять для автоклавной обработки сланцезольно-песчаных изделий давление свыше 16 *ати* является нерациональным.

При выборе между 12 и 16 *ати* следует учесть следующие обстоятельства:

- 1) многие крупногабаритные детали требуют более длительных впуска и выпуска пара, чем было принято в наших опытах, этим дополнительно уменьшается эффективность применения более высокого давления пара;
- 2) с увеличением давления пара при запаривании увеличиваются необходимые капиталовложения на автоклав, трубопроводы и котлы;
- 3) с увеличением давления пара увеличиваются потребности в топливе;
- 4) при давлениях пара свыше 12 *ати* наблюдается тенденция снижения максимальной достигаемой прочности изделий запаривания сланцезольно-песчаных изделий.

Учитывая все вышесказанное, оптимальным давлением для запаривания сланцезольно-песчаных изделий следует считать примерно 12 *ати*. В этом случае полный цикл автоклавной обработки будет составлять примерно 8—10 часов.

### Основные физико-механические свойства автоклавного сланцезольно-песчаного бетона

Прочность на сжатие автоклавного сланцезольного бетона, также как известково-песчаных бетонов, увеличивается при хранении в воздушно-сухих условиях. Однако в отличие от известково-песчаного бетона, его прочность при водном хранении не снижается с течением времени. Коэффициент размячтения сланцезольно-песчаного бетона составляет в среднем 0,78—0,86.

Модуль упругости автоклавного сланцезольно-песчаного бетона в пределах 225 000—350 000  $кг/см^2$  при кубиковой прочности от 350 до 675  $кг/см^2$ . Удлинение при насыщении водон воздушно-сухого бетона составляло от 0,008 до 0,027%.

Морозостойкость бетона состава 1:3 при объемном весе 2000  $кг/м^3$  — в среднем 25 циклов и при 2100  $кг/м^3$  — 100 циклов.

Предварительное пропаривание перед запариванием повышает морозостойкость автоклавного сланцезольно-песчаного бетона от 1,5 до 5,5 раз.

Последующее выдерживание до 6-ти месяцев во влажном воздухе, в воздушно-сухих условиях и в воде практически не влияет на морозостойкость.

Коррозия арматуры в сланцезольно-песчаном бетоне примерно в 3 раза превышает коррозию в цементном бетоне автоклавного твердения и примерно в 2 раза превышает коррозию арматуры в бетоне, приготовленном на известно-песчаном.

Повышение плотности сланцезольного бетона путем центрифугирования и введение добавки портландцемента (80—160  $кг/м^3$ ) не дало заметного снижения коррозии арматуры.

Добавка 1,5 и 3% (от веса золь)  $NaNO_2$  значительно снизила коррозию арматуры.

В результате полупромышленных опытов изготовлены пустотелые панели перекрытий с обыкновенной и предварительно напряженной арматурой, поперечные блоки, крупные стеновые блоки с целенаправленными пустотами и вентиляционные блоки с крупными пустотами. Несмотря на пережидание в обычной бетономешалке и вибрирование на обычном вибростолу марка бетона в этих изделиях была в пределах 200—300  $кг/см^2$ .

Можно полагать, что в случае применения соответствующих агрегатов для приготовления и уплотнения мелкозернистого бетона, а также добавки молотого песка, марка изделия будет достигать 400—500  $кг/см^2$ .



Экономия от применения автоклавных силикатно-песчаных бетонов обусловлена в основном весьма дешевыми сырьевыми материалами.

Соответствующие данные показывают, что стоимость сырьевых материалов для силикатно-песчаного бетона (вместе с гашением и помолом) в условиях Удмуртской ССР примерно в 2,5 раза ниже, чем при известково-песчаных бетонах.

#### Литература

1. Отсман Р. Э. О влиянии фактора при гашении при высокой температуре сырьевых материалов. Преподобный политехнический институт, серия У, выпуск 1, 1954 г.
2. Шварцман М. С., Радзин Е. А. Превращательная подложка выделенной створки при ее применении в автоклавных бетонах. Известия Академии наук СССР, том VII, серия технических и физических наук, № 1, 1955 г.
3. Отсман Р. Э. Производство одной из разновидностей силикатно-песчаных бетонов при помощи строительных установок повышенного качества. Авторский дисертационный отчет ученого секретариата Ленинградского политехнического института, 1955 г.
4. Краеминский С. А. Изготовление динитрида процесс) автоклавного твердения силикатно-песчаных бетонов на основе известки. Сборник трудов РОСНИИМ, № 7, 1951 г.
5. Бутт Ю. М., Радзин Е. А. Реакции в системе  $\text{CaO-SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  и гидратация силикатов кальция. Сборник трудов РОСНИИМ, № 10, 1956 г.
6. Малинина Л. А. О составе перлитовидного и оптимального давления пара при автоклавной обработке бетонных изделий. Журнал "Бетон и железобетон", № 2, 1957 г.

**В. И. ГУСАКОВ**

кандидат технических наук  
Институт исследовательский институт  
новых строительных материалов  
АС и А СССР

#### О строительных свойствах силикатного бетона и армированных конструкций из него

Как показала общепризнанная работа научно-исследовательской организации (НИИИНСМ АС и А СССР, РОСНИИМ, Госплана РСФСР, ГИИИ им. В. В. Куйбышева, ГИИИ им. В. И. Чапаева), проведенные под руководством действительных членов АС и А А. В. Волженского, Н. А. Попова и члена корреспондента АС и А Ю. М. Бутт, в большинстве случаев высокие показатели свойств материалов получают из известково-песчаных смесей, когда гашеная известь гидратируется в присутствии песка, применяется в условиях, обеспечивающих использование эффекта гидратационного схватывания ее в отформованных изделиях.

Основываясь на этих исследованиях, НИИИНСМ АС и А СССР и РОСНИИМ Госплана РСФСР разработали технологию изготовления из известково-песчаной смеси всех конструктивных элементов здания [1].

Согласно второй технологии, смесь составляется из гашеной извести, молотого песка, природного песка и воды.

После перемешивания компонентов, укладки в формы и вибрирования при помощи оборудования, применяемого для изготовления железобетонных конструкций, в смеси происходит гидратационное схватывание извести, затем отформованные изделия подвергаются водотермической обработке при давлении не менее 8 атм. Получаемая при этом одна из разновидностей бетона названа силикатным бетоном.

В зависимости от состава смеси может быть получен силикатный бетон с марками прочности от "150" до "500".

Исследования, проведенные НИИИНСМом (В. И. Гусаков, М. С. Шварцман, М. Ф. Тинатова, В. В. Телешина) совместно с РОСНИИМом (Л. М. Хавкин, С. П. Левин) и ГИИИ им. В. И. Чапаева (А. Ф. Щуров и В. К. Рунов) показали, что строительные свойства силикатного бетона и изделий из армированных конструкций из него равноценны свойствам обычного бетона и железобетона.

Ниже излагаются результаты проведенных исследований.

#### 1. Строительные свойства силикатного бетона.

Силикатный бетон представляет собой сложную многофазную систему, состоящую из цементирующих новообразований, кристаллических сростков непрореагировавшего с кремнеземом гидрата окиси кальция, зерен песка и тонкоизмельченных частиц его. В силикатном бетоне имеются замкнутые и связанные между собой поры, заполненные водным раствором минеральных веществ и воздухом.

Силикатный бетон отличается от цементного безавтоклавного бетона меньшими размерами каменных включений, большим объемом цементирующих новообразований, более высокой степенью их вязкости и значительно более совершенной связью с ними зерен песка.

Изучение процесса взаимодействия кремнезема с гидроксидом кальция при автоклавной обработке, показало, что цементирующие новообразования силикатного бетона состоят из таких же соединений, какие возникают при безавтоклавном твердении цемента.

Гидросиликаты цементирующего вещества образуются при взаимодействии гидроксидов кальция с кремнеземом, получающимися за счет разъедания оболочек зерен и частиц песка [2, 3].

До последнего времени считали, что гидросиликаты кальция, возникающие при твердении цемента образуют гелевую фазу цементного камня, а для того следует рассматривать как структурированную совокупность кристаллических частиц субмикроскопических размеров, окруженных пленками водного раствора, удерживаемых молекулярными поверхностными силами" [4]. Петрографический анализ микроструктуры силикатного бетона [3, 5] не дает прямых подтверждений того, что гидросиликаты в силикатном бетоне образуют кристаллический скелет, но сопоставление микроструктуры новообразования и синтезированных гидросиликатов [6] дает основание считать, что составляющие новообразования силикатного бетона сформированы по общим законам образования кристаллических структур. Петрографический анализ в данном случае затруднен субмикроскопическими размерами кристаллов, а также тем, что ветви начального каркаса раздваиваются от весьма близко расположенных первичных кристаллов, взаимно тесно переплетаются.

Обрастание начального каркаса приводит к сопряженному кристаллов различных его ветвей, где появляются многочисленные коагуляционные контакты. В условиях автоклавной обработки образование кристаллической структуры протекает быстрее, упаковка ее получается более плотной, число коагуляционных контактов увеличивается, толщина водных пленок уменьшается, адсорбционные силы, действующие на этих контактах, возрастают. Ветви кристаллического каркаса проникают в микротрещины, имевшиеся на поверхности песка и в каверны, образовавшиеся при его разьединении. Обрастание каркаса кристаллами и в этом случае приводит к возникновению многочисленных коагуляционных контактов, вследствие чего связь новообразований с зернами и частицами песка приобретает по существу монолитный характер.

Связь зерен гравия и песка с новообразованиями в цементном бетоне значительно слабее, поскольку она обеспечивается главным образом склеиванием, механическим сцеплением и силами трения.

Монолитная связь зерен песка с цементирующими новообразованиями, отсутствие крупных включений в виде гравия или щебня, большой относительный объем цементирующих новообразований и высокая степень их вязкости определяют основные особенности прочностных и деформативных свойств силикатного бетона, отличающие его от безавтоклавного цементного бетона с крупным заполнителем.

Многочисленные опыты, проведенные по методике при которой при исследовании свойств бетона показали, что при меньшей прочности, предел прочности при сжатии от изгиба предел прочности при растяжении у силикатного бетона

несколько выше, нежели у обычного бетона соответствующих марок прочности. Это может быть объяснено монолитностью связи зерен песка с цементирующими новообразованиями и большей однородностью структуры.

Нормативные сопротивления силикатного бетона могут быть приняты такими же или даже несколько повышены по сравнению с обычным бетоном.

Существенные различия силикатного бетона по сравнению с обычным проявляются в деформативных свойствах. С одной стороны, увеличение относительного объема цементирующих новообразований приводит к снижению модуля упругости. Так, у силикатного бетона, изготовленного на песке средней крупности, снижается в 1,5 - 1,85 раза, а на мелком песке в 2,2 - 2,5 раза.

С другой стороны, монолитность связи с новообразованиями зерен песка, уменьшение их крупности, отсутствие крупных включений в виде гравия или щебня и увеличение вязкости новообразований приводят к существенному снижению деформации ползучести, возникающих при длительном воздействии нагрузки.

Благодаря этому, предельная величина характеристики ползучести при напряжениях, составляющих 0,5 от разрушающих, для силикатного бетона на мелком песке  $m = 0,9 - 1,0$ , а на песке средней крупности  $m = 1,7$  (данные А. Ф. Шурова) [4], и то время как для обычного бетона на крупном заполнителе  $m = 3,9$  (данные В. П. Скалынского).

Если учесть приведенные значения характеристик ползучести и предельные значения отношения модулей упругости силикатного и обычного бетона, то окажется, что полные деформации (кратковременные + деформации ползучести) у силикатного бетона, изготовленного так же на мелком песке, так и на песке средней крупности, не превышают полных деформаций обычного бетона.

Сопоставление указанных выше деформативных характеристик и особенностей структур силикатных и обычных бетонов позволяют высказать предположение, что главным двигателем механизма развития деформаций ползучести является концентрация напряжений в цементирующих новообразованиях, возникающих вокруг включений.

Деформативные свойства бетона определяются свойствами его компонентов и условиями их взаимодействия. Механические свойства цементного камня и различия весьма различны. Например, модуль упругости кварца в 6 - 7 раз больше модуля упругости цементного камня.

Благодаря этому, при воздействии нагрузки в цементном камне вокруг каждого зерна включения возникают местные возмущения напряжений. При кратковременном действии нагрузки эти возмущения оказывают малое влияние на де-

формативность. В этом случае деформации приблизительно вдвое больше достаточной для их восприятия. Силы пропорциональны сумме произведений относительных объемов компонентов на их модули упругости. Этим объясняется падение модуля упругости с уменьшением размера включений, а следовательно, и их относительного объема. Воздействие местных возмущений на деформации в подзупени также способно вызвать увеличение вязкости в некоторой мере проявляется при длительном нагружении.

При относительном сжатии в цементном камне вблизи включений возникают местные концентрации касательных напряжений, главным образом, по площадкам, ориентированным вдоль направления действия сжимающей силы.

Эти касательные напряжения вызывают смещения внутри кристаллического сростка, обусловленные скольжением по цементным тампем, которое по настоящему времени коагуляционным контактам и по местам изломов кристаллов в шпатель не отмечается. Эта схема дает теоретическое объяснение тому, что деформации поучает в наиболее слабых звеньях каркаса кристаллического бетона, связанного с деформацией кристаллической структуры. Скольжение по коагуляционным контактам кристаллического сростка со включениями вызывает нарушение этих контактов. Равномерность сжатия обычно проявляется при этом сдвиг включений относительно друг друга. Проникающий при этом сдвиг включений относительно друг друга приводит к концентрации нормальных напряжений в цементном камне под и над зернами включений. Профилирование арматуры приводит к увеличению по площадкам перпендикулярно направлению действия сжимающей силы в 1,5 раза.

Благодаря этому, при профилировании арматуры в конструкциях нормальных напряжений вызывает уплотнение и увеличение толщины пленок при вытеснении водного раствора в микропорах. Коррозия арматуры, закрытие микрощелей, изменение радиуса капилляров и излома структурных составляющих цементного камня.

Одновременно с развитием местных уплотнений происходит перераспределение напряжений. Нормальные напряжения на участках их концентрации уменьшаются, а на участках увеличения, что и приводит к росту деформации в целом.

Все эти процессы сдерживаются поверхностными силами абсорбционными электрическими силами, действующими между водными пленками и частицами, которые окружают, а также между стенками капилляров и прилегающими к ним слоями водного раствора, заполняющего капилляры. Поэтому развитие деформации протекает в течение длительного времени, причем значительная часть имеет необратимый характер из-за необратимых структурных изменений, происходящих в цементном камне.

В силикатном бетоне размеры включений значительно меньше, чем в обычном бетоне, поэтому величина касательных напряжений в местах их концентрации снижается. Монолитная связь цементного камня с зернами песка оказывает

бетона и получения данных по массовому испытанию контрольных образцов, изготовленных в заводских условиях коэффициент однородности силикатного бетона при сжатии может быть принят равным 0,50.

Таким образом, автоклавный силикатный бетон, изготовленный с использованием эффекта гидратационного схватывания, имеет прочностные деформативные и другие строительные свойства, не уступающие свойствам обычного бетона.

**II. Несущая способность и жесткость армированных изгибаемых элементов из силикатного бетона**

Аналогичность физико-механических свойств силикатного и обычного бетонов позволила предположить, что армированные элементы из силикатного бетона будут работать аналогично обычным железобетонным конструкциям.

Экспериментальная проверка этого предположения проводилась путем испытания большого числа балок прямоугольного и таврового сечения, а также многослойных панелей. Элементы имели длину от 3,0 до 6,0 м. Процент армирования изменялся от 0,38% до 4,65%, марка силикатного бетона от „200“ до „500“. Часть балок и многослойных панелей была подвергнута длительному действию нагрузки.

Одновременно с опытными элементами готовились образцы кубов размером 20х20х20 см для определения предела прочности при сжатии, призм 20х20х80 см для определения призмочной прочности и модуля упругости, и оставались концы арматуры для определения ее предела текучести.

Конструирование элементов и предварительный их расчет выполнялись по правилам, принятым для железобетонных конструкций.

В опытах измерялись прогибы, а также деформации сжатой и растянутой зон.

При изучении несущей способности проводилось сравнение фактической несущей способности по изгибающему моменту с теоретической.

Сопоставление фактической и теоретической несущей способности по перерезывающей силе проведено на небольшом количестве балок, поэтому полученные при этом сравнении выводы являются предварительными.

Исследование жесткости проводилось путем сравнения фактических величин прогибов  $f$ , относительной высоты сжатой зоны  $\xi_r$ , отношения средних относительных деформаций растянутой зоны к относительным деформациям арматуры по сечению с трещиной  $\psi = \frac{\epsilon_{st}}{\epsilon_s}$ , коэффициента

уменьшения жесткости при длительной нагрузке  $\theta$  с теоретическими значениями  $f$ ,  $\xi_r$ ,  $\psi$  и  $\theta$ , определенными по НитУ 123-55, с учетом влияния увеличения характеристики

$$\alpha = 3 \frac{I_n}{I_0} \rho \text{ и } R_{np} R_p = 2 \frac{I_n}{I_0} \cdot R_p$$

из-за меньшей величины модуля упругости силикатного бетона  $E_c$ .

Кроме того, анализировалось развитие деформации сжатой и растянутой зон и прогибов как в период загрузки, так и при длительном действии нагрузки.

Для четырех балок, подвергнутых длительному нагружению, проведено прямое сопоставление результатов наблюдений с полученными в опытах, проведенных в ЦНИПС'е Р. В. Поновым и Я. М. Пемировским для железобетонных балок, имеющих одинаковые с балками из силикатного бетона геометрические размеры, марку бетона, схему армирования и величину нагружения.

Полученные результаты позволяют сделать нижеследующие выводы.

1. Изгибаемые армированные конструкции из силикатного бетона проходят все стадии напряженного состояния, какие возникают при изгибе железобетонных конструкций.

2. Несущая способность по изгибающему моменту и поперечной силе может определяться по методам, принятым для железобетонных конструкций.

3. Предельные проценты армирования могут приниматься по НитУ 123-55.

4. Расчетные коэффициенты  $\xi_r$ ,  $\rho$ ,  $r$  и  $\psi$  могут определяться по формулам, установленным для железобетонных конструкций. При этом должны применяться нормативные значения  $E_c^0$  и  $R_p^0$  для силикатного бетона.

5. Прямое использование вспомогательных таблиц в приложениях к НитУ 123-55 возможно только при определении расчетных коэффициентов  $\xi_r$ ,  $r$  и  $\rho$ .

Использование упомянутых таблиц для определения  $\psi$  возможно только при условии введения к действительной величине  $\alpha$  поправочного коэффициента, равного

$$\frac{250}{2 \frac{E_c^n}{E_c^0} \cdot R_p^n}$$

6. Коэффициенты снижения жесткости при длительном действии нагрузки  $\theta$  должны быть снижены. В частности, для прямоугольных двутавровых и коробчатых сечений можно применять  $\theta = 1,5$  (вместо 2 по НитУ 123-55).

7. В НитУ 123-55 должны быть внесены дополнения, позволяющие учесть влияние изменения модуля упругости

бетона на величину  $\psi$ , поскольку использование приведенных в нормах значений  $\psi$  приводит к занижению жесткости армированных конструкций из легкого бетона, расчет которых нормами предусматривается.

8 Фактическая несущая способность армированных железобетонных конструкций несколько выше определенной расчетом исходя из фактических значений предела текучести и предела прочности силикатного бетона при сжатии.

9. Фактические прогибы армированных конструкций из силикатного бетона оказываются, как правило, меньше теоретических, определенных с учетом уточнения значения для силикатного бетона.

Это объясняется самоупрочнением, развивающимся в арматуре при снижении температуры во время автоклавной обработки. Величина этого самоупрочнения, по нашим наблюдениям, составляет 300-400 кг/см<sup>2</sup>. По данным В. П. Скатынского [8], самоупрочнение достигает 800 кг/см<sup>2</sup>. По-видимому расхождение определяется особенностями влияния формы сечения, процента армирования, режима автоклавной обработки и других факторов. Влияние этих факторов еще не изучено, поэтому учесть самоупрочнение в расчете жесткости еще нельзя.

10. Прогибы изгибаемых армированных конструкций из силикатного бетона при кратковременном нагружении в 10, 30 и 60% больше, чем у железобетонных конструкций, причем относительные деформации сжатия зоны сжатия, растянутой зоны меньше соответствующих деформаций железобетонных конструкций.

11. Прогибы при длительном действии нагрузок растут значительно меньше, чем в железобетонных конструкциях. Вследствие этого, прогибы оказываются одинаковыми уже через три месяца после нагружения.

Меньший рост прогибов определяется меньшими деформациями ползучести сжатой зоны балок из силикатного бетона. За 3 месяца они выросли на 16-19%, а за 15 месяцев на 30%, в то время как у железобетонных балок величина их составляла соответственно 90-127% и 122-170%.

12. Рост прогибов при длительном нагружении при уменьшении процента армирования и степени нагружения увеличивается из-за не законченности процесса трещинообразования в период нагружения.

### Заключение

На основании проведенных исследований можно считать доказанным, что из известково-песчаной смеси по описанной выше технологии, обеспечивающей использование эффективного гидратационного схватывания извести в отформованных

изделиях, могут быть получены изгибаемые конструкции, равноценные железобетонным.

Расчет этих конструкций может производиться по методам, принятым для железобетонных конструкций. При этом должны учитываться особенности характеристик силикатного бетона.

Проведенные исследования позволили разработать технические условия на проектирование армированных панелей перекрытия из силикатного бетона. В технических условиях приведены нормативные и расчетные характеристики, а также даны основные положения по расчету и конструированию.

### Л и т е р а т у р а

1. Указания по изготовлению и применению изделий из силикатного бетона и железобетона в мостостроении. М.: НИИЖТ, 1941 г.
2. Волженский А. В. Водотермическая обработка строительных материалов в автоклавах. Сообщение № 15 института строительной техники А. А. СССР. Изд. АА СССР, 1941 г.
3. Булат Ю. М. и Манер А. А. Изучение процесса взаимодействия времени с температурой кальция при автоклавной обработке. Сборник трудов ГОСНИИМСа № 11.
4. Сатацкий А. В. и Сенченко Б. А. Раннее нагружение бетона и железобетона в мостостроении.
5. Шуруп А. Ф. Исследование строительных свойств высокопрочного силикатного бетона. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Горький.
6. Булат Ю. М., Манер А. А., Рамкович Е. М. Изучение процесса твердения известково-песчаных материалов при автоклавной обработке. Отчет ГОСНИИМСа, 1958 г.
7. Скатынский В. П. Исследование ползучих силикатных автоклавных строительных материалов. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, Киев, 1957 г.
8. Скатынский В. П. самоупрочнение и прочностных характеристик бетона. Изв. АА СССР, № 2, 1958 г.
9. Гусakov В. П. Исследования прочностных и деформационных свойств силикатного бетона на длительной выдержке. Сборник статей к 10-летию В. В. Волженского. Сведения автоклавных бетонов. Гостройиздат, 1958 г.

### П И БОЖЕНОВ

дoдeлaтeлe пaнeлeй члeн АС и А СССР,  
дoктoр тeхнeскeскx нaук, пpofecсop  
В И КАВАЛЕРОВА  
и нaчeлo  
(Лeннaгpдскaя инжeнepнo-стpoe-  
тeлнaя шкoлa)

### 6) взаимодействие двухкальцевого силиката с добавками CaO и SiO<sub>2</sub> при гидротермальной обработке

До сих пор считалось, что одним из самых медленно гидратируемых при нормальном твердении, а следовательно, и малоактивным минералом портландцементного клинкера, является 2CaO · SiO<sub>2</sub>.

При автоклавной обработке процессы гидратации протекают значительно сложнее и глубже, чем при твердении нормальных условиях. Поэтому представляет интерес изучение поведения двухкальцевого силиката при действии на него пара высокого давления.

Нами изучалось поведение  $3CaO \cdot SiO_2$  совместно с  $CaO$ , подвергнутого гидротермальной обработке. Для этой цели путем многократного обжига в лабораторной печи химически чистых реактивов был синтезирован двухкальцевый силикат.

В  $3CaO \cdot SiO_2$  вводилась  $SiO_2$  из расчета получения  $CaO \cdot SiO_2$  и  $3CaO \cdot 2SiO_2$  и  $CaO$  из расчета получения  $3CaO \cdot SiO_2$  и  $7CaO \cdot 2SiO_2$ .

Исследования проводились в образцах-кубах размером  $1,41 \times 1,41 \times 1,41$  см, состава 1:0 жесткой консистенции, прессованных при давлении  $500 \text{ кг см}^2$ .

Образцы через 12-14 часов после изготовления подвергались автоклавной обработке при давлении: 8, 25 и 100 атм. выдержка при максимальном давлении составляла 8 часов. Подъем и спуск пара колебался в пределах 1,5-2,5 часа.

После запарки образцы высушивались при температуре  $105-110^\circ$  до постоянного веса и испытывались на сжатие. В дальнейшем в них определялось содержание свободной извести и кремнезема.

Установлено, что при гидротермальной обработке чистой  $3CaO \cdot SiO_2$  выделяется свободная гидроксид кальция в количестве при 8 атм 0,12%, при 25 атм 5,64%, при 100 атм - 2,49%.

В табл. 1 приводятся данные, полученные после автоклавной обработки  $3CaO \cdot SiO_2$  с добавкой  $CaO$ .

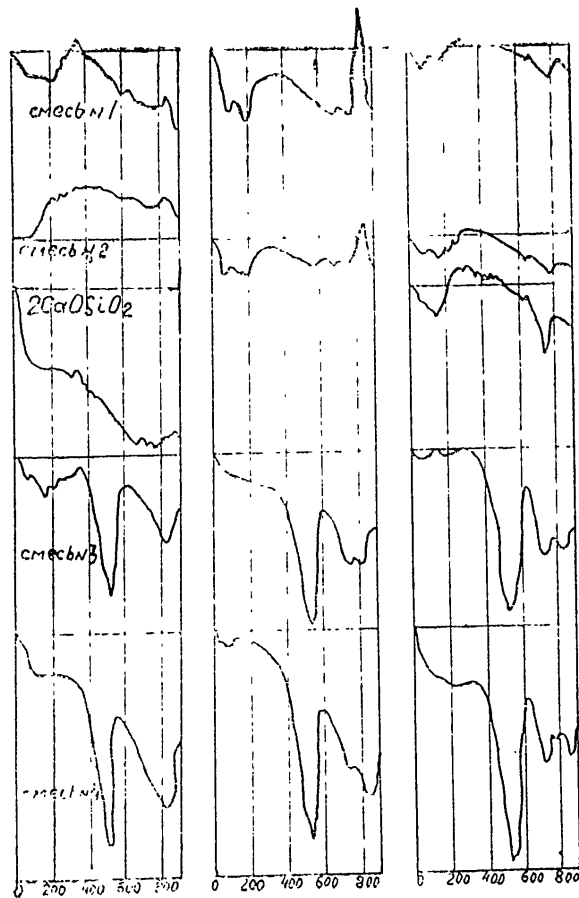
Таблица 1

Условный состав смеси $3CaO \cdot SiO_2 + nCaO$	Товарный $CaO$ и $% CO_2 \cdot S$	Количество связанной $CaO$ , %		
		Давление при запарке		
		8 атм	25 атм	100 атм
$3CaO \cdot 2SiO_2$	32,56	19,17	17,91	17,06
$7CaO_2 \cdot 2SiO_2$	18,82	32,12	30,02	30,15

Из приведенных данных видно, что  $3CaO \cdot SiO_2$  способно вступать в химические реакции с  $CaO$  в атмосфере насыщенного пара с образованием более основных гидроксидов кальция.

Для одного и того же состава смеси количество связанной  $CaO$  мало изменяется при повышении давления.

Абсолютные значения количества связанной  $CaO$  при образовании гидросиликатов кальция зависят от количества



Кривые термического анализа  $2CaO \cdot SiO_2$  и смесей  
 $N1 C_2S + 34,95 SiO_2 = (C_3S)$   
 $N2 C_2S + 17,44 SiO_2 = (C_3S_2)$   
 $N3 C_2S + 32,56 CaO = (C_3S)$   
 $N4 C_2S + 48,82 CaO = (C_7S_2)$

рис. 1

введенной в смесь окиси кальция. Это обстоятельство наводит на мысль, что образование высокоосновных гидросиликатов кальция возможно в присутствии определенного количества свободной  $\text{CaO}$ , что указывает на определенное химическое равновесие между образующимся гидросиликатом и свободной окисью кальция. Результаты, полученные на действии пара высокого давления на смесь  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Условный состав смеси $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - n\text{SiO}_2$	Добавлено $\text{SiO}_2$ в % к С.С.	Количество связанной $\text{SiO}_2$ в смеси при давлении	
		8 атм	25 атм
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1,91	11,10	12,71
$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1,711	9,70	11,00

Данные табл. 2 показывают, что  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  способен вступать в химическое взаимодействие и с кремнеземом с образованием менее основных гидросиликатов кальция, причем, чем выше давление пара в автоклаве, тем большее количество  $\text{SiO}_2$  реагирует с  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Однако следует отметить, что при этом и том же давлении пара количество связанного кремнезема остается почти постоянным независимо от состава исходной смеси. По-видимому, при автоклавной обработке  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  способен непосредственно взаимодействовать с  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ .

Для выяснения процессов, происходящих при обработке пара высокого давления двукальцевого силиката с добавками  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ , полученные смеси были подвергнуты исследованию методом дифференциального термического анализа.

Характер кривых продуктов гидратации  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с добавками представлен на рис. 1. Результаты термического анализа подтверждают, что с увеличением давления происходит образование новых водных силикатов кальция.

На кривых нагревания  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  как с добавкой  $\text{CaO}$ , так и с добавкой  $\text{SiO}_2$  передую эндотермическую остановку в интервале температур 100-200. Можно объяснить эту потерю свободной воды, присутствующей в гидротермических продуктах гидратации, или возможным разложением сложного состава названного в работах Кауфа-фазон X".

Исследуя новообразования гидратированных цементов методом динамического взвешивания, П. П. Боженов и Г. Ф. Суворов установили, что при прокаливании неф-

нового штама до  $1000^\circ$  и других белитовых цементов, запаренных многократно при 8 и  $100 \text{ атм}$ , разложение основного продукта происходит в интервале температур 550--700. На кривых термического анализа это соответствует эндотермическому эффекту при температуре 650-680. На всех кривых для смесей с добавкой кремнезема отсутствует остановка, характерная для гидрата окиси кальция. При температуре 780--810 обнаруживается экзотермический эффект, достигая максимума при 25 атм и тем больше, чем больше добавлено к смеси кремнезема.

Таким образом, результаты химического и термографического анализа окислительные пары, а также данные других исследований подтверждают предположение, что продукт  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  взаимодействует при гидротермической обработке с кремнеземом и образует менее основные гидросиликаты кальция.

Кривые термического анализа смеси  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с добавкой  $\text{CaO}$  показывают, что  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  подвергнутый гидротермической обработке способен вступать в химическую реакцию не только с кремнеземом, как это было установлено выше, но также и с известью. Эндотермический эффект в интервале температур 520-480, имеющийся на кривых нагревания, соответствует разложению  $\text{Ca(OH)}_2$ , что коррелируется с данными химического анализа. Природа эндотермического эффекта 720 остается невыясненной.

Эта особенность образуется только при высоких давлениях (25 атм) в небольшом количестве и увеличивается по мере увеличения давления.

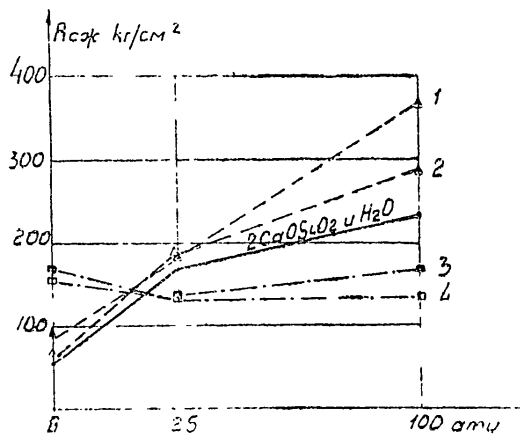
Данная температурная остановка была отмечена и на термограммах П. П. Боженова и Г. Ф. Суворовой она указывает на присутствие какого-то нового продукта, возникающего в смеси  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с  $\text{CaO}$  в результате гидротермической обработки. Высокотемпературный эффект при  $820^\circ$  связанного еще и в интервале температур 890-910, может быть отнесен к смеси  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с известью, причем в повышенном давлении количество его увеличивается.

Известно, что чем больше известия и выше давление, тем больше получается этого соединения. Наличие трехкальцевого силиката, полученного при гидротермической обработке в смеси двукальцевого силиката с известью, подтверждается и данными химического анализа.

Следовательно, в процессе автоклавной обработки  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  претерпевает очень большие структурные изменения. Показанные обстоятельства должны учитываться при технологии изготовления теплотехнических изделий методом запарки.

При гидротермальной обработке активность  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  возрастает, что способствует взаимодействию его с известковым пылью и кремнеземом и вызывает образование новых гидросиликатов кальция. Все это должно отразиться на строительных свойствах полученного продукта.

Результаты испытаний прочностных характеристик образцов двухкальцевого силиката с добавками  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  при различных режимах запарки представлены на рис. 2. Данные рис. 2 показывают, что



**Состав смеси**

1  $\text{C}_2\text{S} + 17,44\text{SiO}_2 = (\text{C}_3\text{S}_2)$   
 2  $\text{C}_2\text{S} + 34,94\text{SiO}_2 = (\text{C}_5\text{S}_2)$   
 3  $\text{C}_2\text{S} + 48,82\text{CaO} = (\text{C}_7\text{S}_2)$   
 4  $\text{C}_2\text{S} + 32,56\text{CaO} = (\text{C}_3\text{S})$

Рис. 2

- 1) прочность чистого  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с повышением давления пара увеличивается;
- 2) менее основные смеси (с добавкой  $\text{SiO}_2$ ) после запарки показывают прочность более высокую, чем чистый  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и с повышением давления пара прочность образцов значительно увеличивается;
- 3) более основные смеси (с добавкой  $\text{CaO}$ ) при давлении пара в 8 атм показывают увеличение прочности почти в два раза по сравнению с чистым  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , но повышение давления вызывает снижение прочности последних.

Взаимодействие  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с тонкомолотым кварцевым пылью проверялось и на нефелиновом цементе<sup>1)</sup>, который содержит в своем составе около 75%  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Полученные данные показали, что добавка молотого кварцевого песка резко увеличивает прочность нефелинового цемента при автоклавном твердении. Максимум прочности достигается при добавке 35-50% молотого песка.

Введение песка до 75% в нефелиновый цемент дает снижение прочности, однако прочность этих образцов значительно выше, чем у образцов, подвергнутых запарке извещено нефелинового цемента.

Кроме  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  изучалось еще поведение  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при гидротермальной обработке.

$\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  был получен при обжиге шихты, рассчитанной на получение цветного белитового цемента на опытном заводе Гипроцемента.

Образовавшаяся мелкая пыль содержала в своем составе 70%  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . К полученному  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  добавлялась известь и трепел в количестве от 5 до 20%.

Образцы размером 1,41 · 1,41 · 1,41 см, состава 1:0, с водой затворенные 33%, подвергались автоклавной обработке при 8 атм по режиму 2 · 8 · 2.

Полученные результаты помещены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что добавка 10% извести увеличивает прочность  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  сразу после запарки более, чем в 5 раз. Добавка 15% трепела увеличивает прочность  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  в 4 раза.

Следует отметить, что увеличение прочности  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Таблица 3

Минерал	Вид добавки	Предел прочности при сжатии, кг/см (воздушное хранение)		
		сроки испытаний		
		после запарки	3 мес	6 мес
$\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	без добавки	32	90	242
-	5% трепела	132	180	207
-	10% -	165	211	207
-	15% -	103	200	-
-	5% трепела	130	190	257
-	10% -	137	203	257
-	15% -	145	176	300
-	20% -	100	150	273

с добавками  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  по абсолютным значениям почти равно прочности  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с соответствующими добавками.

<sup>1)</sup> Нефелиновый цемент состоит из 85% нефелинового шлама, 15% извести и 5% гипса.



Прочность же чистого  $\beta$ - $2CaO \cdot SiO_2$  в 2 раза выше прочности  $\gamma$ - $2CaO \cdot SiO_2$ .

На основании полученных данных можно сделать вывод, что  $\gamma$ - $2CaO \cdot SiO_2$  способен участвовать в химических реакциях при гидротермальной обработке как с известью, так и в расплаве, с образованием более или менее основных гидросиликатов кальция.

Этот вывод имеет большое практическое значение, особенно то, что образование  $\gamma$ - $2CaO \cdot SiO_2$  может быть использовано как средство дешевого измельчения цемента.

Приведенные данные подтверждают эффективность процесса автоклавной обработки для  $\beta$ - и  $\gamma$ - $2CaO \cdot SiO_2$  для получения  $CaO$  и  $SiO_2$ .

Таблица 1

Химический состав в %

	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	27,0	51,8	9,3	7,1	0,3	4,8
2	25,9	52,1	9,2	7,0	0,25	5,0
3	26,7	53,4	9,0	7,1	0,26	5,5

Г. В. ГИММЕРЛИН  
 старший научный сотрудник  
 Челябинский филиал АС и А СССР

**Феррохромовый шлак в качестве вяжущего автоклавного твердения**

Возможность использования шлаков цветной металлургии в ферросплавных производствах в строительстве изучена недостаточно.

Челябинская область располагает значительными запасами высокоосновного феррохромового шлака, который в настоящее время почти не используется.

Настоящая работа ставит своей целью исследование свойств феррохромового шлака для выяснения возможности эффективного применения в производстве строительных материалов.

Феррохромовые шлаки о которых здесь идет речь, получают при флюсовой выплавке малоуглеродистого и безуглеродистого феррохрома, причем на одну тонну выплавленного металла выпускается более трех тонн шлака.

Как видно из табл. 1, в которой приводятся химические составы промышленных феррохромовых шлаков, последние отличаются высоким содержанием окиси кальция (молочность этих шлаков более 2%).

Благодаря высокому содержанию окиси кальция, при отвержении расплава и при охлаждении рассыпается в тонкий порошок с удельной поверхностью порядка 2000 см<sup>2</sup>/г. В таком виде он находится на отходах.

В. В. Таниным производились микроскопические исследования феррохромового шлака Челябинского ферросплава

ного завода, которые показали, что этот шлак содержит в основном двухкальциевый силикат, присутствующий в  $\beta$ - и  $\gamma$ -формах. Самопроявление распада шлаков объясняется, таким образом, полиморфным превращением  $\beta$ -формы двухкальциевого силиката в устойчивую при низких температурах  $\gamma$ -модификацию.

Кроме ортосиликата кальция обнаруживается небольшое количество (10%) зеленоватого-бурым железно-хромовой шпиннели и незначительные примеси мервинита и хромита кальция [1].

Высокое содержание двухкальциевого силиката в феррохромовых шлаках дает основание предполагать наличие у них вяжущих свойств. Это и было показано Ф. Г. Шумиленным, который предложил использовать феррохромовые шлаки (с добавками извести, цемента или гипса) в качестве вяжущего нормального твердения [2].

Нами было высказано предположение, что использование феррохромового шлака в качестве вяжущего автоклавного твердения, например, для производства силикатного кирпича, должно быть гораздо более эффективно именно в связи с высоким содержанием двухкальциевого силиката [3,4]. Однако первые опыты, проведенные на прессованных образцах-цилиндрах показали, что образцы из смеси феррохромового шлака с песком при автоклавной обработке значительно увеличиваются в объеме, покрываются сеткой трещин и во многих случаях разрушаются.

Для того, чтобы найти способы предотвращения разрушения образцов, необходимо было провести исследование гидратационных свойств шлаковых минералов, выделенных в достаточно чистом виде непосредственно из феррохромового шлака.

С этой целью был применен метод фазового разделения в центрифуге. В результате разделения удалось получить три фракции, химический состав и процентное содержание которых, приводится в табл. 2.

Микроскопические исследования фракции показали следующее:

Фракция № 1 основную массу составляет зеленоватых, неправильной формы, изотропные зерна с весьма высоким показателем преломления. Химический состав первой фракции

Результаты фазового разделения шлака  
и химические составы выделенных фракций

№ фракции	Удельный вес фракции	Содержание в шлаке, %	Химический состав, %					
			CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	выше 3,32	19,1	11,77	5,32	18,32	33,29	3,82	32,4
2	от 3,23 до 3,01	27,6	48,98	25,52	7,84	10,41	0,16	6,3
3	от 3,01 до 2,90	5,33	63,42	31,52	1,10	1,20	0,16	0,9
4	исходный шликер	-	49,71	25,22	8,67	9,29	0,6	8,1

Примечания. 1 Фракция с удельным весом от 3,32 до 3,23 г/см<sup>3</sup> выделить не удалось.  
2 Минералов с удельным весом ниже 2,9 г/см<sup>3</sup> не обнаружено.

ции позволяет отнести этот минерал к шпинелям переменного состава с общей формулой  $(Mg, Fe)O \cdot (Al, Cr)_2O_3$ . Содержание этого минерала в первой фракции 80—85%. Присутствуют также металл в виде корольков (7—10%), β-двухкальциевый силикат (5—8%), незначительные примеси мервинита и γ-двухкальциевого силиката.

Фракция № 2. Эта фракция также содержит зеленые зерна шпинели в количестве 20—28%. В значительном количестве присутствуют β- и γ-двухкальциевый силикат (β—15±20%, γ—40; 45%).

Фракция № 3. Легкая фракция шлака почти целиком состоит из γ-двухкальциевого силиката. Присутствуют незначительные примеси β-двухкальциевого силиката и шпинелей.

Химические составы и микроскопические исследования фракций, выделенных разгонкой в тяжелых жидкостях, показывают, что нами получены достаточно концентрированные препараты шпинелей тяжелой фракции, γ-двухкальциевого силиката в легкой фракции и смеси β- и γ-двухкальциевого силиката в средней фракции.

Затем из каждой фракции в отдельности и молотого песка (шлак : песок = 4 : 1) были изготовлены прессованные образцы в виде небольших цилиндров, которые запаривались в автоклаве в течение 6 часов при 8 атм. Внешний вид образцов после автоклавной обработки показан на рис. 1.

Как видно из рисунка, наибольшему увеличению в объеме и разрушению подвергались образцы из второй фракции, содержащей наибольшее количество β-двухкальциевого силиката, а, вопреки ожиданиям, образцы из первой фракции, содержание в которой  $2CaO \cdot SiO_2$  весьма незначительно.

196

Таблица 4 образцы из третьей фракции не имели видимых следов разрушения и при испытаниях на сжатие показали значи-



Рис. 1 Образцы из фракции пергохромового шлака после автоклавной обработки:

I — фракция № 1;  
II — фракция № 2;  
III — фракция № 3;  
IV — исходный шликер.

тельную прочность (180 кг/см<sup>2</sup>), что является само по себе весьма интересным, так как эта фракция почти целиком

197

состоит из  $\beta$ -формы  $2CaO \cdot SiO_2$ , которую принято считать гидравлически неактивной.

Затем каждая фракция исследовалась с помощью дифференциального термического анализа, причем исследовались

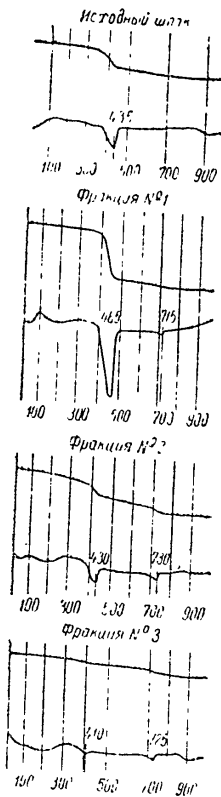


Рис. 2. Кривые термического анализа

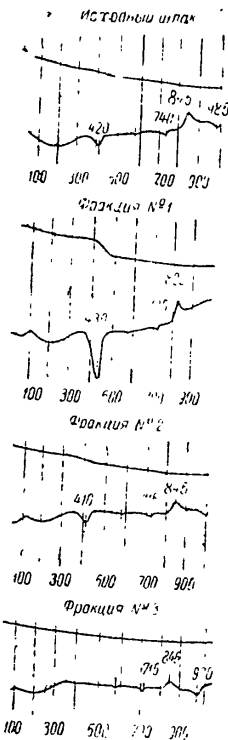


Рис. 3. Кривые термического анализа

чистые фракции предварительно запаренные в автоклаве и такие же фракции, но с добавкой молотого песка. И в том, и в другом случае термограммы отличаются друг от друга

главным образом величиной эндотермического эффекта при 410—460° (рис. 2, 3). Этот эффект, которому соответствует наибольшая потеря в весе, закономерно уменьшается от первой фракции к третьей.

Выводы, которые могут быть сделаны из описанных выше опытов, сводятся к следующему

1) разрушение образцов не связано с полиморфизмом  $CaO \cdot SiO_2$ , так как в противном случае наибольшему разрушению подвергались бы образцы из средней фракции, более богатой  $\beta 2CaO \cdot SiO_2$ ;

2) величина эндотермического эффекта при 410—460° соответствует степени разрушения образцов. Причем меняется она в соответствии с изменением химического и минералогического состава фракций.

Поскольку эндотермический эффект связан со значительной потерей в весе (см. рис. 2, 3), естественно предположить, что он соответствует дегидратации одного из минералов тяжелой фракции, а причина разрушения образцов заключается, таким образом, в гидратации этого минерала, сопровождающейся значительным увеличением объема.

На этой стадии исследований стало возможным приступить к производственным опытам, так как предыдущая работа уже дала некоторый материал.

Предложенная нами технология производства силикатного кирпича заключалась в следующем

Сырьевая смесь для производства силикатного кирпича составляется из отвального феррохромового шлака и песка в определенном соотношении. Для того, чтобы избежать вредных последствий гидратации минерала из тяжелой фракции, происходящей в уже твердеющем изделии, феррохромовый шлак подвергается предварительной автоклавной обработке прямо в „естественном“ виде. Затем по обычной технологии формируются изделия и запариваются в автоклаве.

В табл. 3 приводятся результаты испытаний образцов, изготовленных по описанной технологии с различным соотношением шлака и песка, и образцов, соответствующих по составу заводскому силикатному кирпичу, изготовленных одновременно при одних и тех же условиях.

Параллельно с этим, нами был предложен другой способ производства силикатного кирпича на основе феррохромового шлака без предварительной автоклавной обработки последнего. В процессе работы было установлено, что небольшая добавка извести в сырьевую смесь, состоящую из песка и феррохромового шлака, также предотвращает разрушение или снижение механической прочности образцов. В этом случае оптимальное соотношение извести и шлака порядка 1 : 20, 1 : 25.

Таблица

Таблица 4

№№ п. п.	Результаты испытаний образцов из феррохромового шлака и песка				Результаты испытаний силикатного кирпича					
	Содержание компонентов, %			Влажность при формовании, %	Сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup>	Состав	Вес, кг	Сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup>	Сопротивление изгибу, кг/см <sup>2</sup>	Водопоглощение, %
	песок	феррохромовый шлак	известь							
1	80	20	-	5	107	20% известн. 15% шлака 83% песка	1,707	123	23,5	12,8
2	70	30	-	5	176					
3	60	40	-	5	161					
4	50	50	-	5	122	10% известн. 90% песка	4,778	104	19,1	15,8
5	40	60	-	5	88					
6	30	70	-	5	69					
7	20	80	10	5	67					

На рис. 4 показан внешний вид образцов при различных соотношениях извести и шлака.



Рис. 4. Образцы из феррохромового шлака, песка и извести после автоклавной обработки.  
1 Соотношение — известь : шлак = 1 : 20  
2 " " " " " " = 1 : 35  
3 " " " " " " = 1 : 100.

Этот вариант технологии оказался в то время более удобным для Синеглазовского завода силикатного кирпича, на котором проводились наши опыты, так как позволял сразу же перейти на применение феррохромовых шлаков, параллельно подготовить технологическую линию для производства силикатного кирпича по еще более экономичному первому способу.

Синеглазовский завод выпустил несколько опытных партий кирпича на основе феррохромового шлака, состав и результаты испытаний которого сравниваются в табл. 4 с результатами испытаний силикатного кирпича обычного заводского состава, изготовленного совместно с опытным

Как видно из результатов, приведенных в табл. 4, кирпич, изготовленный на основе феррохромового шлака, по своим качествам не только не уступает обычному силикатному кирпичу, но и превосходит его.

Расчеты показали, что экономический эффект от применения новой технологии составит для Синеглазовского завода 1,5 млн рублей в год экономии.

Паряду с этим в УФ АС и А СССР проводится работа по разработке технологии производства крупногабаритных изделий из автоклавного шлакомаршалитобетона, в котором в качестве вяжущего применяется феррохромовый шлак, а в качестве заполнителя - маршалит (пылевидный кварц).

В табл. 5 приведены результаты испытаний образцов из автоклавного шлакомаршалитобетона, изготовленных с применением:

- 1) феррохромового шлака с добавкой извести,
- 2) шлака предварительно запаренного в автоклаве.

Результаты испытаний маршалитобетона показывают, что феррохромовые шлаки могут быть применены для изготовления автоклавных бетонов, обладающих достаточной механической прочностью и низким объемным весом.

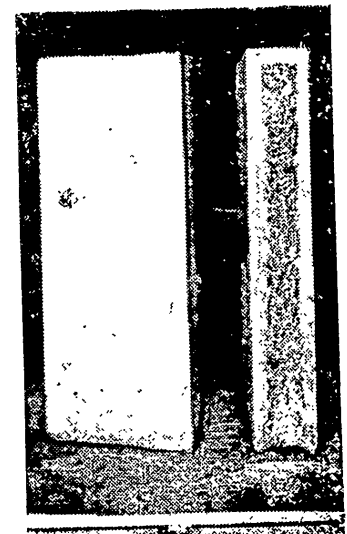


Рис. 5. Опытные трехслойные блоки из автоклавного шлакомаршалитобетона размером 200x50x120 мм

Автоклавной шлакомаршалитобетон был предложен в качестве материала для изготовления крупных блоков трехслойных стеновых панелей, состоящих из двух наружных слоев плотного шлакомаршалитобетона и внутреннего теплоизоляционного слоя из легкого бетона. Легкий бетон для теплоизоляционного слоя изготавливается также на основе феррохромового шлака с использованием в качестве легкого заполнителя гранулированного ферросилицевого шлака.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов шлакомаршалитобетона

№№ п.п.	Содержание компонентов в %, по весу				Объемный вес, кг м <sup>3</sup>		Сопротивление сжатию, кг см <sup>2</sup>			Обработка
	ц.г.шлагит	феррохромовый шлак с известью в отношении 10:1	запаренный феррохромовый шлак	вода от веса сухих материалов	после запаривания	сухих образцов	после запаривания	в сухом виде	после 15 циклов замораживания	
1	70	30	—	35	1660	1415	221	365	298	Образцы запаривались в чашечках при 8 атм
2	70	—	30	35	1670	1385	230	392	244	

Такой бетон при прочности  $\approx 10$  кг/см<sup>2</sup> имеет объемный вес 400—600 кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 5 показаны опытные трехслойные блоки размерами 20×50×120 см, изготовленные из шлакомаршалитобетона с теплоизоляционным слоем из легкого бетона

## Литература

1. Лапин В. В. Петрография металлургических и топливных шлаков. Издательство АН СССР, 1956 г.
2. Шумилов Ф. Г. Бюллетень строительной техники, № 13, 1953 г.
3. Бутт Ю. М., Рашкович Л. И., Танилова С. Д. ДАН СССР, т. 107, № 4, 1956 г.
4. Будников П. П., Азельская Р. Д. Журнал прикладной химии, т. XXX, вып. 1, 1957 г.

202

А. К. ШИРВИНСКАЯ  
младший научный сотрудник  
(Институт Химии Силикатов  
АН СССР)

## Исследование жидкой фазы и продуктов гидратации, получающихся при автоклавной обработке силикатов кальция

До настоящего времени все работы по гидратации силикатов кальция в гидротермальных условиях были посвящены изучению состава и идентификации получающихся твердых продуктов. Подробное исследование в этой области было выполнено Флинтом, Мак-Медди и Уэлсом [1], которые нашли, что при гидратации  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при температурах до 200°C получается  $\alpha$ -гидрат двухкальциевого силиката, а при гидратации  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  —  $\alpha$ -гидрат последнего и гидроксид кальция.

Выше 200°C  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  гидратируется без заметного гидролиза с образованием  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Дальнейшими исследованиями [2, 3, 4] было показано, что при 180—200°C фазовый состав новообразований более сложен и обычно представляет смесь трех гидратов:  $\text{C}_2\text{SH}(A)$ ,  $\text{C}_2\text{SH}(B)$  и  $\text{C}_2\text{SH}(C)$ . Более того, Хеллер и Тэйлор установили, что до  $t=180^\circ\text{C}$  существуют промежуточные соединения — афвиллит и низко-температурный гидрат  $\text{CSH}(1)$ , количество которых уменьшается с повышением температуры и увеличением времени гидротермальной обработки.

В то же время в литературе отсутствуют данные по исследованию жидкой фазы при гидратации силикатов кальция в гидротермальных условиях. Неизвестна скорость достижения равновесия и сами равновесные концентрации извести и кремнезема в растворе, находящемся в контакте с новообразованиями. Изучение этого вопроса представляется интересным, так как состав новообразований в значительной мере зависит от состава жидкой фазы. Растворимость извести до  $t=200^\circ\text{C}$  была изучена Флинтом и Уэлсом. Были найдены следующие значения:

t°C	100	150	200
CaO г/л	0,50	0,25	0,10

По мере того, как с повышением температуры растворимость извести уменьшается, растворимость кремневой кислоты, наоборот, увеличивается. Это приводит в гидротермальных условиях к образованию жидкой фазы, которая по своему составу должна отличаться от последней в обычных условиях.

В настоящей работе производилось исследование скорости гидратации  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , скорости установления

203

гидролитического равновесия и определение равновесных концентраций извести и кремнезема. Наряду с этим исследовались твердые продукты гидратации.

#### Методика исследования

Исходя из данных Флинта, Мак Мерди и Уэлса мы выбрали температуру  $150^{\circ}\text{C}$  для гидратации  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $250^{\circ}\text{C}$  для  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , так как при этих температурах происходят непосредственно гидраты исходных соединений. Исследуемые минералы синтезировались с добавкой радиоактивного изотопа  $\text{Ca}^{45}$  для определения концентрации извести в растворе методом "меченых" атомов. Последнее обстоятельство вызвано низкой растворимостью гидроокиси кальция при повышенных температурах и малым объемом автоклава (50 мл). Опыты проводились в платиновых тиглях с суспензиями минералов в воде, поэтому в автоклаве имели место жидкая и парообразная фазы. Нагревание автоклава производилось в электрической печи. Температура опытов контролировалась с помощью хромель-капельовой термопары с точностью  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . После окончания выдержки производилось исследование жидкой и твердой фазы. В раствор определялась концентрация извести путем измерения активности стандартного раствора того же объема. Концентрация кремневой кислоты определялась силикомольбдатным методом на фотокалориметре ФЭК-М. Твердая фаза исследовалась рентгеновским и микроскопическим методами, также на свободную известь спирто-глицериновым методом. Чтобы иметь представление о скорости перехода извести в раствор при повышенной температуре, мы поставили предварительный опыт при  $75^{\circ}\text{C}$ .

В данном случае гидратация проводилась в стеклянных сосудах, снабженных мешалкой и отводом для отбора пробы. Для обеспечения герметичности мешалка соединялась с сосудом через посредство ртутного затвора. Во время опыта из сосуда непрерывно пропускался газообразный азот для изоляции реакционной среды от атмосферной углекислоты. Температура опыта поддерживалась с помощью ультра-термостага. Для удобства эксперимента опыты проводились с 2% суспензией минерала в воде. Содержание извести в растворе определялось по способу, описанному выше.

#### Опытные данные

Результаты опытов по гидратации силикатов кальция при  $75^{\circ}\text{C}$  изображены на рис. 1. Кривая 1 представляет содержание свободной извести в растворе для  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , кривая 2 — для  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Из рассмотрения кривых видно, что характер их тот же, что и при  $21^{\circ}\text{C}$ , но кинетические харак-

теристики уже другие. Для трехкальцевого силиката максимальное содержание извести в растворе, равное  $0,85 \text{ г/л}$   $\text{CaO}$ , достигается через 1,5 часа, а равновесное — через одни сутки. Концентрация насыщения равна  $0,69 \text{ г/л}$   $\text{CaO}$ . Гидратация  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  протекает не так бурно, как в случае  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , но несравненно быстрее, чем при комнатной температуре. В этом случае для достижения концентрации насыщения требуется около десяти суток, тогда как при  $21^{\circ}\text{C}$  для этого необходимо 3,5 месяца. Таким образом, скорость взаимодействия силикатов кальция с водой с повышением температуры резко возрастает.

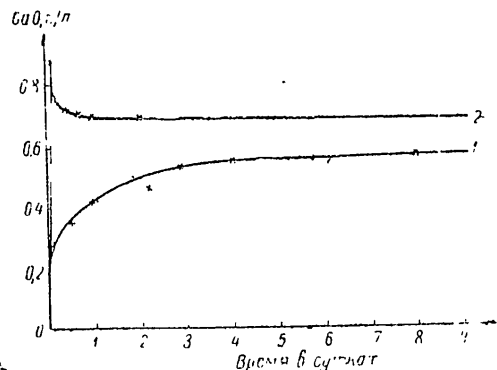


Рис. 1. Скорость перехода извести в раствор при гидратации 1 -  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , 2 -  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Гидратация  $\beta$ -двухкальцевого силиката, как уже говорилось раньше, проводилась при  $150^{\circ}\text{C}$ . В этом случае реакция взаимодействия минерала с водой протекает быстрее. Через четыре часа содержание извести в растворе составляет  $0,13 \text{ г/л}$   $\text{CaO}$ . Равновесная концентрация извести достигается в пределах одних суток и равна  $0,23 \text{ г/л}$   $\text{CaO}$ . Растворимость кремневой кислоты при данной температуре равна  $0,015 \text{ г/л}$   $\text{SiO}_2$ . Таким образом, гидросиликат, образующийся при  $150^{\circ}\text{C}$ , находится в равновесии с раствором, содержащим  $0,23 \text{ г/л}$   $\text{CaO}$  и  $0,015 \text{ г/л}$   $\text{SiO}_2$ . Следует отметить, что в растворе силикат кальция гидролизуетсся с образованием гидроокиси кальция и кремневой кислоты.

Продукты гидратации  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  перед исследованием промывались спиртом, затем эфиром и высушивались при  $110^{\circ}\text{C}$  до постоянного веса

Определение свободной извести спирто-глицериновой при 150°C. Термограмма этого соединения представлена методом показало, что образец, выдержанный в автокладе рис. 2. в течение четырех часов, содержал следы последней. В Кроме указанных соединений, в образцах с выдержками образцы с более длительными выдержками свободной извести находилась на поверхности жидкости ввиду большой пористости вещества. При выдержках, ограниченных часами, не содержали.

Исследование под микроскопом показало, что продукт реакции имеет вид мелких неправильных зерен, показатели преломления которых равен 1,62. Кроме того, присутствовали в виде примеси, хорошо образованные крупные пластинки, которые, судя по показателям преломления ( $N_g = 1,6$  и  $N_p = 1,614$ ), являются  $\alpha$ -гидратом двухкальцевого силиката.

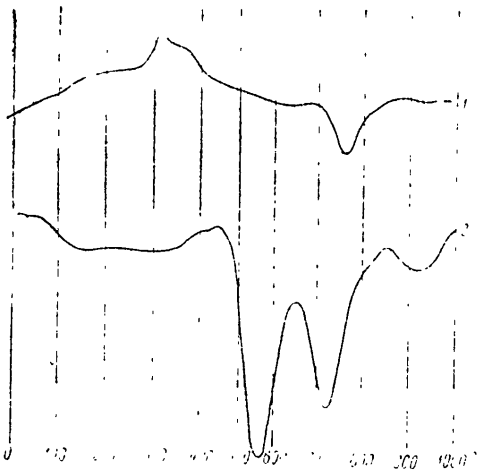


Рис. 2. Термограммы гидросиликата, 1.  $C_2SH(C)$ , 2.  $C_2SH_2$ .

Рентгеновское исследование производилось путем снятия ионизационных кривых интенсивностей. Образцы с выдержкой не больше суток имели в своем составе исходный  $\beta$ - $2CaO \cdot SiO_2$  и аморфный продукт. Но уже начиная с 1 суток получалась отчетливая кривая новообразования, распад которой показал, что в результате гидратации  $\beta$ - $2CaO \cdot SiO_2$  при 150°C получается  $\gamma$ -гидрат двухкальцевого силиката (линии 3,04, 2,84, 2,71, 2,48, 1,90Å). Этот гидрат оказался устойчивым при продолжительной выдержке, доходящей до 50 суток. Таким образом,  $C_2SH(C)$  является устойчивой фазой

при 150°C. Термограмма этого соединения представлена на рис. 2.

Кроме указанных соединений, в образцах с выдержками 2 суток присутствовала еще одна фаза, которая всегда находилась на поверхности жидкости ввиду большой пористости вещества. При выдержках, ограниченных часами, она представляет сплошную массу переплетающихся между собой волоконистых кристаллов. При более длительных выдержках эта масса становилась хрупкой и распадалась на мелкие кристаллы. Последние имели вид тонких длинных палочек и широких волокон. Показатель преломления 1,6. Рентгенограмма последнего во всех деталях не совпадает ни с одним из известных гидросиликатов кальция, но ближе всего подходит к  $\alpha$ -гидрату двухкальцевого силиката. Можно предположить, что эта форма гидрата образуется в первые часы реакции в качестве промежуточного соединения, которое при дальнейшей выдержке переходит в  $\gamma$ -гидрат двухкальцевого силиката.

Таким образом, продукт гидратации  $\beta$ - $2CaO \cdot SiO_2$  при 150°C состоит в основном из  $C_2SH(C)$  и примеси  $C_2SH(A)$ .

Гидратация трехкальцевого силиката проводилась при 250°C. Определить момент достижения равновесия при этой температуре не удалось. Уже через два часа в растворе наблюдалась концентрация извести, характерная для всех последующих выдержек. Кривая содержания извести в растворе в зависимости от времени не имеет максимума, который характерен для трехкальцевого силиката при гидратации его при более низких температурах. Это можно объяснить тем, что скорость реакции при 250° велика и поэтому образование пересыщенного раствора может иметь место через небольшой промежуток времени после начала реакции, если учесть, что при 75°C максимальное содержание извести в растворе наблюдалось через 1,5 часа.

При 250°C раствор, находящийся в равновесии с твердой фазой, содержит 0,08 г/л CaO и 0,02 г/л  $SiO_2$ . Если эти концентрации выразить в  $г/моль$ , то получаются следующие значения: 0,0014  $г/моль$  CaO и 0,00033  $г/моль$   $SiO_2$ . Отсюда, молярное отношение CaO:SiO<sub>2</sub> в жидкой фазе равно четырем. В растворе трехкальцевый силикат подвергается гидролизу и распадается на гидроксид кальция и кремниевую кислоту.

Обнаружить свободную известь в твердой фазе для образцов, выдержанных в автоклаве один сутки и более, не удалось.

Под микроскопом продукт гидратации трехкальцевого силиката имел вид мелких палочек и зерен без заметного удупреломления. Средний показатель преломления 1,59. Ионизационные кривые интенсивностей были сняты со

всех образцов. Рентгеновское исследование показало, что для всех образцов, выдержанных в автоклаве от 1 до 5 суток, были получены рентгенограммы гидрата трехкальцевого силиката (линии 3,26, 3,00, 2,87, 2,47, 1,87 Å). Рентгенограмма этого соединения представлена на рис. 2.

Как уже говорилось,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  может существовать только при температурах выше 200°C. Нами было установлено, что при 250°C в растворе наблюдается молярное отношение  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = 1$ , которое близко к молярному отношению в твердой фазе. Поэтому образование гидрата трехкальцевого силиката при 250°C предположительно можно объяснить тем, что указанное выше молярное отношение благоприятствует кристаллизации из раствора  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

#### Выводы

1. Изучена скорость гидролиза  $\beta$ - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при 75°C.
2. Изучена скорость гидратации  $\beta$ - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при 150 и 250°C соответственно. Установлено, что равновесие в жидкой фазе достигается в пределах одних суток. Гидратация минералов заканчивается также в эти сроки.
3. Определены равновесные концентрации извести и кремнезема, которые имеют следующие значения:
  - при 150°C 0,23 г г CaO и 0,015 г г  $\text{SiO}_2$ ,
  - при 250°C 0,08 г г CaO и 0,02 г г  $\text{SiO}_2$ .
4. Установлено, что в результате гидратации  $\beta$ - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при 150°C получается  $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ , а  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при 250°C  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

#### Литература

1. Flint E. P., Mc Murdie H. T., and Wells I. S. J. Res. NBS, 617, 1938 г.
2. Keen J. N. B. and Thorvaldson T. Can. J. Sci., 14, 20, 1936.
3. Heller G., Taylor H. T. W. J. Chem. Soc., 2535, 1952 г.
4. Беркович Т. М., Хейкер Л. М., Грачева О. П., Куприянов Н. П. ДАН СССР, 120, №2, 1958 г.

З. Д. АЛЕКСЕЕВА  
инженер

(Институт Химии Силикатов  
АН СССР)

#### Исследование продуктов, полученных при автоклавной обработке твердых растворов алюмоферритов кальция

Исследование продуктов гидратации портландцементного клинкера и его отдельных минералов в гидротермальных условиях имеет большое значение в изучении процесса

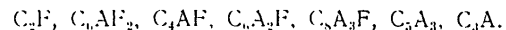
гидратации цемента. Особенно интересен синтез железосодержащих гидроокисей кальция или гидрогидратов.

Еще в 1941 году Флинг, Мак Мерди и Уэллс [1] показали, что при гидротермальной обработке стекол, близких к химическому составу стекловидной фазы портландцементного клинкера, образуются гидрогранаты. Ими также были синтезированы эти соединения из четырехкальцевого алюмоферрита.

С. А. Миронов, О. М. Астреева, Л. А. Малинина [2] и В. А. Тихонов [3] в своих работах указывают на образование гидрогранатов при гидратации различных цементов.

Естественно, что при синтезе гидрогранатов следует исходить из железосодержащей фазы цемента, а именно, из алюмоферритов кальция, которые образуют ряд твердых растворов между  $\text{C}_2\text{F}$  и  $\text{C}_3\text{A}_7$  [4].

В настоящей работе нами были сделаны попытки синтезировать гидрогранаты исходя из следующих минералов:



Первая серия опытов, описанных в данной статье, проводилась с чистыми исходными соединениями. Синтезированный минерал тщательно перетирался в агатовой ступке до полного прохождения через сито с размером отверстий в свету 60 мк. Навеску в 1-1,5 г хорошо перемешивали с диспергированной водой до получения однородной суспензии, которую переносили в платиновый или серебряный тигель емкостью 20 мл, после чего тигель помещали в автоклав. Последний ставили в печь и постепенно поднимали температуру. В автоклав вставляли хромель-капелевую термопару, которую соединяли с терморегулятором. Таким образом, температура печи регулировалась автоматически.

В первой серии опытов почти все исходные соединения были подвергнуты автоклавной обработке при  $t = 180^\circ\text{C}$ , что соответствует давлению 10,2 атм. После заданного времени выдержки автоклав вынимался и медленно охлаждался на воздухе. Полученное таким образом вещество промывали 96% спиртом и эфиром, затем высушивали при  $t = 95^\circ\text{C}$ . Результаты данной серии опытов показаны в табл. 1. Продукты гидратации алюмоферритов и алюминатов кальция исследовались микроскопически, рентгенографически, термографически и химически (определение свободной извести). При гидратации алюмоферритов кальция показатель преломления полученных гидратов, которые имеют форму округлых зерен характерных для гидрогранатов, возрастает по мере увеличения процентного содержания окиси железа в исходных соединениях. Из литературы [4] известно обра-



Таблица

№№ п.п.	Исходное соединение	Температура, С	Давление, атм	Время	Состав полученного гидрограната	Показатель преломления
1	$C_3A$	150	1,85	12 час	$C_3AH_6$	1,605
2	$C_3A$	180	10,2	1 суток	$C_3AH_6$	1,605
3	$C_3A \cdot F$	180	10,2	2 суток	$C_3AH_6$	1,605
4	$C_3A_2F$	180	10,2	6 суток	$C_3AH_6$	1,617
5	$C_3AF$	180	10,2	6 суток	$C_3AH_6$	1,624
6	$C_3AF$	180	10,2	7 суток	$C_3AH_6$	1,628
7	$C_3F$	180	10,2	7 суток		—

ованье пятикальциевым трехалюминатом твердых растворов с двухкальциевым ферритом, что подтверждается изменением показателя преломления синтезированных нами гидрогранатов.

Как уже было указано,  $C_3A_2F$  не отделяли от алюминатной фазы, поэтому в продукте гидратации  $C_3A_2F$  с алюминатной фазой трудно выделить железосодержащие гидрогранаты, тем более, если учесть, что их показатель преломления мало отличается от показателя преломления чистого шестиводного трехкальциевого алюмината. У гидратированного  $C_3F$  микроскопическим исследованием не было обнаружено никаких следов гидрогранатов. В наблюдаемом образце основная масса состояла из дисперсных зерен с большим двупреломлением и бурой окраской. К тому же они имели довольно высокий показатель преломления, который из-за отсутствия соответствующих жидкостей определить не удалось.

В гидратированных образцах определяли спирто-глицеринным методом свободную известь, количество которой возрастало в ряду  $C_3A \rightarrow C_3F$ .

Продукты автоклавной обработки были исследованы рентгенографически. Позиционная кривая гидратированного  $C_3A$  соответствует чистому шестиводному трехкальциевому

алюминату; кривая гидратированного  $C_3A_2$  помимо основных линий  $C_3AH_6$  содержит ряд линий, характерных для гемита ( $2Al_2O_3 \cdot H_2O$ ). Кривые аномоферритов указывают на присутствие в гидратированных образцах в основном  $C_3AH_6$ . Содержание некоторого количества окиси железа в образцах  $C_3AF$ , не сказывается на изменении межплоскостных расстояний. По мере увеличения  $Fe_2O_3$  интенсивность линии  $C_3AH_6$  падает, одновременно появляются линии гемита, интенсивность которых постепенно растет.  $C_3F$  при гидратации в автоклавных условиях распадается на гематит и гидроокись кальция, присутствие гидрогранатов не наблюдается.

Большое место в исследовании продуктов гидратации аномоферритов кальция занимает дифференциальный термический анализ.

Торвальдсоном и Грейсом [5] установлено, что  $C_3AH_6$  термт свою воду в две стадии.

Калоуэк [6] нашел, что эндотермический эффект, соответствующий обезвоживанию гидрогранатов, находится в интервале 330—380 С, в зависимости от процентного содержания в них окиси железа.

На кривых нагревания, полученных нами на микротермостановке [7] для снятия одной кривой шло не более 0,3 г вещества) есть два эндотермических эффекта. Первый при температуре 340 С и второй при температуре 520—570 С. Второй эндотермический эффект усиливается по мере перехода от  $C_3A$  к  $C_3F$  за счет увеличения количества гидроокиси кальция в образцах. Кривая, соответствующая обезвоживанию гидратированного двухкальциевого феррита показывает, что при гидратации этого соединения гидрогранатов не образуется.

Так как  $C_3AH_6$  образует ряд твердых растворов с  $C_3FH_6$ , в которых вода может заменяться кремнеземом, поэтому дальнейшая наша работа направлена на синтез кремнесодержащих гидрогранатов.

### Выводы

1. При автоклавной обработке алюмината аномоферритов кальция был получен ряд железосодержащих шестиводных трехкальциевых алюминатов  $C_3AFH_6$ .
2. Показатель преломления этих соединений возрастал по мере увеличения в них содержания окиси железа.
3. Микроскопическим, рентгенографическим и термографическим методом исследования установлено, что полученные соединения относятся к группе гидрогранатов.

Установка создана в физико-химической лаборатории ИХС АН СССР под руководством А. С. Никогосян.

## Литература

- 1 Flint E. P., McMurdie H. F., Wells J. S. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 26, № 1, 13 pp. 1941 г.
- 2 Миронов С. А., Астреева О. М., Малинина Т. А. Цемент № 2, 1957 г.
- 3 Тихонов В. А. Фундаментальные вопросы термометрии. Изв. АН СССР, Казань, 1958 г.
- 4 Торопов Н. А., Болотов А. И., Павлов М. СССР, цемент № 6, стр. 972, 1955 г.
- 5 Thorvaldson I. and Grier, N. S. Can. J. Research, 1, 1929 г.
- 6 Kalousck G. I. and Whitte Adams, J. Am. Concrete Inst., 77-90, 1951 г.

М. С. САТИН

Институт технических наук

Ленинградский филиал  
АСН АС ССРО некоторых направлениях развития технологии  
ячеистых бетонов

Большой практический интерес представляют такие прегрессивные материалы, какими являются ячеистые бетоны. К достоинствам ячеистых бетонов следует отнести малый объемный вес (от 300 до 1200 кг/м<sup>3</sup>), достаточную прочность (до 150-180 кг/см<sup>2</sup>), малый коэффициент теплопроводности и однородность структуры и т.п. При применении ячеистых бетонов для стеновых конструкций особенно ценной является возможность в широких пределах изменять объемный вес и прочность за счет очень простого в технологическом отношении изменения пористости материала. Это позволяет привести в точное соответствие теплотехнические и прочностные показатели ячеистого бетона в каждом конкретном случае применения и получать наиболее рациональное использование стенового материала в конструкции.

Несмотря на несомненные достоинства ячеистых бетонов масштабы применения этих эффективных материалов в отечественной строительной практике далеко не достигли вследствие ряда причин.

В настоящее время в отечественной практике преимущественное распространение получил автоклавный пенобетон на основе порландцемента.

В работах Б. ЦИНИСА и в ряде конструкций, сооруженных на основе требований, предъявляемых к ячеистым материалам ячеистых бетонов, указывается на целесообразность применения молотых кварцевых песков и порландцемента с большим содержанием трехкратного силиката

В результате этих указаний стали применять остродефиниционные цементы высоких марок. Это в свою очередь привело к значительному ограничению применения ячеистых бетонов в строительстве и послужило основанием для развития легких бетонов, для которых разрешалось применение низкомарочных цементов и не требовалось подвергать песок тонкому измельчению.

Высококачественные ячеистые бетоны могут быть получены на основе известково-песчаного вяжущего вещества. Применение для этих целей является более оправданным и технически и экономически, чем применение порландцемента. Являясь местным строительным материалом, известь однако часто бывает очень дефицитной, а стоимость ее близка к стоимости порландцемента. Кроме того, вследствие неоднородности состава известняков, обусловленных их тепловым и техническим несовершенством, известковой технологии (обжила нефракционированных кусков в шахтных печах) выпускаемая известь имеет неслучайный состав, содержит значительное количество пережога и недожога и часто обладает недостаточной активностью. Вследствие непостоянства свойств известки на илить строительный процесс по производству ячеистых бетонов ее основе является весьма затруднительным.

Для установления наиболее рациональной технологии изготовления ячеистых бетонов, которая создала бы требования для широкого применения их в промышленном и гражданском строительстве, необходимо решить ряд проблем. Анализ существующих методов изготовления ячеистых бетонов, можно выявить основные технологические вопросы, не получившие полного освещения и разрешение которых имеет в настоящее время большую практическую значимость.

К основным факторам, определяющим эффективность производства и применения автоклавных ячеистых бетонов следует в первую очередь отнести:

- а) выбор наиболее рационального типа вяжущего вещества;
- б) выяснение возможностей полной или частичной ликвидации тонкого помола песков ячеистого процесса энергоемким и дорогостоящим;
- в) разработка обоснованных режимов автоклавной обработки, обеспечивающих достижение резких сдвигаемых физико-механических показателями при возможно меньшем продолжительности цикла запаривания.

При твердении в нормальных условиях прочность пенообразующего камня в раннем возрасте зависит от содержания в цементе  $C_3A$  и  $C_2S$ , которые в результате гидратации образуют кристаллические структурные составляющие. Плотность-

ность же нарастания прочности в дальнейшие сроки не выше, чем больший объем занимает сетевая структура составляющая, т. е. чем выше процентное содержание  $C_3S$  и  $C_4AF$ .

Технология современного цементного производства строится поэтому таким образом, чтобы обеспечить выпуск цемента с возможно большим содержанием  $C_3S$ , т. е. цемента алитового. Однако в условиях обработки паром высокого давления наибольшини относительный прирост прочности получается для образцов, изготовленных с применением цементов богатых содержанием двуокиси кремния и силиката, которые в нормальных условиях являются менее прочными.

Исследования выполнены в ШИИ и Ленфилизом и А СССР позволили установить, что наиболее эффективным вяжущим веществом для производства автоклавных ячеистых бетонов, являются цементы. Особ. целесообразно применять для этих целей некоторые отходы промышленности, например, нефелиновый шлак, доменный шлак, сланцевую золу и др.

Эффективность использования бештовых цементов в технологии автоклавного пенобетона наглядно может быть показана на примере применения нефелинового шлака, поскольку в нем содержится наибольшее количество  $C_3S$  (до 85%). Молотый нефелиновый шлак с добавкой для активизации твердения в первый черт известки и гипса (нефелиновый цемент) обладает гидравлическими свойствами и имеет прочность  $R_{28}$  через 28 дней при нормальном твердении в пределах 150 - 200  $kg/cm^2$ .

Соотношение прочностей автоклавного пенобетона при различных условиях твердения в случае нефелинового цемента и молотого кварцевого песка приведено в табл. 1.

Пропарка увеличивает прочность пенобетона на нефелиновом цементе по сравнению с 28-дневным твердением в 4 - 2,5 раза, а запарка в 8 - 27 раз. Прочность автоклавного пенобетона на поргланцементе возрастает примерно в 3 - 5 раз.

Таким образом, относительный прочностной эффект обработки паром высокого давления пенобетона на нефелиновом цементе в 4 - 5 раз выше, чем в случае применения поргланцементов.

Из приведенных данных также видно, что в случае нефелинового цемента соотношение между цементом и молотым песком может равняться 1 : 4. В поргланцементом же пенобетоне это соотношение не превышает 1 : 2,5.

Автоклавный пенобетон на основе вяжущих веществ, содержащих значительные количества  $C_3S$  и молотого песка по абсолютным прочностным и объемно-весовым показателям не уступает поргланцементному, что можно видеть из табл. 2.

Таблица 2

Зависимость  $R_{28}$  от  $R_{28}$

$R_{28}$ , $kg/cm^2$	Прочность при сжатии, $kg/cm^2$	
	нефелиновый цемент	поргланцемент
100		15 - 25
500	38 - 47	75 - 100
600	55 - 60	110 - 120
700	70 - 75	140 - 150
800	80 - 90	170 - 180
900	100 - 110	200 - 220
1000	120 - 125	250 - 270
1100	130 - 140	300 - 320
1500	150 - 160	400 - 450

Таблица 3

Зависимость  $R_{28}$  пенобетона от условия твердения при различных добавке молотого песка

Состав пенобетона		$\frac{w}{B}$	$R_{28}$ , $kg/cm^2$	Условия твердения						
нефелиновый цемент, %	Молотый песок, %			водовыжущее отношение	запарка при 8 атм	пропарка при 16 атм 80 с	влажное хранение	3	6	1
80	20	0,50	96,5	126	29	9	1,2	2,7	2,7	2,7
70	30	"	97,5	112	18	6	1,1	2,3	2,3	2,3
50	50	"	100,0	108	15	6	1,2	1,9	1,9	1,9
30	70	"	9,0	118	12	2	1,2	1,3	1,3	1,3
20	80	0,17	9,20	11,3						
10	90	0,12	9,0	7,8						

Из табл. 3 видно, что аналогичные результаты были получены и в случае применения известково-шлакового вяжущего вещества (так Череповецкого завода).

Физико-механические свойства (морозостойкость, водонепроницаемость, гигроскопичность, усадка и др.) автоклавного пенобетона, изготовленного с применением нефелинового и известково-шлакового цемента, также не уступают поргланцементному пенобетону.

Влияние состава вяжущего вещества на прочность пенобетона

Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Прочность пенобетона в кг/см <sup>2</sup> при применении различных вяжущих веществ			
	портландцемент М 400	тринитрат кальция	портландцемент М 500	тринитрат кальция
600	27	30	30	30
700	17	20	20	20
800	7	10	10	10
900	6,00	7,00	7,00	7,00
1000	1,28	1,30	1,30	1,30
1100	1,63	1,60	1,60	1,60
1200	2,60	2,60	2,60	2,60

Примечания: 1. Режим запарки 2. 8 ч.  
 2. Соотношение между объемом вяжущего и объемом молотого песка (на поверхности 3020 см<sup>2</sup>) 1:1  
 3. Портландцемент с активностью 60 кг/см<sup>2</sup>

Повышенная вязкость теста на нефелиновом и известково-шлаковом цементах и быстрое схватывание обеспечивают фиксацию массы до начала разрыхления пеноматериала, возможность получить стоекую пенобетонную массу, обладающую высокой несущей способностью по отношению к крепкому цементному компоненту. Поскольку прочность ячеистых бетонов в значительной мере зависит от равномерности однородности структуры, при применении белитовых цементов имеется возможность использования мелких немолотых песков естественной granulометрии. Это можно видеть в

Таблица 2

Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>			
	нефелиновый цемент	известково-шлаковый цемент	шлак Череповский	шлак Череповский
700	20 35	30 35	25 30	25 35
800	35 50	45 55	30 35	35 45
900	50 70	55 70	40 50	45 60
1000	70 90	70 110	50 60	55 70
1100	95 120	90 110	70 80	75 90
1200	125 160	120 150	90 110	95 120

табл. 1, где приведена прочность конструктивного автоклавного железобетона при использовании немолотого песка крупностью до 0,3-0,6 мм.

Для каждого вида автоклавных материалов и изделий существует оптимальное давление пара, величина которого значительно превышает широко принятую в настоящее время запарку при 8 атм.

Повышение давления пара в автоклавах дает возможность резко увеличить производительность автоклавов за счет сокращения продолжительности запарки, повысить прочностные характеристики ячеистых бетонов и значительно сократить расход вяжущих веществ. Все это приводит к повышению технико-экономической эффективности ячеистых бетонов.

Влияние величины давления пара на прочность пенобетона в случае применения нефелинового и портландского цементов и немолотого песка крупностью до 0,3 мм можно видеть из данных приведенных в табл. 5.

Таблица 3

Влияние режима запарки на R<sub>сж</sub> пенобетона

Режим запарки	R <sub>сж</sub> <sup>н</sup> , кг/см <sup>2</sup>	Портландцемент М 250*		Нефелиновый цемент	
		R <sub>сж</sub> , кг/см <sup>2</sup>	" "	R <sub>сж</sub> , кг/см <sup>2</sup>	" "
2 - 0 - 12 часов 8 атм	88,5 - 91,5	36	100	66	183
3 - 1 - 10 часов 12 атм	"	30	"	72	210
3,5 - 0 - 4,5 - 8 часов 15 атм	"	32	"	79	247
4 - 0 - 1,5 - 8,5 часов 20 атм	"	31	"	81	261

Аналогичные результаты были получены и на гранулированном шлаке Череповского металлургического завода.

На основании вышеизложенного исследования следует считать целесообразным использование портландцемента из технологичных автоклавных ячеистых бетонов по следующим причинам:

а) при применении портландцемента не используется его способность, так как конечный продукт является материную оболочку наиболее прочностью (до 100 кг/см<sup>2</sup>).

б) при автоклавной обработке лучше твердеют и дают высвободившиеся бетоны лучшего качества белитовые цементы,

применение отходов промышленности, богатых содержанием  $S_2$ , даст возможность значительно снизить стоимость изделий при одновременном повышении их качества;

г) применение дешевых белитовых цементов для производства ячеистых бетонов создаст необходимые предпосылки для пересмотра установившегося мнения о высокой эффективности и индустриальности легких бетонов;

д) представляется, что "бесцементные" ячеистые бетоны на немолотом мелком песке имеют все данные, чтобы производиться на базе строительных сборных деталей развиваясь бурными темпами.

Л. Г. ГУЛИНОВА

кандидат технических наук

(Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий АС и А УССР)

### Микропоритбетон

На Днепровском силикатном заводе треста Запорожстали уже в течение 8 лет производится конструктивно-теплоизоляционный материал - строительный микропорит.

Способ изготовления микропорита весьма прост: глина, известь и песок (или же лесоводные суглинки и известняк) совместно с водой, количество которой составляет до 200% по весу, считая на сухие материалы, измельчаются в шаровой мельнице мокрого помола. Получаемый при этом шлам разливается в разборные металлические формы и запаривается в автоклаве.

В процессе автоклавной обработки между известью, песком и глиной происходят химические реакции, в результате которых образуется твердый скелет, состоящий из гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Вследствие наличия в массе до ее запаривания значительного количества воды, отвердевший материал после его автоклавной обработки и высушивания приобретает микропористую структуру в виде сообщающихся друг с другом мельчайших ячеек. Это и позволяет получать его с достаточно низким объемным весом в пределах от 0,3 до 0,9  $t/m^3$ .

Основные физико-механические свойства микропорита в зависимости от его объемного веса приведены в табл. 1.

Пористость материала при объемном весе от 0,3 до 0,9  $t/m^3$  составляет 85-55%, а коэффициент теплопроводности от 0,07 до 0,3  $\frac{kcal}{m \cdot час \cdot град}$ .

Материал хорошо обрабатывается: шпатель, режется и гвоздится.

218

Таблица 1

Прочность, кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес в сухом состоянии, $t/m^3$						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
При сжатии	15	20	30	40	60	80	100
При растяжении	3	4	4	5	6	8	10
При изгибе	25	35	45	6	9	12	15

Расход материалов на 1  $m^3$  микропорита с объемным весом 0,6-0,7  $t/m^3$  составляет примерно: глины 350-375 кг, известняк 80-90 кг, глиняный порошок 110-125 кг, песка кварцевого 125 кг.

Общий выпуск этого материала за время работы цеха микропорита составил к настоящему времени около 100  $тыс. м^3$  переторочных плит, не считая других видов изделий из него. Производство микропорита позволяет тресту Запорожстали экономить значительное количество леса, что для Запорожья, как безлесного района, имеет особое значение.

Несмотря на ряд положительных качеств, строительный микропорит обладает некоторыми недостатками, основными из которых являются хрупкость изделий и значительная чувствительность микропорита к резким изменениям давления в процессе запаривания его в автоклаве, что требует являющегося режима гидротермальной обработки, часто приводит к повышенному количеству брака, а также затрудняет производство крупногабаритных изделий.

С целью улучшения свойств микропорита снижения хрупкости изделия, сокращения времени автоклавной обработки, получения крупноразмерных элементов и т. д., в научно-исследовательском институте стройматериалов и изделий АС и А УССР были поставлены опыты по изучению возможности получения "микропоритбетона" на основе микропоритового шлама в качестве вяжущего и различных видов легких заполнителей, например, шлаковой пемзы, отвалных пористых доменных шлаков, котельных шлаков, керамзита, вспученной керамики, а также естественных легких пород.

Лабораторные исследования показали возможность получения микропоритбетона на указанных видах легких заполнителей.

Строительной лабораторией треста Запорожстали поставлены лабораторные и производственные опыты по получению микропоритбетона с использованием в качестве заполнителя термозита, выпускаемого Запорожским шлако-

219

пемзовым заводом Укрнерудпрома. Стоимость шлакобетонной пемзы на опытной установке этого завода составляет около 15 рублей за 1 м<sup>3</sup>. При налаживании работы завода на полную его мощность в соответствии с проектной стоимостью пемзы должна составить 8 руб. 50 коп. за 1 м<sup>3</sup>.

Технология производства микропоритбетона в общем почти не отличается от производства микропорита. Приготовление шлама в этом случае производится из тех же компонентов, т. е. извести, глины и песка (или извести и песка). Способ изготовления шлама также по ною сохраняется.

Несколько иначе производится подготовка к разливу шлама в формы. При изготовлении изделий из микропоритбетона формы перед заливкой их шлагом заполняются щебнем из того материала, который должен служить в этом случае заполнителем.

Подбор гранулометрического состава заполнителя производится по стандартной кривой распада. В форму предварительно заполненную щебнем заливается микропоритовый шлам.

Для получения качественных изделий из микропоритбетона плотность шлама должна быть специально подобрана. При использовании слишком жидкого шлама (с содержанием до 60% воды), последний в процессе автоклавной обработки дает значительную усадку. При слишком густом шламе, содержащем 30-40% воды, в изделиях вследствие плохого проникновения шлама в слой щебня получаются раковины. Хорошие результаты были достигнуты при использовании шлама с содержанием около 50% воды. В этом случае шлам легко проникает в слой щебня и полностью заполняет промежутки между отдельными его зернами. Соотношение между шлагом и щебнем составляет при этом примерно 1:1 по объему.

Изготовление перегородочных плит из микропоритбетона может производиться как в горизонтальных, так и в вертикальных кассетных формах.

Изготовление крупных стеновых блоков из микропоритбетона следует производить по следующей технологии: надно разборной металлической формы, предназначенной для получения блока, укладывается слой обычной силикатной массы, применяемой для изготовления кирпича или цветной силикатной массы. Уплотнение фактурного слоя производится при этом путем легкой вибрации или виброрамбонанием.

В качестве красящих пигментов для окрашивания фактурного слоя могут быть использованы в первую очередь природные минеральные земляные краски охра, умбра, мумия, шпательит, железный сурь, цветные глины, облая-

ющие достаточно интенсивной окраской; некоторые виды отходов промышленности: отходы производства индиготириной кислоты, горелые порошки, котельные шлаки и т. д. После укладки фактурного слоя форма заполняется щебнем, применяемым в качестве заполнителя, и заливается микропоритовым шлагом.

Было установлено, что автоклавная обработка крупных блоков, полученных на основе микропоритбетона, может производиться при режиме установленном для силикатного кирпича, т. е. сокращается примерно на 4 часа по сравнению с режимом принятым для микропорита. Никаких дефектов на блоках после их автоклавной обработки при таком режиме не было обнаружено. Указанное сокращение времени пребывания изделий в автоклаве позволяет примерно на 30% увеличить его оборачиваемость.

Вязкость изделий из микропоритбетона после их автоклавной обработки колеблется от 18 до 25%, что почти полностью позволяет отказаться от их сушки, особенно в летнее время. Основные физико-механические свойства микропоритбетона следующие:

объемный вес в т/м <sup>3</sup>	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9—1,0
предел прочности при сжатии в кг/см <sup>2</sup>	30		40		50

Коэффициент теплопроводности микропоритбетона с указанным объемным весом колеблется в пределах от 0,25

$$0,35 = \frac{\lambda_{\text{бет}}}{\lambda_{\text{кир}} \text{ град}}$$

Приведенные данные показывают, что микропоритбетон не может быть использован как теплоизоляционный материал взамен микропорита, но он может найти себе широкое применение как легкий конструктивный материал для изготовления стеновых блоков, перегородочных панелей и др. конструктивных элементов зданий.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> микропоритбетона составляет около 80 руб.

Вследствие хороших теплотехнических качеств микропоритбетона толщина стены из него для расчетной температуры 20° составляет около 30 см. Вес 1 м<sup>2</sup> стены из микропоритбетона с учетом фактурного слоя составит около 200 кг, т. е. будет ниже чем вес 1 м<sup>2</sup> стены из применяемых в настоящее время в практике нашего строительства легких бетонов.

Т. Т. ТРОЦКО  
инженер  
(Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий  
АС и А УССР)

### Бесцементный автоклавный крупнопористый силикатбетон

В современном жилищном и промышленном строительстве все шире находят применение крупноразмерные элементы зданий и сооружений.

Семилетним планом развития народного хозяйства выпуск крупных стеновых блоков из ячеистого бетона, бетонных и силикатных блоков должен быть увеличен в 1965 году в 4 раз по сравнению с выпуском за 1958 г.

В связи с большой потребностью в стеновых материалах, производство крупных блоков приобретает особое значение.

Основной задачей при организации выпуска крупных блоков является улучшение их качества, снижение стоимости, уменьшение веса 1 м<sup>2</sup> блоков в стенах зданий, прочности и улучшение теплотехнических свойств.

Изготавливаемые в настоящее время крупные силикатные блоки выпускаются с объемным весом 1,9—2,0 т м<sup>3</sup> и толщиной 51—62 см.

Практика показала, что указанная толщина силикатных блоков не обеспечивает по своим теплотехническим свойствам необходимого температурно-влажностного режима жилых зданий с расчетной зимней температурой 20—22°.

Улучшения теплотехнических свойств силикатных блоков за счет уменьшения их объемного веса можно достигнуть следующим образом:

- устройством в блоке эффективных пустот,
- производством блоков из пористых силикатных масс введением в силикатную массу легких заполнителей.

В 1957—1958 гг. в лаборатории силикатных и гипсовых материалов НИИСМИ АС и А УССР были поставлены исследования по установлению возможности получения силикатных изделий с пониженным объемным весом путем введения в известково-песчаную смесь различных видов легких заполнителей.

Первый этап работы был посвящен снижению объемного веса силикатных материалов и получению нового материала силикатбетона за счет введения в известково-песчаную смесь легких заполнителей. В качестве легких заполнителей использовались: термозит, керамика, вспученная керамика, котельный шлак, доменный гранулированный шлак и естественные породы. Физико-механическая характеристика легких заполнителей приведена в табл. 1

Заполнители фракции 40—20, 20—10, 10—5 мм применялись в воздушно-сухом состоянии без предварительного увлажнения. В силикатную массу заполнители вводились в различных количествах при их разном гранулометрическом составе и различном соотношении отдельных фракций заполнителя.

Образцы формовались с применением каждой фракции заполнителя отдельно, а также со смесью фракций в различном соотношении.

Таблица 1  
Физико-механическая характеристика легких заполнителей

Наименование заполнителя	Размер зерен, мм	Объемный вес, т м <sup>3</sup>		Предел прочности при сжатии, кг см <sup>2</sup>	Объем пустот в цементе, %	Водопоглощение, %
		в куске	насыщенный			
Термозит	40—20	1,17	0,60	81—107	48,0	30,0
	20—10		0,74			
	10—5		0,78			
Керамзит	40—20	0,61	0,15	8—80	41,6	32,5
	20—10	0,70	0,51			
	10—5	0,80	0,58			
Вспученная керамика	40—20	0,80	0,58	12—60	54,0	20,0
	20—10		0,61			
	10—5		0,70			
Опилка	40—20	1,17	0,75	70—170	40,3	23,3
	20—10		0,80			
	10—5		0,86			
Шлак котельный	40—20	1,32	0,70		50,6	20,0
	20—10		0,86			
Шлак гранулированный			1,30		45,0	17,5

В результате работы был получен силикатбетон со следующими основными показателями.

объемный вес 1,5—1,7 т м<sup>3</sup> (вместо 1,8—2,0 т м<sup>3</sup> для обычного силиката при пределе прочности при сжатии силикатбетона 100—150 кг см<sup>2</sup>, коэффициентом теплопроводности 0,6—0,7 ккал м град час

Как показали исследования, добавка к силикатной массе в качестве крупного заполнителя котельного шлака незначительно снижает объемный вес материала при резком снижении его прочности.

Добавка гранулированного шлака к силикатной массе в количестве до 30% повышает объемный вес материала и его прочность. Дальнейшее повышение содержания гранулированного шлака приводит к незначительному снижению объемного веса материала при резком падении прочности.

Коэффициент теплопроводности при этом почти не изменяется.

Вследствие этого, снижение объемного веса силикатных изделий за счет введения в качестве заполнителей котельного и доменного гранулированного шлака не рекомендуется.

Введенным в состав известково-песчаной массы трепела, вспученной керамики, керамика и термозила в количестве до 40% от веса шихты можно снизить объемный вес силикатных изделий до 1,55-1,4 т/м<sup>3</sup> при сохранении прочности соответственно 130-160 кг/см<sup>2</sup>.

Второй этап работы был посвящен исследованию по улучшению теплофизических свойств силикатных материалов путем получения автоклавно-крупнопористого бесцементного силикатбетона с применением искусственных и естественных легких заполнителей на базе силикатной массы с повышенными вязкостными свойствами.

С целью повышения прочности известково-песчаные смеси приготавливались с применением моточного песчаного известня и тонкомолотых добавок (песка, глины, гранулированного шлака).

Графическое изображение зависимости предела прочности при сжатии от содержания в шихте измененных добавок показано на рис. 1.

На оптимальных составах известково-песчаной смеси обладающей повышенной прочностью (300-450 кг/см<sup>2</sup>) и изготовляемой крупнопористым силикатбетоном с использованием в качестве заполнителей термозила, вспученной керамики и трепела. При этом изучалось влияние качества пористых заполнителей (прочность, пористость, скорость процессов водопоглощения) их зернового состава, качества вяжущего, количества воды затворения и условия уплотнения.

Физико-механические свойства крупнопористого силикатбетона определялись на образцах размером 15x15x15 см.

Формовка образцов производилась методом вибрации на лабораторной виброплоскости при частоте колебаний 2800 в/мин. и амплитуде колебаний 0,3-0,5 мм. Режим автоклавно-обработки был принят заводской для обычного силикатного кирпича.

В зависимости от вида и пористости заполнителей оптимальное содержание влаги в шихте для изготовления силикатбетона составляет 11-12,5%.

224

При использовании значительных жадно поглощающих влаги, количество воды в шихте должно быть повышено до 12,5-13%.

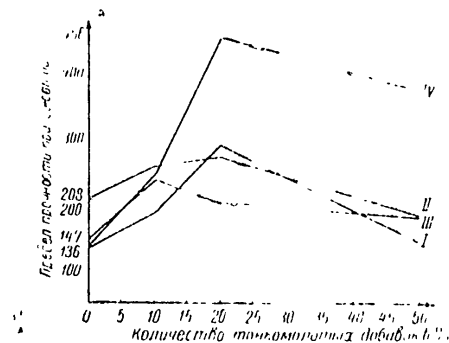


Рис. 1 Зависимость предела прочности при сжатии от содержания добавок

Для получения смеси, обладающей хорошей формовочной способностью и обеспечивающей наибольшую прочность крупнопористого силикатбетона, количество воды затворения должно определяться для каждого вида заполнителя с таким расчетом, чтобы не было стекания массы.

В проведенных опытах количество воды составляло до 20%.

С целью определения влияния зернового состава заполнителя на прочность и объемный вес крупнопористого силикатбетона были проведены опыты по подбору оптимального соотношения различных смесей на термозильном шелье.

В связи с различными мнениями о влиянии способа подготовки бетона на его прочностные показатели, было опробовано несколько способов смешивания заполнителя с известково-песчаной смесью.

Лучшие результаты получены при смешивании заполнителей и известково-песчаной смеси в сухом состоянии с последующим увлажнением.

Результаты физико-механических свойств крупнопористого силикатбетона приведены в табл. 2.

15 зак. 196

225



Таблица

**Физико-механические свойства крупнопористого силикатбетона**

Состав силикатбетона по объему (сильно-заполнитель)	Вид наполнителя	Физико-мех. характе- ристики		Расход и шевел. кг м
		Объемный вес, т м	Предел прочности при сжатии, кг см	
1-5	термоит	1,0-1,2	90-30	40
1-3,31	"	1,3-1,4	50-75	50
1-10	вспученный керманит	0,8-0,9	15-20	25
1-5	"	1,0-1,2	40-50	40
1-2,5	"	1,3	75-95	60
1-5	трена	1,2-1,3	20-35	40
1-3,31	"	1,3-1,4	15-25	50
1-2,5	"	1,7	110	60

В табл. 3 показано изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от вида наполнителя и содержания его в крупнопористом силикатбетоне

Таблица

**Теплопроводность автоклавного крупнопористого силикатбетона с различными наполнителями**

Вид наполнителя	Соотношение с силикатбетона по объему (объемный вес, т м)	Объемный вес, т м	Коэффициент теплопроводности, ккал м час. град.
Известковая масса без наполнителя	—	1,90	0,75
Термоит	1-2,5	1,55	0,60
	1-3,31	1,30	0,53
	1	1,20	0,49
	1-10	1,18	0,37
Вспученный керманит	1-3,31	1,30	0,38
	1-5	1,10	0,35
	1-10	0,90	0,2
Трена	1-5	1,40	0,53

Приведенные данные показывают, что коэффициент теплопроводности зависит не только от объемного веса мате-

риала, но также от вида наполнителя и его гранулометрического состава.

Увеличение количества наполнителя резко сказывается на изменении теплопроводности крупнопористого силикатбетона. При одинаковом объемном весе крупнопористого силикатбетона при использовании различных видов наполнителей наименьшей теплопроводностью обладают образцы со вспученной керамикой.

Коэффициент теплопроводности крупнопористого силикатбетона колеблется в пределах 0,5-0,32 ккал/м час град.

Указанное снижение коэффициента теплопроводности крупнопористого силикатбетона позволит уменьшить толщину стены до 30-40 см вместо 50-60 см для обычного силиката, что даст значительный экономический эффект.

Петрографические исследования контакта силикатной массы с наполнителем показали, что новообразованный в зонах сцепления наполнителя с известково-песчаной массой не обнаружено. Отслаивания силикатной массы от отдельных зерен наполнителя ни в одном случае не наблюдалось.

Поэтому можно считать, что прочность сцепления силикатной массы с наполнителем определяется главным образом адгезионными свойствами указанных материалов.

Таким образом, в результате исследований был получен крупнопористый силикатбетон с объемным весом 1,1-1,4 т/м³ и пределом прочности при сжатии 35-100 кг/см², который может быть рекомендован как стеновой материал в виде крупных блоков или панелей, и крупнопористый силикатбетон с объемным весом 0,9-1,1 т/м³ при прочности 10-35 кг/см², который может быть использован как теплоизоляционный материал.

По предварительным технико-экономическим подсчетам общая стоимость 1 м² стены из крупнопористого силикатбетона может быть снижена на 18-25 рублей по сравнению с блоками из обычного силикатной массы за счет снижения расхода материальных ресурсов и сокращения транспортных расходов.

**В. И. КАВАЛЕРОВА**  
инженер

(Институтский инженерно-строительный институт)

**Влияние поверхностно-активных добавок на прочность малоактивных вяжущих веществ**

Введение поверхностно-активных добавок в состав различных вяжущих веществ позволяет регулировать процессы

схватывания и твердения, а также улучшать некоторые из свойств.

Влияние поверхностно-активных веществ на свойства растворов и бетонов изучалось многими советскими и зарубежными учеными.

В этом направлении проведены большие работы П. А. Ребиндером, В. Ф. Журавлевым, Ю. М. Буттом, В. В. Стольниковым и многими другими исследователями. Среди зарубежных ученых в этой области известны работы Барти Фостера, Уэрнея и др.

В результате проведенных работ было установлено, что поверхностно-активные вещества, будучи добавлены к цементам, интенсифицируют процесс их помола, уменьшают потерю активности при долготермическом хранении, улучшают свойства свежеприготовленных бетонных и растворных смесей, как-то: снижают водопотребность, увеличивают пластичность, уменьшают водоотделение и расслаивание.

Кроме того, отмечается возможность значительного изменения структуры и свойств затвердевшего цементного камня под влиянием вводимых поверхностно-активных добавок, в результате чего повышается морозостойкость, водонепроницаемость и другие технические свойства растворов и бетонов.

П. А. Ребиндер считает, что действие поверхностно-активных добавок обусловливает образование мелкокристаллических высокодисперсных структур в результате адсорбционной пептизации и адсорбционного модифицирования кристаллов гидросиликатов гидроксиминералов и других новообразований от которых зависит прочность цементного камня.

А. В. Сатакин и М. В. Кубланова изучая влияние добавок на свойства цементов различного минералогического состава, установили, что сульфитный щелок наименьшее пластифицирующее действие оказывает на белитовый цемент. Авторы указывают, что адсорбция поверхностно-активных веществ на частицах цемента зависит от природы адсорбента, т. е. чем активнее адсорбция добавки на частицах цемента тем медленнее процессы схватывания и твердения в ранние сроки.

В. П. Сорочер в результате проведенных исследований пришел к выводу, что добавление 0,3% сульфитно-спиртовой барды к  $3CaO \cdot SiO_2$  снижает прочность последнего, добавка того же количества сульфитно-спиртовой барды к  $2CaO \cdot SiO_2$  увеличивает пластичность и повышает прочность.

В. А. Пухов исследовал действие добавок на чистые  $2CaO \cdot SiO_2$  и получил следующие данные: образцы, твердевшие при 20° с добавкой сульфитно-спиртовой барды в количестве 0,25% при опускании их через 2 суток в воду

разрушились; образцы же, обработанные паром при 1,5 *атм* с поверхностно-активными добавками, снизили прочность на 19-45%.

Из приведенных литературных данных видно, что результаты исследования процессов гидратации, как чистых минеральных минералов, так и цементов, при действии на них поверхностно-активных добавок достаточно противоречивы.

Следует отметить, что существует единое мнение о том, что степень влияния поверхностно-активных добавок на процессы схватывания и твердения зависит от минералогического состава вяжущего вещества. Причем в первые часы после затвердения наблюдается замедление процессов схватывания.

Влияние добавок на растворы и бетоны, подвергаемые автоклавной обработке, почти не изучалось. Совместное действие таких сильных физико-химических средств, как поверхностно-активные добавки и гидротермальная обработка, должно, по нашему мнению, влиять на развитие процессов твердения вяжущих веществ.

Изучая новое малоактивное вяжущее вещество нефелиновый шлак, являющийся отходом глиноземного производства и содержащий до 70%  $2CaO \cdot SiO_2$ , необходимо было выяснить влияние поверхностно-активных веществ на свойства последнего.

Учитывая малую активность нефелинового шлама и результаты опубликованных исследований о поведении  $2CaO \cdot SiO_2$  при нормальном твердении, не следовало ожидать значительного эффекта от добавления к нему поверхностно-активных добавок.

Нами изучалось влияние добавок на твердение нефелинового шлама и нефелинового цемента<sup>1)</sup> при автоклавной обработке.

В качестве добавок использовались сульфитно-спиртовая барда (ССБ) и абетат натрия. Сульфитно-спиртовая барда вводилась в количестве 0,2, 0,5 и 1% от веса вяжущего, абетата натрия - 0,02, 0,05 и 0,1%. Образцы и вводились в растворы вместе с водой затворения.

Образцы готовились из теста в растворах 1:3 пластиной консистенции на нефелиновом шламе и нефелиновом цементе.

Часть образцов подвергалась закалке при 8 *атм* по режиму 2-8-4-2 другая твердела на воздухе.

Изменение прочностных характеристик образцов, приготовленных на шламе с добавками сульфитно-спирто-

<sup>1)</sup> Нефелиновый цемент представляет собой смесь 8% нефелинового шлама с 15% известняковой шихты.

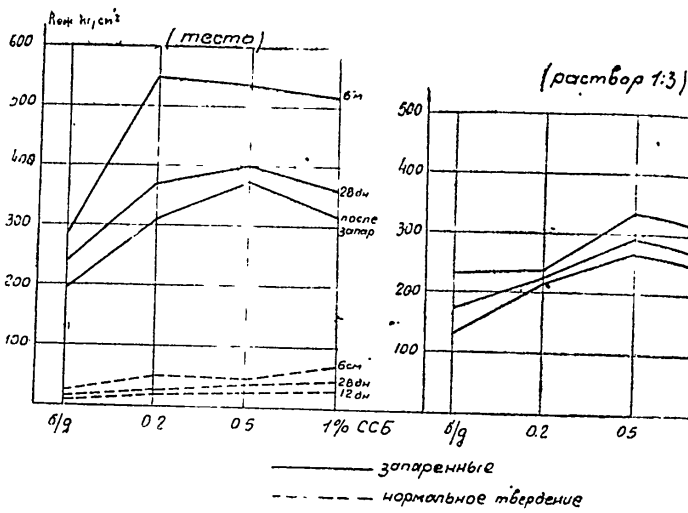


Рис. 1. Ачинский нефелиновый шлам с добавкой ССБ.

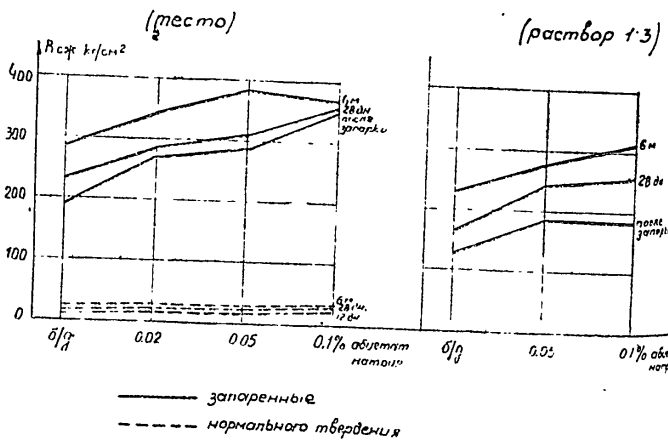


Рис. 2. Ачинский нефелиновый шлам с добавкой абьетата натрия.

вой барды и абьетата натрия, подвергнутых запарке при нормальном твердении, можно проследить по данным рис. 1 и 2.

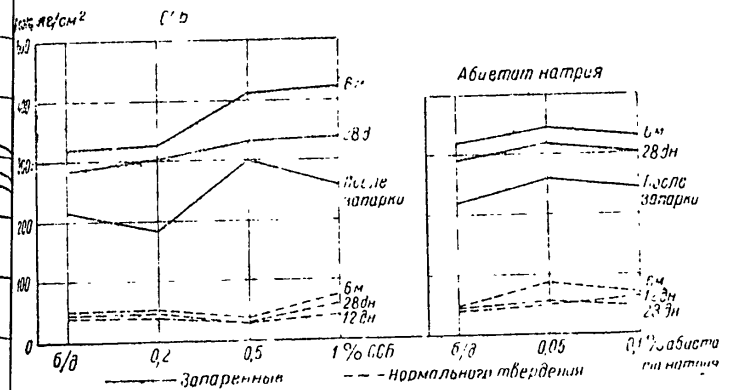


Рис. 3. Прочность раствора на волховском нефелиновом цементе с добавками

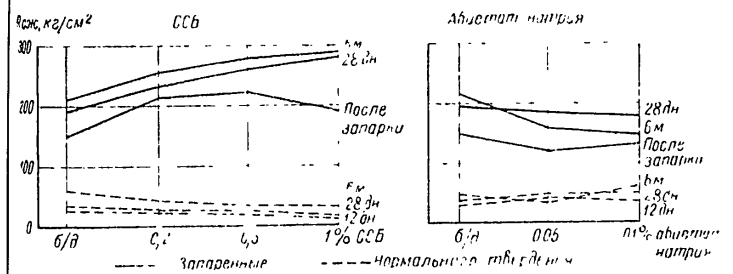


Рис. 4. Прочность раствора на ачинском нефелиновом цементе с добавками.

Из рисунков видно, что прочность образцов с поверхностно-активными добавками, подвергнутых гидротермальной обработке, в несколько раз превышает прочность аналогичных образцов, твердевших в нормальных условиях.

Сравнивая прочностные характеристики образцов с добавками и без добавок, подвергнутых запарке, можно видеть положительную роль как ССБ, так и абьетата натрия, поскольку прочность образцов с добавками в 1,5—2 раза выше прочности образцов без добавок.

Оптимальной дозировкой для ССБ можно считать 0,5% для абнетата натрия 0,05—0,1%.

Для изучения влияния добавок на свойства нефелиновых цементов были приготовлены цементы из нефелинового шлама Ачинского и Волховского глиноземных заводов, результаты которых представлены на рис. 3 и 4.

Данные, представленные на этих рисунках, показывают, что прочность образцов на нефелиновых цементах с поверхностно-активными добавками подвергнутых запарке также в несколько раз выше прочности образцов нормального твердения.

Образцы, приготовленные на нефелиновых цементах, значительно повышают прочность при добавке ССБ после автоклавной обработки, в то время как добавка абнетата натрия несколько увеличивает прочность нефелинового цемента, приготовленного из волховского шлама, но снижает прочность ачинского.

Это наблюдается и для образцов нормального твердения.

Следует особенно подчеркнуть, что абсолютные значения прочности образцов, приготовленных на чистом нефелиновом шламе с добавкой ССБ, подвергнутых запарке, выше прочности аналогичных образцов, приготовленных на нефелиновых цементах.

Приведенные результаты показывают, что медленно твердеющие вяжущие вещества при совместном действии поверхностно-активных веществ и автоклавной обработки значительно повышают свою активность.

Причина этого явления нам представляется в следующем: поверхностно-активная добавка, замедляя процессы схватывания, подготавливает образование больших количеств диспергированных гелеобразных продуктов, способствуя тем самым более глубокому (по сечению цементного зерна) прохождению процессов гидратации.

В процессе автоклавной обработки накопленные гелеобразные продукты гидратации уплотняются и кристаллизуются, а поскольку геля в образце много, то больше образуется и кристаллических продуктов и полнее используются потенциальные возможности цемента, что и обуславливает прочность затвердевшего камня.

Полученные данные позволяют считать, что:

1) используя медленно твердеющие вяжущие вещества, можно получить растворы и бетоны достаточно больших прочностей при совместном действии поверхностно-активных добавок и автоклавной обработки;

2) при гидротермальной обработке поверхностно-активные вещества являются как бы „активизаторами твердения“ нефелинового шлама и могут вполне заменять рекомендо-

ванные до сего времени добавки к шламу: известь, гипс, портландцемент и др;

3) применение поверхностно-активных добавок совместно с запаркой дает возможность полнее использовать нефелиновый шлам.

В. А. ГИХОНОВ

кандидат технических наук, доцент

И. С. ИНГУЛЬСКАЯ

(Волховский политехнический институт)

#### Влияние тепловлажностной обработки и поверхностно-активных веществ на механическую прочность различных глиноземистых цементов

Глиноземистый цемент отличается от других гидравлических вяжущих быстрым нарастанием прочности. Однако если его загвсрдевание происходит при температуре выше 25°, то прочность при этом резко падает.

Падение прочности исследователи трактуют по-разному. Так, Ассарсон, Богг, Дрейфус и другие объясняют это образованием кубического шестиводного алюмината кальция —  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  [1, 2, 3, 5].

Существует также и другое мнение, согласно которому причину падения прочности глиноземистого цемента при температуре выше 25° видят не только в образовании кубического гидроалюмината, но и в природе и взаимодействии всех гидратных соединений, образующихся в процессе гидратации глиноземистого цемента, и в изменении их под влиянием внешних условий [4].

В целях предотвращения падения прочности глиноземистого цемента при температуре выше 25° И. И. Будников предложил измалывать глиноземистый цемент с некоторым количеством ангидрита (15% „). При твердении такого цемента в условиях повышенных температур его механическая прочность не снижается.

Возможно, что помимо введения в глиноземистый цемент ангидрита существуют и другие способы, предотвращающие образование нежелательного компонента в цементном камне. Так например, если изменять концентрацию кристаллизующегося или реагирующего компонента в жидкой фазе, то уже это одно может привести хотя бы к некоторому изменению состава продуктов гидратации.

С помощью поверхностно-активных веществ, введенных в незначительных количествах в систему цемент — вода, удается изменять концентрацию компонентов в жидкой фазе [10].

Поэтому нами в качестве факторов, способствующих изменению состава жидкой фазы и цементного камня, были избраны поверхностно-активные вещества.

С целью изыскания способов, предотвращающих падение прочности растворов и бетонов на глиноземистом цементе, твердевших при повышенной температуре, нами была проведена работа по исследованию влияния гидротермальной обработки и поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистого цемента.

#### Характеристика исходных материалов

Испытывались глиноземистые цементы разного минералогического состава, полученные на спекательной решетке (ГЦ-1, ГЦ-2 и ГЦ-3) и в доменной печи при одновременном получении чугуна (ГЦ-4 и ГЦ-5).

Химический состав цементов приведен в табл. 1. Результаты физико-механических стандартных испытаний — в табл. 2.

С целью сопоставления химического состава цементов с результатами физико-механических испытаний и установления зависимости физико-механических свойств от химического состава, целесообразно ввести коэффициент активности ( $K_a$ ), показывающий отношение суммы оксидов кальция и алюминия к сумме двуокиси кремния, окиси железа и окиси магния:

$$K_a = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO}}$$

Таблица 1

Компоненты	Глиноземистые цементы				
	ГЦ-1	ГЦ-2	ГЦ-3	ГЦ-4	ГЦ-5
п. п. п.				0,63	1,20
SiO <sub>2</sub>	5,65	7,75	8,06	8,44	13,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,70	42,13	41,70	13,50	42,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,27	17,32	17,32	3,60	1,07
CaO	31,54	32,00	31,21	11,60	38,08
MgO	0,40	0,04	0,30	1,41	1,34
SO <sub>3</sub>	нет	нет	нет	0,68	0,38
Сумма	98,72	99,54	98,16	99,91	99,58
Коэффициент активности $K_a$	3,11	2,96	2,81	6,32	4,96

234

Таблица 2

#### Результаты стандартных физико-механических испытаний глиноземистых цементов

Показатель	Глиноземистые цементы				
	ГЦ-1	ГЦ-2	ГЦ-3	ГЦ-4	ГЦ-5
<b>Сроки схватывания</b>					
Начало, час-мин	0--30	2 00	4 00	1-32	3-07
Конец, "	6 30	7 00	8 10	4-22	11-05
Равномерность изъятия объема	выдерж.	выдерж.	выдерж.	выдерж.	выдерж.
<b>Предел прочности при сжатии, кг/см<sup>2</sup></b>					
1 суток	535	424	267	200	120
3 суток	552	416	303	420	280
28 суток	616	516	297	112	350
<b>Предел прочности на растяжение, кг/см<sup>2</sup></b>					
1 суток	23,9	27,2	20,0	-	-
3 суток	26,6	28,1	24,5	-	-
28 суток	28,9	21,1	16,4	-	-
Марка цемента $K_a$	500	400	300	100	200
	3,41	2,96	2,84	6,32	4,96

Коэффициенты активности цемента ГЦ-1, ГЦ-2 и ГЦ-3 соответственно равны 3,41, 2,96 и 2,84; цементов ГЦ-4 и ГЦ-5 — 6,32 и 4,96.

Структура цементов, полученных по способу спекания и плавления, различна. Поэтому будут отличаться друг от друга и свойства этих групп цементов даже при одинаковом химическом составе.

Так например, для цементов ГЦ-1, 2 и 3 с уменьшением  $K_a$  удлиняются сроки схватывания, а марки цементов уменьшаются. Это наглядно показано в табл. 2 (две последние строки таблицы). Такая же закономерность наблюдается и для цементов ГЦ-4 и 5, только порядок величин  $K_a$  здесь иной. Поэтому зависимости механических свойств от химического состава цементов первой и второй групп будут несколько отличными:

$$\Phi M = f_1(K_a) \quad \text{и} \quad \Phi M = f_2(K_a)$$

В качестве поверхностно-активных веществ были избраны сульфитно-спиртовая барда (ССБ), фталевая кислота и стеарат натрия. Они вводились в воду затворения.

В качестве заполнителя использовали нормальный вольский песок.

235

### Методика испытаний

На глиноземистых цементах с добавками поверхностно-активных веществ и без них готовились растворы 1:3 пластичной консистенции. Из этих растворов формовались образцы-кубы  $2 \times 2 \times 2$  см, которые одни сутки хранились при 20° во влажном пространстве, а затем в различных условиях:

- а) в воде комнатной температуры,
- б) в парах кипящей воды при 80°,
- в) в автоклаве при 1 и 2 атм.

Пропарка и запарка проводилась в течение 1 часова.

По окончании сроков твердения или водотепловой обработки образцы подвергались испытанию на сжатие. За результат испытания принималось среднее значение из шести испытанных образцов-близнецов.

В отдельных случаях готовились образцы из теста нормальной густоты, которые хранились и испытывались также, как и растворы.

### Влияние поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементах

Таблица 3

Влияние поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементах, твердевших при 20°

Наименование добавки	Количество добавки, %	Сроки твердения в сутках														
		ГЦ-1			ГЦ-2			ГЦ-3			ГЦ-4			ГЦ-5		
		1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
Предел прочности при сжатии: раствора 1:3 (%)																
Б добавок	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Сульфитно-спиртовая барда	0,10	101	125	125	138	110	110	0	91	97	11	52	91	100	99	100
"	0,15	100	173	121	103	101	100	0	78	98	50	72	69	99	91	93
"	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	59	78	-	-	-
Фталевая кислота	0,07	68	125	100	85	71	108	0	32	96	78	107	69	63	96	100
"	0,09	68	125	106	89	96	0	35	95	98	92	51	63	96	93	93
Стеарат натрия	0,05	137	126	100	103	89	91	0	27	97	106	19	36	73	92	93
"	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	83	70	63	92	92

1. За 100% приняты пределы прочности на сжатие раствора 1:3 без добавок в сроки 1, 3 и 7 суток, что соответствует для ГЦ-1 136, 159 и 249 кг/см<sup>2</sup>

- \* ГЦ-2 151, 263 и 300 "
- \* ГЦ-3 39, 169 и 238 "
- \* ГЦ-4 200, 120 и 412 "
- \* ГЦ-5 120, 280 и 350 "

Действие поверхностно-активных веществ на механическую прочность растворов на глиноземистом цементе, полученном по способу спекания, показано в табл. 3, из которой видно, что эффективность действия поверхностно-активных веществ на механическую прочность глиноземистых цементов, полученных методом спекания, зависит от химического состава цемента: с уменьшением коэффициента активности ( $K_a$ ) эффективность действия добавок падает, а при  $K_a < 2,96$  поверхностно-активные добавки приводят к снижению механической прочности.

Если рассмотреть данные по действию поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности растворов, изготовленных на глиноземистых цементах, полученных методом плавления (ГЦ-4 и 5), то можно увидеть, что поверхностно-активные вещества в большинстве случаев приводят к снижению прочности образцов, независимо от минералогического состава цементов. Подобное явление можно объяснить тем, что структура данных цементов характеризуется наличием значительного количества стекловидной фазы. Поэтому механизм гидратации и твердения таких цементов отличается от тех процессов, которые протекают при гидратации цементов, полученных спеканием и не содержащих стекловидной фазы.

### Влияние гидротермальной обработки на изменение механической прочности глиноземистых цементах

Результаты испытаний приведены в табл. 4 и 5, причем в табл. 4 сравнивается механическая прочность пропаренных и запаренных образцов с прочностью односуточных образцов, твердевших во влажном пространстве при 20°, в табл. 5 - с прочностью семисуточных образцов, твердевших при 20°. Наиболее показательными будут данные, приведенные в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что прочность пропаренных образцов на ГЦ-1, ГЦ-2 и ГЦ-4 на 40-65% ниже предела прочности на сжатие контрольных односуточных образцов. Иное наблюдается в случае цементов ГЦ-3 и ГЦ-5. Здесь прочность пропаренных и контрольных образцов практически одинаковы, т.е. пропарка указанных цементов не приводит к изменению их прочности.

Следовательно, пропарка по-разному влияет на изменение механической прочности глиноземистых цементов различного минералого-химического состава (табл. 4):

- а) прочность цементов, полученных спеканием при  $K_a > 2,96$  снижается, а при  $K_a < 2,96$  - практически не изменяется;

б) прочность цементов, полученных плавлением, при  $K_a > 4,96$  снижается, а при  $K_a < 4,96$  - практически не изменяется.

Механическая прочность глиноземистых цементов, твердеющих при 20°, заметно нарастает в течение недели и прочность семидневных образцов будет гораздо выше прочности суточных, для случая растворов пластичной консистенции (табл. 4 и 5). Поэтому, если сравнить прочность пропаренных образцов и семидневных (табл. 5) окажется, что пропарка способствует понижению прочности глиноземистого цемента любого минералогического состава. Эти сравнительные данные не отразят объективной картины изменений прочности в процессе пропарки, так как перед пропаркой образцы твердели в течение суток во влажном пространстве при 20°.

Таблица 2

Влияние гидротермальной обработки на изменение механической прочности растворов 1:3 на глиноземистых цементах

Цементы	Твердение при 20° в течение 1 суток		Пропарка		Запарка при 1 атм		Запарка при 2 атм	
	Предел прочности при сжатии							
	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%
ГЦ-1	136	100	47	35	60	44	81	60
ГЦ-2	154	100	60	39	60	39	91	59
ГЦ-3	39	100	40	102	56	114	74	190
ГЦ-4	200	100	120	60	114	57	131	66
ГЦ-5	120	100	126	105			146	113

Таблица 3

Цементы	Твердение образцов при 20° в течение 7 суток		Пропарка		Запарка при 1 атм		Запарка при 2 атм	
	Предел прочности при сжатии							
	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%	кг см <sup>2</sup>	%
ГЦ-1	219	100	47	19	60	24	81	33
ГЦ-2	300	100	60	20	60	20	91	30
ГЦ-3	218	100	10	17	56	24	74	31
ГЦ-4	412	100	120	29	114	28	131	32
ГЦ-5	350	100	126	36			136	39

Запарка растворов на ГЦ-1, ГЦ-2 и ГЦ-4 при 1 атм способствует снижению прочности соответственно на 56, 61 и 43%, а при 2 атм прочность снижается на 40, 41 и 34%.

Следовательно, с повышением давления пара прочность указанных цементов снижается в меньшей степени (табл. 4). Прочность образцов на ГЦ-3 и ГЦ-5 в процессе запарки не снижается, а возрастает и тем сильнее, чем выше давление пара (табл. 4).

Следовательно, действие запарки на изменение механической прочности глиноземистых цементов зависит от их химического состава (табл. 4):

а) прочность цементов, полученных спеканием, при  $K_a > 2,96$  снижается, а при  $K_a < 2,96$  - нарастает;

б) прочность цементов, полученных плавлением, при  $K_a < 4,96$  снижается, а при  $K_a > 4,96$  - немного возрастает.

Зависимость воздействия гидротермальной обработки на изменение механической прочности глиноземистого цемента от его химико-минералогического состава может быть объяснена различием фазового состава цементного камня, полученного в процессе затвердевания разных по составу глиноземистых цементов.

Влияние пропарки и поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементов

Результаты испытаний приведены в табл. 6, из которой видно, что поверхностно-активные вещества в значительной мере сдерживают падение прочности растворов на ГЦ-1 в процессе пропарки.

Так, прочность образцов с 0,10% ССБ на 83% выше прочности образцов без добавок, со фталевой кислотой (0,07%) выше на 100%, со стеарагом нагретым на 17%.

В случае растворов на ГЦ-2 поверхностно-активные вещества тоже сдерживают падение прочности образцов в процессе пропарки, но в меньшей степени, чем на ГЦ-1.

Совершенно иная картина наблюдается при пропаривании растворов на ГЦ-3. Здесь поверхностно-активные вещества приводят к понижению прочности образцов.

На основании сказанного можно отметить, что характер действия поверхностно-активных веществ на изменение прочности глиноземистого цемента, полученного спеканием, в процессе пропаривания зависит от химического состава цемента: при  $K_a > 2,96$  поверхностно-активные добавки в значительной степени предотвращают падение прочности растворов, а при  $K_a < 2,96$  добавки способствуют снижению механической прочности.

Поверхностно-активные вещества сдерживают падение прочности глиноземистых цементов ГЦ-4 и ГЦ-5, полученных методом плавления, но в меньшей степени по сравнению с образцами, полученными спеканием.

Влияние гид  
веществ на

Наименование  
добавки

Пред

Без добавок  
Сульфитно-  
спиртовая  
барда

Фталевая  
кислота

Стеарат натрия

1 За 100% пр  
запаренного (пр

ленно с ГЦ-  
на характере  
фазы в плавл

Влияние  
вещес  
прочн

Результаты  
рой видно, ч  
сдерживают  
цессе зар  
на 49

По  
прочн, и зап  
в меньшей сте

Падение пр  
добавок в про  
ково.



Таблица 6  
Влияние гидротермальной обработки и поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементов

Наименование добавки	Количество добавки, %	ГЦ-1		ГЦ-2		ГЦ-3		ГЦ-4		ГЦ-5	
		запарка, ами		запарка, ами		запарка, ами		запарка, ами		запарка, ами	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Предел прочности при сжатии раствора 1:3 (%)											
Без добавок	—	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Сульфитно-спиртовая барда	0,10	183	130	180	158	139	82	104	130	133	101
"	0,15	140	113	149	155	124	58	94	95	117	112
"	0,25	—	—	—	—	—	—	—	100	105	122
Фталевая кислота	0,07	240	140	115	143	133	131	75	113	90	117
"	0,09	128	200	149	126	120	94	90	107	116	103
Стеарат натрия	0,05	117	221	201	110	107	78	82	100	90	135
"	0,10	—	—	—	—	—	—	—	115	83	—
											119
											100

1 За 100% приняты пределы прочности на сжатие пропаренного и запаренного (при 1 и 2 ами) раствора 1:3, что соответствует:

для ГЦ-1 47, 60 и 81 кг/см<sup>2</sup>  
 " ГЦ-2 60, 60 и 91 " "  
 " ГЦ-3 40, 56 и 71 " "  
 " ГЦ-4 120, 114 и 74 " "  
 " ГЦ-5 126, 136 (2 ами) "

нению с ГЦ-1 и ГЦ-2. По-видимому, и здесь сказывается на характере процессов твердения наличие стекловидной фазы в плавящихся цементах.

#### Влияние запарки и поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементов

Результаты испытаний приведены в табл. 4, из которой видно, что поверхностно-активные вещества заметно сдерживают падение прочности растворов на ГЦ-1 в процессе запарки: 0,10% ССБ — на 30—80%, фталевая кислота на 49—100%, стеарат натрия — на 21—101%.

Поверхностно-активные вещества сдерживают падение прочности запариваемых образцов и на ГЦ-2, но несколько в меньшей степени, чем на ГЦ-1.

Падение прочности образцов на ГЦ-3 с добавками и без добавок в процессе запарки происходит практически одинаково.

240

Следовательно, эффективность действия поверхностно-активных добавок на изменение прочности запариваемых растворов на глиноземистых цементах, полученных методом спекания, зависит от минералогического состава цемента: при  $K_a \geq 2,96$  добавки заметно сдерживают падение прочности; наоборот, при  $K_a < 2,96$  поверхностно-активные вещества практически не сдерживают падение прочности.

Падение механической прочности запариваемых растворов на глиноземистых цементах, полученных методом плавления, в значительной мере сдерживается добавками поверхностно-активных веществ. При этом эффективность действия добавок убывает с понижением величины  $K_a$ .

Если сравнить действие поверхностно-активных веществ в процессе запарки на изменение механической прочности образцов из цементного теста и раствора, то окажется, что они более эффективно сдерживают падение прочности теста, чем раствора.

#### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Предложено ввести коэффициент активности ( $K_a$ ), отражающий связь физико-механических свойств глиноземистого цемента и его состава.

2. С увеличением  $K_a$  сроки схватывания цемента сокращаются, а его механическая прочность растет.

3. Гидротермальная обработка глиноземистого цемента резко снижает механическую прочность.

4. Действие поверхностно-активных веществ на механическую прочность глиноземистых цементов, твердеющих при температурах 16—22°, зависит от сроков твердения, структуры и химического состава цемента:

а) все поверхностно-активные вещества задерживают рост прочности в первые сутки твердения. В дальнейшем сроки механической прочности цемента с добавками быстро нарастают;

б) прочность плавящихся глиноземистых цементов любого химического состава при введении поверхностно-активных веществ понижается;

в) прочность глиноземистых цементов, полученных спеканием, изменяется в зависимости от химического состава по-разному: при  $K_a \geq 2,96$  прочность с введением поверхностно-активных веществ повышается или же остается без изменения, но при  $K_a < 2,96$  прочность заметно снижается.

5. Изменение механической прочности глиноземистых цементов в процессе пропарки происходит в зависимости от химического состава цемента:

а) прочность плавящихся цементов при  $K_a > 4,96$  снижается, а при  $K_a \leq 4,96$  практически не изменяется; 16 зак. 196

241

б) прочность цементов, полученных спеканием, при  $K_a \geq 2,96$  снижается, а при  $K_a < 2,96$  практически не изменяется.

6. Действие запарки на изменение механической прочности глиноземистых цементов зависит от их химического состава:

а) прочность плавящихся цементов при  $K_a > 4,95$  снижается, при  $K_a < 4,96$  немного возрастает;

б) прочность цементов, полученных спеканием, при  $K_a \geq 2,96$  снижается, а при  $K_a < 2,96$  нарастает.

7. Действие поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементов, твердеющих в процессе пропарки, зависит от химического состава и структуры цемента:

а) у цементов, полученных спеканием, поверхностно-активные вещества при  $K_a \geq 2,96$  в значительной степени предотвращают падение прочности, а при  $K_a < 2,96$  способствуют снижению прочности;

б) поверхностно-активные вещества сдерживают падение прочности плавящихся глиноземистых цементов.

8. В процессе запарки действие поверхностно-активных веществ на изменение механической прочности глиноземистых цементов зависит от химического состава и структуры цемента:

а) у цементов, полученных спеканием, поверхностно-активные вещества при  $K_a \geq 2,96$  заметно сдерживают падение прочности, а при  $K_a < 2,96$  практически не сдерживают падение прочности;

б) у плавящихся глиноземистых цементов падение прочности сдерживается поверхностно-активными добавками и тем в большей степени, чем выше  $K_a$ .

9. Введение поверхностно-активных добавок оказывает сдерживающее влияние на снижение механической прочности глиноземистых цементов, но все же она ниже, чем у глиноземистых цементов не подвергавшихся термической обработке.

#### Л и т е р а т у р а

- Юни В. Н., Бутт Ю. М., Журавлев В. Ф., Окороков С. Д. Технологии вяжущих веществ. Промстройиздат, М., 1952 г.
- Assarson C. Reactions of aluminous cement with water. Symposium on the chemistry of Cements. Stockholm, 1938 г.
- Дрейфус Химия цемента 1950 г.
- Лопатникова Л. Я. Гидратация алюминатов и алюмоферригов кальция. Тр. Советания по химии цементов. Промстройиздат, М., 1956 г.
- Чебуков М. Ф. Глиноземистый цемент. М., ГОНТИ, 1938 г.
- Тихонов В. А., Ингульская И. С., Зданевич Е. В. К вопросу твердения моноалюмината кальция Доклады ЛПИ, т. 1, вып. 1 Львов, 1955 г.

242

7. Будников П. П., Вальберг Г. С., Гольденберг И. Г. Ангидридоглиноземистый цемент Тр. ВНИИ, в. 4, с. 82—98, 1951 г.

8. Тихонов В. А. Изменение механической прочности растворов и бетонов, изготовленных на различных цементгах. Научные записки ЛПИ, Львов, вып. XXIX, № 3, 1955, г.

9. Тихонов В. А. Строит. пром., № 12, 1953 г.

10. Тихонов В. А., Кинцель Л. А., Суворова О. Ф., Шипилова Л. Г. Изменение состава жидкой фазы и системы цемент—вода. Доклады ЛПИ, т. 1, п. 2, Львов, 1955 г.

11. Вальберг Г. С. Получение цементного канкера на алломерационной решетке. Промстройиздат, М., 1957 г.

12. Вольфсон С. Л. Влияние гидротермальной обработки на твердение различных вяжущих веществ. Сб. научных работ по вяжущим материалам. Промстройиздат, М., 1949 г.

В. В. МАИЖУРНЕТ

кандидат технических наук, доцент  
(Киевский политехнический институт)

#### Автоклавный строительный гипс

Изучая процессы дегидратации двуводного гипса с применением термографического, кристаллооптического и рентгеновского методов, Д. С. Белякин установил возможность получения следующих гипсовых модификаций:  $\alpha$ -полугидрата,  $\beta$ -полугидрата,  $\alpha$ -обезвоженного полугидрата,  $\beta$ -обезвоженного полугидрата,  $\alpha$ -ангидрита,  $\beta$ -ангидрита (возможно, идентичного с предыдущим),  $\gamma$ -нерастворимого ангидрита.

Из приведенных модификаций активными, энергично реагирующими с водой, являются полугидраты и ангидриты, за исключением нерастворимого.

Автоклавная обработка двуводного гипса приводит к почти полному переходу его в  $\alpha$ -полугидрат, а при обжиге гипса с выделением гидратной воды в виде пара образуется ограниченное количество  $\alpha$ -полуводного гипса и большое— $\beta$ -полугидрата.

Для получения тестообразной массы из автоклавного гипса требуется 35—55% воды, благодаря чему изделия из него отличаются повышенной механической прочностью.

Предел прочности на сжатие образцов из автоклавного гипса колеблется в границах от 150 до 400 кг/см<sup>2</sup>.

Поэтому автоклавный гипс часто называют строительным высокопрочным.

Для получения автоклавного гипса было предложено несколько способов.

Производство автоклавного гипса при давлении от 1,2 до 1,6 атм дает возможность провести в сутки не более двух запарок. Поэтому стоимость автоклавного гипса в этом случае выше стоимости строительного. С целью лучшего

16\*

243

использования автоклавов и увеличения количества циклов запарки в одном агрегате автор предложил повысить давление при запарке до 3 *атм*.

Для определения качества гипса, получаемого при этих условиях, и выяснения потребного времени для запаривания были проведены соответствующие опыты.

В качестве объекта для испытания был взят гипс Артемовского месторождения следующего химического состава.

Таблица 1

Наименование образцов гипса	С о с т а в, %							Сумма
	Гидр. воды	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
№ 1	20,40	0,36	0,01	0,03	32,68	0,01	46,47	99,96
№ 2	20,54	0,21	—	0,02	32,72	0,02	46,53	100,07
№ 3	20,46	0,22	—	0,01	32,74	0,01	46,57	100,01

Как видно из химического анализа, гипсовый камень Артемовского месторождения представляет собой почти чистый двухводный гипс со средним содержанием CaSO<sub>4</sub>—79,30%.

После запаривания пар выпускался через предохранительный клапан, автоклав открывался и гипс быстро перегружался в сушильный шкаф, нагретый до 140—150°.

Как видно из табл. 2, в обработанном паром гипсе после сушки поверхностный слой всегда имел меньше гидратной воды, чем внутренние слои.

Таблица 2

Результаты испытаний гипса, обработанного паром при давлении 1,5 *атм*

Наименование запарок	Продолжительность запарки	%, содержания гидратной воды		Нормальная плотность, %	Тонкость помола: остаток на сите 900 <i>отв/см<sup>2</sup></i> , %	Предел прочности на растяжение, <i>кг/см<sup>2</sup></i>		
		внутри куска	снаружи куска			через		
						1 сут.	7 сут.	14 сут.
№ 10	1 часа	7,18	5,27	50	13,5	15,8	26,5	28,0
№ 11	5 "	6,50	5,50	43	12,0	20,0	36,0	36,0
№ 12	6 "	6,00	5,50	43	12,0	—	—	—
№ 13	7 "	6,00	5,50	43	10,0	19,0	35,0	35,8

Анализ внутренних слоев, за исключением запарки № 10, показал, что, на обработанный паром при давлении 1,5 *атм*, гипс, судя по количеству гидратной воды, является почти чистым полугидратом. В запарке № 10 содержание

244

гидратной воды в центре куска достигает 7,18%, что указывает на наличие двухводного гипса, оставшегося вследствие недостаточной четырехчасовой выдержки.

После запаривания гипс подвергался дроблению, затем размалывался и просеивался. Размол производился до прохождения продукта без остатка через сито 64 *отв/см<sup>2</sup>* и с остатком не более 25% на сите 900 *отв/см<sup>2</sup>* (табл. 2).

Обработка гипсового камня при давлении паром 2 *атм* производилась в течение 2, 3 и 4 часов.

Как видно из табл. 3 сроки схватывания, удовлетворяющие требованиям стандарта на штукатурный гипс, имеют только пробы № 7 и 14.

Из таблиц механических испытаний видно, что при нормальной плотности теста от 50 до 53% воды все пробы обладают значительной механической прочностью, причем проба № 7, имеющая наиболее продолжительные сроки схватывания, обладает и наибольшей механической прочностью.

Таблица 3

Результаты испытаний гипса, обработанного паром при давлении 2 *атм*

Номера пробы	Продолжительность запаривания, часы	Содержание гидратной воды, %		Норм. плотность, %	Тонкость помола: остаток на сите 900 <i>отв/см<sup>2</sup></i> , %	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности на растяжение, <i>кг/см<sup>2</sup></i>		
		на поверхности	внутри			начало	конец	через		
								1 сут.	7 сут.	14 сут.
8	2	6,2	7,2	50	21	2,20	3,20	15,2	24,2	25,2
7	3	6,5	6,0	50	18	5,10	6,20	18,5	33,8	33,9
9	4	5,1	4,7	50	14	2,00	3,00	15,9	33,2	33,5
11	2	3,6	5,2	50	18	6,00	11,00	17,5	25,5	32,0
15	3	5,5	6,4	50	17	—	—	16,2	25,0	32,1

Обработка гипсового камня под давлением паром 3 *атм* была произведена 6 раз со сроками выдержки 0,5, 1,0, 2,0 и 3,0 часа.

Как видно из табл. 4, все пять проб имеют нормальные сроки схватывания, содержание в пробах № 4, 5 и 3 гидратной воды соответствует полугидрату.

Обработка гипсового камня при давлении 4,5—5,0 *атм* производилась в течение 15 мин., 45 мин. и 1 часа (см. табл. 5).

Одним из наиболее ответственных моментов при получении автоклавного гипса является сушка после запаривания.

Выделяющаяся в процессе дегидратации химически связанная вода остается в порах гипсового камня; 50% этой

245

воды испаряется благодаря аккумулятивному гипсом теплу. Для удаления остальной влаги требуется дополнительный источник тепла. Сушка гипсового камня должна быть произведена в кратчайший срок, так как иначе гипс может остынуть и полученный полугидрат, вступив во взаимодействие с водой, даст двуводный гипс, а при высокой температуре сушки может образоваться ангидрит.

Таблица 4  
Результаты испытаний гипса, обработанного паром при давлении 3 атм

Номера пропарок	Продолжительность, час.	Содержание гидратной воды, %		Норм. влажность, %	Тонкость помола остаток на сите 900 отв/см <sup>2</sup> , %	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности на растяжение, кг/см <sup>2</sup>		
		на поверхности куска	внутри куска			начало	конец	через		
								1 сут.	8 сут.	11 сут.
6	0,5	5,5	5,0	52	22	6,3	9,2	18,6	29,5	36,5
6 1	0,5	—	—	50	22	—	—	21,7	33,0	37,5
5	1,0	6,5	6,0	50	22	5,0	7,0	15,2	26,5	38,2
4	2,0	6,0	6,5	52	21	11,4	15,1	14,2	26,2	29,3
4/1	2,0	—	—	50	21	—	—	14,2	32,1	34,9
3	3,0	6,5	6,0	50	22	5,1	8,2	15,5	26,0	30,5
17	1,0	7,0	6,1	50	—	5,3	8,1	13,5	23,5	31,5

Гипсовый камень, который при высушивании (100°) сохранил гидратной воды на поверхности 6,9%, а внутри куска—6,5% сразу после удаления из автоклава и охлаждения содержал в наружных слоях 10,5%, а внутри куска—10,0% гидратной воды. Следовательно, при помощи тепла, содержащегося в камне, удалить гидратную воду не представляется возможным, поэтому возникает необходимость в дополнительном источнике тепла.

В наших опытах таким источником являлся горячий воздух, циркулировавший через сушильный шкаф.

Практически для сушки запаренного гипса температуру теплоносителя доводят до 250°, что оправдывает себя только при большом количестве гипса и притом в крупных кусках.

Как видно из таблиц механических испытаний, повышенную прочность на растяжение дали образцы, запаренные при давлении 1,5 атм в течение 7 часов—43,6 кг/см<sup>2</sup> (воды затвердения 43%), а запаренные при 3 атм в течение 1 часа (воды затвердения 55%) показали предел прочности на разрыв 38,2 кг/см<sup>2</sup>. За счет уменьшения количества воды затвердения до 43% механическая прочность продукта запарки при 3 атм была повышена до 41,5 кг/см<sup>2</sup>.

Таблица 5  
Результаты физико-механических испытаний гипса после обработки паром при давлении 4,5—5,0 атм

Номера пропарок	Продолжительность запаривания, мин.	Содержание гидратной воды, %		Норм. влажность, %	Тонкость помола: остаток на сите 900 отв/см <sup>2</sup> , %	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности на растяжение, кг/см <sup>2</sup>		
		на поверхности	внутри			начало	конец	через		
								1 день	7 дней	14 дней
1	45	6,5	6,0	50	25	6,0	9,2	16,7	31,7	31,9
2	60	5,5	6,5	55	20	4,0	6,0	13,5	21,6	26,0
19	15	5,6	6,3	60	—	2,3	4,0	12,5	—	—

Таблица 6  
Результаты сушки гипса запарки № 18 под давлением 3 атм в течение 1 часа

Температура сушки	Содержание гидратной воды, %		Примечание
	на поверхности	в центре куска	
Невысушенные куски	10,5	10,0	
Сушка при 80°	7,2	7,1	
• • 100°	6,9	6,5	
• • 120°	6,6	6,1	
• • 150°	5,3	6,2	

Таким образом, дегидратация гипса паром под давлением от 1,5 до 3 атм, как показали исследования, обеспечивает получение гипса повышенной механической прочности.

Автоклавный гипс, полученный при повышенном давлении, например, до 3 атм, обходится дешевле, чем гипс, полученный при давлении пара 1,4—1,6 атм за счет сокращения времени запаривания и увеличения производительности аппарата.

Наиболее приемлемым давлением нужно считать 3 атм, а продолжительность запаривания кускового гипса размерами от 10 до 50 мм—от 1 до 2 часов, в то время как при давлении пара 1,4—1,6 атм требуется для запаривания от 5 до 7 часов.

Почти всеми схемами производства предусматривается сушка обработанного паром гипса в запарочном автоклаве.

Если учесть, что на сушку гипса требуется при этих условиях от 5 до 6 часов, то, выделив процесс сушки в отдельный агрегат, можно в несколько раз увеличить про-

производительность автоклава. Поэтому предлагается процесс запаривания и сушки вести раздельно.

В результате нашего предложения режим работы автоклава при давлении 3 *ати* включает следующие операции — нагрев гипсового камня и подъем давления — 1,5 час — запаривание гипсового камня под давлением 3 *ати* — 2,0 час — загрузка и выгрузка аппарата 0,5 час.

Всего 4,0 час.

Следовательно, в сутки можно произвести в одном аппарате 6 запарок вместо двух, принятых на наших заводах. По окончании запарок гипсовая щебенка выпускается на пластинчатый транспортер и подается в камерную сушилку для удаления воды, где гипс остывает в течение 2 часов.

Из приведенных данных становится очевидным, что для получения высококачественного автоклавного гипса пониженной стоимости необходим правильный выбор технологического процесса производства и оборудования.

Исходя из данных проведенной экспериментальной работы, можно считать, что для запаривания гипсового камня экономически выгоднее пользоваться давлением пара в автоклаве 3 *ати*.

Для удаления воды из запаренного гипса необходим дополнительный источник тепла.

Сушку запаренного гипса в производственных условиях следует производить при температурах от 200° (начальная температура сушки) до 150° (конечная температура сушки).

При пропарке гипсового камня необходимо подвергать его сортировке, отделяя мелочь меньше 10 мм и щебенку размером больше 50 мм.

И. М. КРАСНЫЙ  
кандидат технических наук

(Научно-исследовательский институт  
бетона и железобетона АС и А СССР)

#### Кассетные формы для автоклавных изделий

Кассетным способом, как правило, изготавливаются плоские изделия. В ряде случаев кассетным способом, кроме плоских изделий, изготавливаются изделия прямоугольного или таврового сечения. Ведется разработка кассетного изготовления пустотелых изделий.

Рассматривая производство сплошных автоклавных изделий, можно наметить следующие схемы кассетного изготовления:

248

а) стендовая — (на рабочем полу) с частичным отверждением и распалубкой изделий до их автоклавной обработки;

б) конвейерная — (на перемещаемой вагонетке) с частичным отверждением и распалубкой изделий до их автоклавной обработки;

в) конвейерная — (на перемещаемой вагонетке) без предварительной распалубки с запариванием изделий в формах.

Первые две схемы применимы только для изделий на цементной основе, третья схема пригодна и для бесцементных изделий. Преимуществом этих схем является возможность съема форм перед автоклавом, что увеличивает оборачиваемость, уменьшает износ и упрощает очистку форм.

Сопоставление трудоемкости производства изделий в кассетных и штучных формах показало, что при расчете на 6 плоских элементов, чистое рабочее время на всех операциях составляет при штучных формах 304, а при кассетных формах 213 человеко-минут, или на 30% меньше. Это снижение трудозатрат достигнуто за счет уменьшения трудоемкости операций по сборке, разборке и заполнению форм бетоном, а также их перемещению. Полная величина снижения трудоемкости формования изделий в кассетах достигает 50%.

Время работы крана уменьшилось с 54 до 34 машинно-минут или на 37%. Количество технологических операций, от которых зависят непроизводительные затраты времени, снизилось с 77 для штучных форм до 46 для кассетных форм.

Сопоставление производительности потока в штучных и кассетных формах показало, что благодаря отсутствию крановых операций на формовке и одновременному заполнению нескольких форм, поток с кассетными формами увеличивает производительность в 3—3,5 раза.

Для рассмотрения схем кассетного изготовления пустотелых изделий, последние нами были разбиты на 2 группы: первая группа — изделия с продольными (горизонтальными) пустотами, к которым относятся, главным образом, панели, перекрытия и др., и вторая группа — изделия с поперечными (вертикальными) пустотами, к которым относятся прежде всего стеновые блоки.

В отличие от схем кассетного изготовления сплошных изделий в них добавлены операции пустотообразования.

Размеры изделий, изготавливаемых кассетным способом в автоклавах, зависят от размеров автоклавов и должны подбираться так, чтобы заполнение их было наибольшим.

В целях использования преимуществ рассмотренных ранее схем кассетного производства с минимальной затратой труда и крановых операций, изделия должны иметь размер, по

249

высоте соответствующий данному автоклаву, с тем, чтобы не было двухъярусной укладки их на вагонетку.

Степень заполнения автоклава при кассетном изготовлении панельных изделий определяется в основном их шириной и частично толщиной; длина мало влияет на этот показатель.

Результаты анализа возможных размещений панельных изделий в кассетных и штучных формах в автоклавах с диаметром 2 м и 2,6 м, приведены в табл. 1. В табл. 2 указаны данные по съему блочных изделий, изготавливаемых кассетным способом в автоклавах тех же размеров.

Таблица 1

Диаметр автоклава, м	Размер панелей, мм		Коэффициент заполнения автоклава		Годовой съём изделий с автоклава			
	по толщине	по ширине	при кассетных формах (оптимальный размер изделий)	при штучных формах (оптимальный размер изделий)	м <sup>2</sup>		м <sup>2</sup>	
					при кассетных формах	при штучных формах	при кассетных формах	при штучных формах
2	160	1200	0,42	—	11300	—	70000	—
		1600	—	0,31	—	8400	—	52000
2,6	220	1200	0,43	—	11600	—	53000	—
		1600	—	0,31	—	8400	—	38000
2,6	220	1800	0,35	0,35	15900	15900	72000	72000
		1600	0,39	—	17500	—	80000	—

Таблица 2

Диаметр автоклава, м	Размер блоков, мм		Количество блоков в сечении автоклава	Коэффициент заполнения автоклава	Съём изделий за 1 цикл запаривания в м <sup>2</sup> с 1 пог. метра автоклава
	по толщине	по высоте			
2	50	700	3	0,30	1,9
	35	700	4	0,28	2,5
	35	1350	3	0,40	3,6
	25	1350	4	0,39	4,9
2,6	35	1350	5	0,40	6,1
	25	1350	7	0,40	8,5

250

В соответствии с результатами настоящей работы была разработана и изготовлена первая опытная кассетная форма для сплошных панелей перегородок и внутренних стен. Форма рассчитана на автоклав диаметром 2 м и одновременное изготовление 14 штук панелей перегородок размером 2820 × 800 — 1200 × 80 мм или 7 штук панелей внутренних стен размером 2820 × 800 — 1200 × 160 мм.

По своей конструкции форма является бездонной неразборной, что позволяет извлекать изделия поштучно или снимать форму целиком (рис. 1), не прибегая к разборке формы на части.

Вес формы при изготовлении 14 штук панелей перегородок — 8 т, а при изготовлении 7 штук панелей внутренних стен (для чего часть перегородок формы снимается) — 5 т. Емкость формы — 3,7 м<sup>3</sup>. Коэффициент заполнения автоклава — 0,35.

Крайние стенки формы, благодаря каркасной конструкции и обшивке листом с обеих сторон, имеют достаточную жесткость для восприятия всего распора бетона в форме, внутренние же перегородки являются „плавающими“, что позволяет снизить к ним требования при расчете на жесткость; они решены в виде листа толщиной 15 мм.

Тем не менее при испытании формы оказалось, что вследствие неодновременного заполнения ее отсеков бетоном, а также расклинивающего действия глубинного вибратора (при укладке бетона с вибрацией) внутренние перегородки имеют недостаточную жесткость и требуют установки дополнительных фиксаторов (гребешков) в середине пролета перегородок формы.

На рис. 2 приводится другое возможное решение кассетной формы.

Эта форма рассчитана на одновременное изготовление 3 штук панелей длиной 3,2 м и толщиной 0,25 м. Коэффициент заполнения автоклава составляет 0,25. Принятая высота вагонетки в 500 мм является вынужденной, ввиду



Рис. 1. Поштучный съём изделий из кассетной формы конструкции „НИИЖБ“.

251

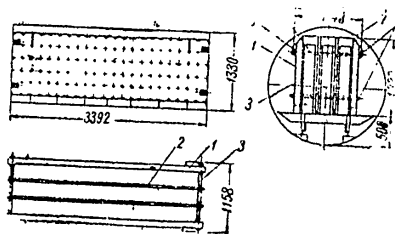


Рис. 2. Кассетная форма конструкции «ПННЖБ» для изготовления панелей наружных стен из ячеистого бетона  
 1 — наружная стенка, 2 — внутренняя стенка, 3 — торцевая стенка, 4 — стальные болты, 5 — гайки, 6 — косая шайба, 7 — щиток.

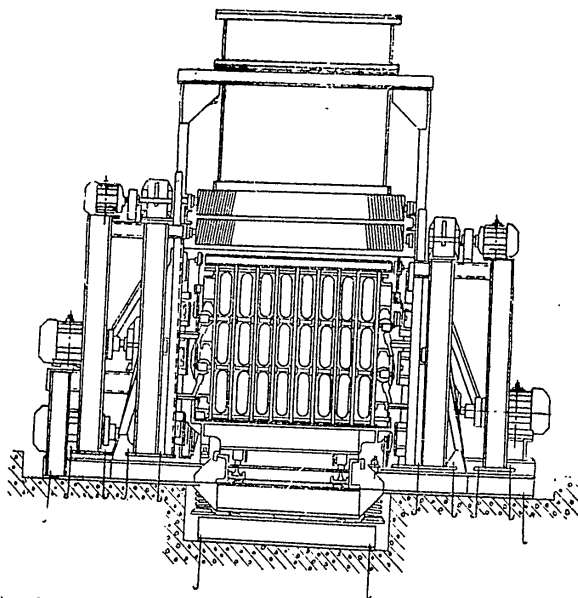


Рис. 3. Установка для кассетного изготовления пустотелых панелей перекрытий.

аличия таких вагонеток на ряде заводов. В дальнейшем высота вагонеток может быть снижена до 400 мм, что позволит повысить заполнение автоклава на 25%.

Наряду с формами для сплошных изделий разработана кассетная установка для одновременного изготовления 8 штук панелей перекрытий с овальными пустотами (рис. 3) из цементно-песчаных и силикатных бетонов в автоклавах диаметром 2 м.

Установка снабжена вибропустотообразователями, которые вводятся поочередно по 8 штук горизонтальными рядами. Извлечение пустотообразователей производится немедленно после формовки. Занаривание изделий осуществляется в формах. При использовании песчаного бетона на элементе распалубка изделий производится до автоклавной обработки после набора изделиями некоторой «транспортной» прочности.

Производительность установки — 16 панелей в час или 300 тыс. м<sup>2</sup> в год при 2-сменной работе. Общий вес установки, включая бетоноукладчик и вагонетку для формы — 8,1 т. Вес кассетной формы — 8,1 т. Наряду с изделиями, рассчитанными на автоклавы диаметром 2 и 2,6 м целесообразно вести дальнейшие исследовательские и проектные работы по организации производства в кассетах изделий размером «на комнату» в автоклавах диаметром 3,6—4,0 м.

О. П. МЧЕДЛОВ-ПЕТРОСЯН  
 член-корреспондент АС и А УССР,  
 доктор технических наук, профессор

В. И. БАБУШКИН  
 аспирант

(Харьковский институт инженерно-железнодорожного транспорта)

#### Термодинамическое исследование реакций в системе $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ в гидротермальных условиях

Правильное научное объяснение процессов, происходящих при твердении вяжущих веществ в гидротермальных условиях, может дать ключ к управлению этими процессами и позволит наметить пути оптимальной технологии.

В связи с этим для изучения химических процессов, происходящих в системах  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\beta\text{C}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{S} - \text{H}_2\text{O}$ , наряду с кинетическими, химическими, рентгеноструктурными и другими методами исследования, важно рассмотреть термодинамическую возможность образования тех или иных соединений в этих системах.

Выполнение таких термодинамических расчетов до последнего времени тормозилось из-за отсутствия исходных термодинамических данных для гидросиликатов кальция. Непосредственное определение теплот образования и других термических констант гидросиликатов известными термохимическими методами связано с трудностями по их мономинеральному синтезу в связи с мелкокристаллическим строением получаемых гелей.

Решение этой задачи косвенным путем стало практически возможно после того, как академик Н. В. Белов и Х. С. Мамедов опубликовали свои оригинальные работы по расшифровке структур некоторых гидросиликатов кальция [1-7].

Данная работа посвящена термодинамическому исследованию реакций в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  в гидротермальных условиях<sup>1</sup>.

Неизвестные теплоты образования гидросиликатов кальция были рассчитаны по энергиям связей  $\text{Si}-\text{O}$ ,  $\text{Ca}-\text{O}$ ,  $\text{O}-\text{H}$ . Для этой цели использовались структуры гидросиликатов, расшифрованные Н. В. Беловым и Х. С. Мамедовым, и методика расчета средних энергий связи, приведенная Т. Коттреллом [8].

В результате были оценены теплоты образования девяти гидросиликатов кальция, являющихся в большинстве своем представителями гидратированных волластонитов (см. табл. 1).

Энтропии и свободные энергии при 298°K рассчитывались по обычным методикам [9-13] с учетом влияния ковалентной связи между Si и O в кремнекислородных тетраэдрах. Уравнения теплоемкости в зависимости от температуры были рассчитаны по методу Н. А. Ландия [14].

Таблица 1

№ п/п	Название гидросиликата кальция	Кристаллохимическая формула	Стехиометрическая формула	Значения $\Delta H_{298}^{\circ}$ ккал/моль
1	Гипсбродит	$\text{Ca}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2 \cdot 12\text{Ca}(\text{OH})_2$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,17\text{H}_2\text{O}$	-624,80
2	Афвиллит	$\text{Ca}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2$	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-1118,45
3	Фосагит	$\text{Ca}_3[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{OH})_2$	$4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	-1402,85
4	Кеонотлит	$\text{Ca}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2$	$6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-2354,11
5	Тоберморит 9А (риверсайдит)	$2 \left\{ \text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_n(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \right\}$	$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	-2300,00
6	Тоберморит 11А (собственно тоберморит)			
7	Тоберморит 14А (дломбергит)	$\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_n(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$	-2482,15
8	Гипсидит	$\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_n(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 10,5\text{H}_2\text{O}$	-2837,15
9	Окенит	$3[\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6]_n \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-1138,82 -728,64

<sup>1</sup> Расчеты по другим системам, в частности  $\beta\text{-C}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{C}_3\text{S} - \text{H}_2\text{O}$ , в настоящее время еще не окончены.

Остальные необходимые данные по термическим константам, структурам и температурам диссоциации гидросиликатов кальция,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{SiO}_2$ <sup>1</sup> и  $\text{H}_2\text{O}$  взяты из литературных источников.

На основании полученных данных были рассмотрены реакции образования указанных в табл. 1 девяти гидросиликатов в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  при следующих соотношениях  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  - 2:1, 3:2, 4:3, 6:6(1:1), 5:6, 2:3, 1:2.

Реакции рассматривались в интервале температур от 25°С до 200°С. При этих температурах давление пара не превышает 16 атм. Согласно М. Г. Гоникбергу [15] заметное влияние давления на ход химических реакций начинает сказываться при давлениях порядка 1000 атм и более. Это обстоятельство позволило воспользоваться методикой расчета  $\Delta F = f(T)$  при допущении (с незначительной погрешностью), что  $P = \text{const}$ .

Для определения уменьшения изобарного термодинамического потенциала ( $\Delta F$ ) был использован метод, применявшийся нами ранее для исследования твердофазовых реакций в силикатных системах [16].

Известно, что термодинамический метод, наряду с возможностью детального рассмотрения механизма любого процесса формально позволяет анализировать процесс, исходя из начального и конечного состояния системы, не рассматривая механизма.

Отсутствие термодинамических данных для анионов поликремневых кислот в водных растворах и значений их активности в присутствии ионов  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{OH}^-$  в настоящее время затрудняет детальный анализ процессов, происходящих в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  в гидротермальных условиях по стадиям, поэтому нами был использован второй путь, исключающий рассмотрение механизма реакций твердения, но позволяющий для случаев, при которых кинетические условия протекания реакций соответствуют термодинамическим, по знаку и величине  $\Delta F$  оценить предпочтительность образования тех или иных гидросиликатов кальция.

Для определения  $\Delta F = f(T)$  использована формула:

$$\Delta F = \Delta H_0 - \Delta G_0 \cdot T \ln T - \frac{1}{2} \Delta G_1 \cdot T^2 - \frac{1}{2} \Delta G_2 \cdot T^{-1} + y \cdot T,$$

коэффициенты которой определяются из уравнения зависимости теплоемкости системы от температуры:  $\Delta C_p = \Delta G_0 + \Delta G_1 \cdot T + \Delta G_2 \cdot T^{-2}$ , а  $\Delta H_0$  из уравнения зависимости  $\Delta H_f$  от  $T$  и известного  $\Delta H_{298}^{\circ}$ :

<sup>1</sup>  $\text{SiO}_2$  здесь и далее  $\beta$ -кварц.



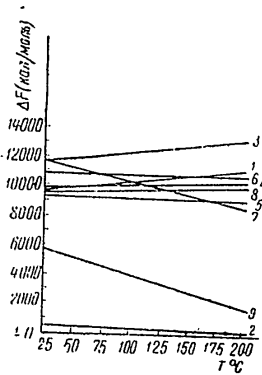


Рис. 1. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 2:1.

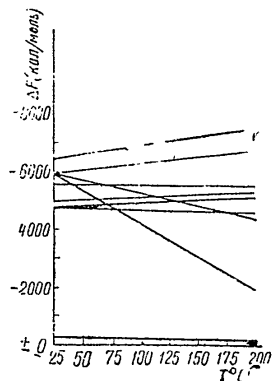


Рис. 2. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 2:1.

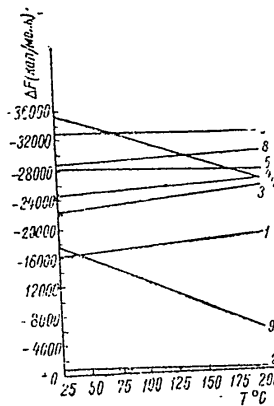


Рис. 5. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 5:6.

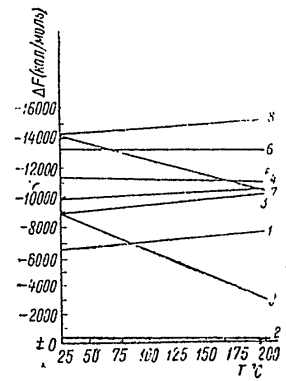


Рис. 6. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 2:3.

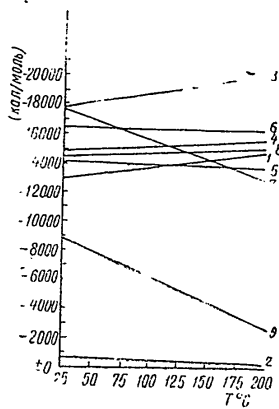


Рис. 3. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 4:3.

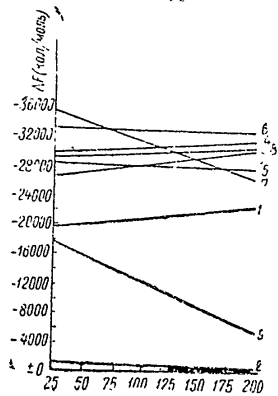


Рис. 4. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 6:6 (1:1).

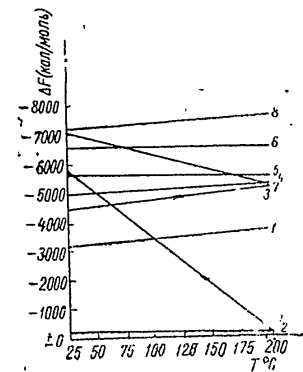


Рис. 7. График  $\Delta F = f(T)$  для состава 1:2.

$$\Delta H_0 = \Delta H_{298} - \Delta G_0 \cdot T - \frac{1}{2} \Delta G_1 \cdot T^2 + \Delta G_2 \cdot T^{-1}$$

На основе использованных данных выведены уравнения  $\Delta F = f(T)$  для реакций образования девяти указанных в табл. I гидросиликатов<sup>1</sup>. Результаты расчетов представлены на рисунках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1) для состава с соотношением CaO к SiO<sub>2</sub>, равным 2:1 во всем интервале температур (от 25 до 200°C) наиболее вероятно образование гидрата двухкальциевого силиката;

2) для составов 3:2 и 4:3 во всем интервале температур наиболее вероятно образование фошагита;

3) для составов 6:6 (1:1) и 5:6 во всем интервале температур наиболее предпочтительно образование тоберморитов 14Å и 11Å;

4) для составов 2:3 и 1:2 во всем интервале температур наиболее предпочтителен гиролит.

Полученные результаты находятся в полном согласии с имеющимися фактическими данными и хорошо объясняют известный факт наличия тоберморитов в известково-песчаных изделиях [17—19].

По данным G. C. Kenaedy [20], растворимость обычного кремнезема при температуре 180°C составляет 2,83 миллиграмма на литр. Растворимость Ca(OH)<sub>2</sub> при этой же температуре составляет порядка 2,6 миллиграмма на литр. Их соотношение, соответствующее составу  $\frac{2,50}{2,83}$ , находится между  $\frac{1}{1}$  (6:6) и  $\frac{5}{6}$ , что отвечает наиболее вероятному соединению — тобермориту 11Å.

В случае использования активных разновидностей кремнезема (опоки, диатомита, трепела и т. д.), согласно данным того же G. C. Kenaedy [20] при температуре 180°C SiO<sub>2</sub> в растворе будет находиться ~12 миллиграммов на литр, что соответствует соотношению  $\frac{2,6}{12} = \frac{1}{4,6}$ , т. е. очень близко к 1:5.

Хотя результаты расчетов для этого соотношения нами не приведены, тем не менее их легко оценить. Наиболее предпочтительным в этом случае является гиролит.

Окончательные практические выводы на основании полученных результатов можно было бы сделать в том случае, если бы были известны основные свойства отдельных гидросиликатов кальция: их водостойкость, способность к усадке, прочностные характеристики и т. д.

<sup>1</sup> Уравнения  $\Delta F = f(T)$  в данной работе не приведены из-за большого их числа.

В литературе [18, 19] имеются отдельные указания на основную роль тоберморитов в обеспечении прочности силикатных изделий. Хотя прямых доказательств этого не приводится, тем не менее важно выяснить температурные условия, благоприятствующие их синтезу. Полученные нами данные позволяют это сделать. В случае аморфного кремнезема, например, наиболее благоприятными температурами для синтеза тоберморитов, с термодинамической точки зрения, будут температуры в пределах 120—130°C, так как согласно данным по растворимости Ca(OH)<sub>2</sub> и аморфного SiO<sub>2</sub> при этих температурах, соотношение между CaO и SiO<sub>2</sub> будет находиться в пределах от 1:1 до 5:6, что соответствует первичному образованию тоберморитов (см. рис. 4, 5).

С другой стороны, снижение температуры гидротермальной обработки до 120—130°C приведет к заметному уменьшению константы скорости реакции и сокращению выхода конечного продукта в единицу времени. Поэтому к практическому решению этих вопросов следует подходить с большей осторожностью, учитывая и термодинамические и кинетические факторы.

Несмотря на ограниченность изложенного материала, что явилось следствием неоконченности всех предусмотренных нами расчетов, важность практических выводов, которые уже можно сделать, дает основание на продолжение работ в этом направлении.

#### Литература

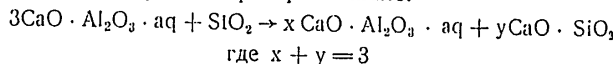
1. Мамедов Х. С., Белов Н. В. Кристаллическая структура волластонита. ДАН СССР, том 107, № 3, 463, 1956 г.
2. Мамедов Х. С., Белов Н. В. Записки Всесоюзного минералогического общества, часть 85, № 1, стр. 13, 1956 г.
3. Мамедов Х. С., Белов Н. В. ДАН СССР, 104, № 4, 1955 г.
4. Мамедов Х. С., Белов Н. В. ДАН СССР, 121, № 4, 1958 г.
5. Мамедов Х. С., Белов Н. В. ДАН СССР, 121, № 5, 1958 г.
6. Мамедов Х. С., Белов Н. В. ДАН СССР, 123, № 1, 1958 г.
7. Мамедов Х. С., Белов Н. В. ДАН СССР, 123, № 4, 1958 г.
8. Коттрелл Г. Прочность химических связей. И-Л, 1956 г.
9. Латимер В. М. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в растворах. И-Л, 1954 г.
10. Веннер Р. Термохимические расчеты. И-Л, 1950 г.
11. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. Госхимиздат, 1953 г.
12. Бесков С. Д. Техно-химические расчеты. Госхимиздат, 1950 г.
13. Гуггенгейм Э., Пру Д. Физико-химические расчеты. И-Л, 1958 г.
14. Ландия И. А. Высокотемпературные теплоемкости кристаллических соединений и пути их расчета для применения в термодинамическом исследовании химических реакций. Информационное письмо № 1 Грузинского политехнического института им. С. М. Кирова, 1957 г.
15. Гоникберг М. Г. Химическое равновесие и скорость реакций при высоких давлениях. Изд. АН СССР, 1953 г.

16. Бабушкин В. И., Мчедлов-Петросян О. П. Термодинамическое исследование реакций в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ . ЖПХ. № 1, 1959 г.
17. Третий международный конгресс по учению цемента. Промстройиздат, 1958 г.
18. Беркович Т. М., Хейкер Д. М., Грачева О. Н., Зевин Л. С., Купреева Н. И. К вопросу о фазовом составе продуктов гидратации. ДАН СССР, 120, № 2, 372, 1958 г.
19. Беркович Т. М., Хейкер Д. М., Грачева О. Н., Зевин Л. С., Купреева Н. И. Исследование свойств гидросиликатов кальция. ДАН СССР, 120, № 4, 853, 1958 г.
20. Kenaedy G.C. Economic Geology, 54, 629. 1958 г.

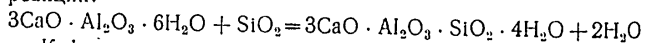
С. Д. ОКороков  
кандидат технических наук, доцент  
С. Л. ГОЛЫНКО-ВОЛЬФСОН  
кандидат технических наук, доцент  
(Ленинградский технологический институт им. Ленсовета)

#### О составе продуктов взаимодействия трехкальцевого алюмината с кремнеземсодержащими добавками

При твердении вяжущих веществ в нормальных условиях и при автоклавной обработке большое значение имеют не только первичные процессы образования новых гидратных соединений из исходных цементных минералов, но также и вторичные процессы, возникающие в результате взаимодействия водных новообразований между собой или с вводимыми в цемент тонкомолотыми минеральными добавками. Одним из авторов настоящей статьи еще в 1937 году [1, 2, 3] было установлено, что гидроалюминат кальция в результате взаимодействия с активным кремнеземом гидравлических добавок переходит в алюминат с меньшей основностью по следующей примерной схеме:



Позднее, в 1941 году, Флинт и Уэллс [4] указали на возможность образования из гидроалюмината кальция и активного кремнезема гидрогранатов, например, по такой реакции:



Кафедра технологии вяжущих веществ Ленинградского технологического института им. Ленсовета, учитывая недостаточную изученность, приступила в 1958 году к детальному исследованию продуктов взаимодействия активного и кристаллического кремнезема с отдельными глинозем- и окись железа-содержащими минералами. В данном сообщении

излагаются результаты, полученные для трехкальцевого алюмината<sup>1</sup>.

Исследованию были подвергнуты смеси  $\text{C}_3\text{A}$  с силикагелем, ахалцыхским диатомитом, брянским трепелом и тонкомолотым кварцем составов 90:10, 80:20, 70:30.

Прочность смесей определялась в малых прессованных кубиках размером  $1,41 \times 1,41 \times 1,41$  см в растворе 1:3 с мелким песком.

Гидротермальная обработка производилась при 8 атм по режиму  $2 + 8 + 3$  час.

Полученные результаты даны в табл. 1 и 2.

Рассмотрение данных в нормальных условиях показывает, что замена части (от 10 до 30 %) трехкальцевого алюмината добавками, содержащими активный кремнезем, во всех случаях приводит к повышению механической прочности.

Наоборот, замена  $\text{C}_3\text{A}$  соответствующим количеством тонкомолотого кварца приводит к некоторому снижению прочности практически пропорциональному количеству добавляемого песка. Из трех изученных в работе активных добавок трепел и диатомит дают примерно одинаковое повышение прочности, силикагель же в этом отношении значительно их превосходит.

Во многих случаях повышение прочности является очень значительным, например, при 30% добавке силикагеля прочность увеличивается в 6—10 раз.

Рассмотрение данных о прочности смесей  $\text{C}_3\text{A}$  с кремнеземсодержащими добавками при автоклавной обработке показывает, что запарка образцов из чистого трехкальцевого алюмината приводит к резкому снижению прочности.

Замена части трехкальцевого алюмината кремнеземсодержащими добавками вызывает при всех добавках, за исключением некоторых дозировок силикагеля, повышение прочности после автоклавной обработки по сравнению с прочностью трехкальцевого алюмината без добавок. Однако прочность всех запаренных образцов получается, за исключением смесей с песком, ниже прочности образцов 28-дневного нормального твердения. Это говорит о том, что автоклавная обработка является не эффективной не только по отношению к чистому трехкальцевому алюминату, но и к смесям его с активными добавками.

Как видно из табл. 2, повышение количества силикагеля в смеси с  $\text{C}_3\text{A}$  вызывает, в противоположность тому, что наблюдалось при нормальной температуре (см. табл. 1), резкое снижение прочности. Повторные опыты и специальное изучение этого явления показали, что в условиях авто-

<sup>1</sup> В экспериментальной части работы принимали участие В. Е. Аристова, Б. И. Шевелева и Т. Н. Яркина.

Предельная прочность при сжатии (кг/см<sup>2</sup>) раствора 1:3, изготовленного из трехкальциевого алюмината с различными кремнеземсодержащими добавками при нормальных условиях твердения

Таблица 1

№ п.п.	Наименование добавки	Добавка, %	Влажное хранение						Воздушное хранение						7 дней влажного хранения, затем на воздухе		
			3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	9 мес.	3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	28 дней	3 мес.	6 мес.	
1	Без добавки	—	12	14	15	25	25	9	10	12	15	15	22	35	45		
2	Силикатная	10	24	27	32	65	65	16	15	11	45	30	34	60			
3		20	65	68	76	165	170	36	41	43	120	70	86	180			
4		30	75	90	95	250	265	70	70	70	200	170	110	220	235		
5	Ахатинский диатомит	10	18	18	33	95	95	13	13	12	35	30	26	75			
6		20	24	26	33	90	100	13	12	11	45	35	26	105			
7		30	29	32	43	100	150	16	15	15	50	35	31	125	105		
8	Брянский трепел	10	17	19	25	75	110	12	13	13	55	40	28	100			
9		20	15	16	30	90	90	13	15	15	55	55	28	120			
10		30	19	28	47	130	140	14	18	23	75	70	38	120	110		
11	Тонкоколотый кварцевый песок	10	10	12	16	—	—	6	9	12	—	—	15	—			
12		20	11	11	12	—	—	5	8	8	—	—	—	—			
13		30	6	11	14	—	—	5	6	7	—	—	—	—			

Предельная прочность при сжатии (кг/см<sup>2</sup>) раствора 1:3, изготовленного из трехкальциевого алюмината с различными кремнеземсодержащими добавками при нормальных условиях твердения

Таблица 2

№ п.п.	Наименование добавки	Добавка, %	Влажное хранение						Воздушное хранение						7 дней влажного хранения, затем на воздухе		
			3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	9 мес.	3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	28 дней	3 мес.	6 мес.	
1	Без добавки	—	12	14	15	25	25	9	10	12	15	15	22	35	45		
2	Силикатная	10	24	27	32	65	65	16	15	11	45	30	34	60			
3		20	65	68	76	165	170	36	41	43	120	70	86	180			
4		30	75	90	95	250	265	70	70	70	200	170	110	220	235		
5	Ахатинский диатомит	10	18	18	33	95	95	13	13	12	35	30	26	75			
6		20	24	26	33	90	100	13	12	11	45	35	26	105			
7		30	29	32	43	100	150	16	15	15	50	35	31	125	105		
8	Брянский трепел	10	17	19	25	75	110	12	13	13	55	40	28	100			
9		20	15	16	30	90	90	13	15	15	55	55	28	120			
10		30	19	28	47	130	140	14	18	23	75	70	38	120	110		
11	Тонкоколотый кварцевый песок	10	10	12	16	—	—	6	9	12	—	—	15	—			
12		20	11	11	12	—	—	5	8	8	—	—	—	—			
13		30	6	11	14	—	—	5	6	7	—	—	—	—			

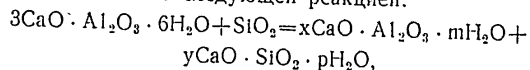
клавной обработки силикагель сильно оводняется и набухает, в силу чего на образцах появлялись волосяные трещины, которые увеличивались в размерах.

Изучение состава продуктов твердения  $C_3A$  с кремнеземсодержащими добавками производилось термо-и рентгенографическими методами. Для исследования готовились образцы-кубки из теста 1:0. Часть образцов хранилась до возраста 28 дней и 6 месяцев во влажном пространстве, а часть подвергалась запарке при 8 атм в течение 8 часов и 48 часов (6 раз по 8 часов). Эти образцы по окончании соответствующего срока твердения во влажном пространстве или по окончании одно-и многократной запарки измельчались без доступа  $CO_2$ , обрабатывались абсолютным этиловым спиртом, промывались несколько раз серным эфиром и высушивались при температуре не выше  $40^\circ$ . Дифференциальный термический анализ (ДТА) производился на пирометре акад. Н. С. Курнакова, рентгенографическое исследование — на низозионной рентгеноструктурной установке института „Гипроцемент“.

Не имея возможности привести все экспериментальные данные, ограничимся лишь самыми существенными из них. На рис. 1 изображены термограммы, полученные при ДТА. Известно, что для гидроалюмината кальция, получающегося в результате гидратации  $C_3A$ , особенно характерным является эндотермический эффект при температуре  $520-545^\circ C$ .

Как видно на рис. 1а, при нормальных условиях твердения основное различие между кривой нагревания гидроалюмината кальция без добавки силикагеля и кривыми нагревания гидратированных смесей  $C_3A$  с силикагелем заключается в том, что на последних кривых эндотермический эффект при температуре  $520-545^\circ$  сильно уменьшается по мере увеличения содержания силикагеля в смеси. При гидратации  $C_3A$  с 30% силикагеля этот эффект полностью исчезает.

Описанные явления, по нашему мнению, можно объяснить лишь тем, что активный кремнезем силикагеля вступает в химическое взаимодействие с гидроалюминатом кальция и отнимает от него часть извести, образуя водный силикат кальция и водный алюминат кальция, последний с основнойностью меньшей чем 3:1. Схематически это взаимодействие может быть описано следующей реакцией:



$$\text{где } x + y = 3$$

Дополнительным подтверждением изложенного выше предположения являются еще следующие два факта.

264

1. Второй эндотермический эффект, тоже очень характерный для продукта гидратации чистого трехкальцевого алюмината и имеющий максимум при  $370^\circ$ , в продуктах гидратации смесей  $C_3A$  с силикагелем постепенно (по мере увеличения содержания силикагеля в смеси) уменьшается

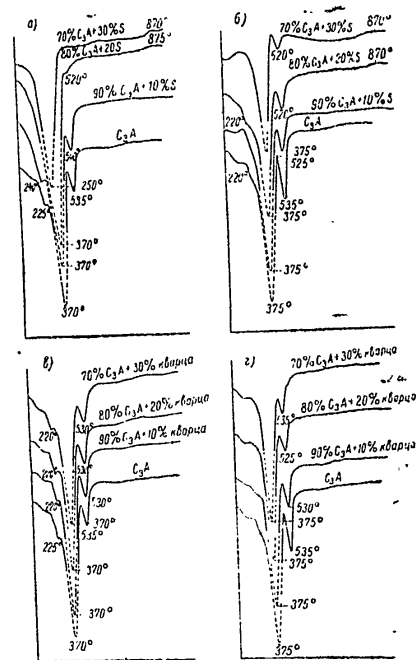


Рис. 1. Термограммы продуктов гидратации  $C_3A$  и его смесей:

а) с силикагелем (S) после 28 дней влажного хранения, б) с силикагелем (S) после 8-часовой запарки, в) с кварцем после 28 дней влажного хранения, г) с кварцем после 8-часовой запарки.

и при 30% содержании силикагеля полностью исчезает (см. рис. 1а). Вместо него на кривой нагревания последнего продукта возникает большой эндотермический эффект с ма-

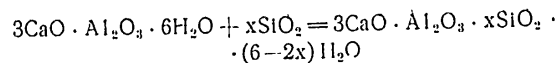
265

ксимумом при 250°. Все это свидетельствует об исчезновении в продуктах гидратации смеси  $C_3A$  с силикагелем водного трехкальцевого алюмината и о замене его новыми водными соединениями, отщепляющими воду при более низкой температуре.

2. На кривых нагревания смесей  $C_3A$  с 20 и 30% силикагеля появляется новый, на этот раз уже экзотермический эффект с максимумом при 860°. Как известно, такие экзотермические эффекты характерны для низкоосновных гидросиликатов кальция, они наблюдаются по Калоузеку [5] в интервале температур 830—900°. В частности, тоберморит —  $4CaO \cdot 5SiO_2 \cdot 6H_2O$  по данным Т. М. Берковича [6] дает на кривой нагревания небольшой эндотермический эффект при 230° и очень небольшой экзотермический эффект при 830°. Таким образом, наблюдаемые нами появления экзотермического эффекта на термограммах продуктов гидратации смесей с 20 и 30% силикагеля служат еще одним доказательством того, что взаимодействие  $C_3A$  и силикагеля в процессе их совместного твердения приводит к образованию водных низкоосновных силикатов кальция.

Кривые нагревания продуктов автоклавного твердения существенно отличаются от только что рассмотренных кривых нагревания продуктов гидратации при нормальной температуре. Как видно из рис. 1б, на этих кривых не наблюдается при замене части трехкальцевого алюмината соответствующим количеством (от 10 до 30%) силикагеля полного исчезновения эндотермического эффекта при 520—540°, не наблюдается также и существенного уменьшения эндотермического эффекта при 370° и превращения его, как это имеет место при нормальном твердении, в эндотермический эффект с максимумом при 250°, отсутствует также и экзотермический эффект, который мы объясняли ранее появлением малоосновного гидросиликата кальция. Таким образом, при автоклавном твердении кривые нагревания, полученные для продуктов гидратации смесей  $C_3A$  и силикагеля, мало отличаются от кривой нагревания чистого гидроалюмината кальция.

Все это свидетельствует о том, что процесс взаимодействия протекает при автоклавной обработке совершенно по другой схеме, резко отличной от той, которая была дана нами выше для случая нормальной температуры. Как нам представляется, при автоклавной обработке процесс взаимодействия активного кремнезема с водным трехкальцевым алюминатом идет преимущественно в направлении образования гидрогранатов кальция путем частичной замены в  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  молекул воды группами  $SiO_2$  по такой примерной схеме:



Сопоставление между собою рис. 1в и рис. 1г показывает, что для смесей  $C_3A$  с тонкомолотым кварцем не наблюдается различия между термограммами продуктов нормального твердения и автоклавной обработки.

Объясняем мы это следующим образом.

Во-первых, при нормальной температуре взаимодействие между кварцем и гидроалюминатом кальция протекает настолько медленно, что в этих условиях не успевает образоваться такое количество малоосновного гидросиликата кальция, которое существенно изменило бы характер термограмм. Различие в термограммах возникает лишь по причине чисто физического разбавления продуктов гидратации  $C_3A$  добавляемым кварцем.

Во-вторых, хотя при автоклавной обработке песок и взаимодействует с гидроалюминатом кальция, однако продуктом этого взаимодействия является, в соответствии с соображениями подробно развитыми ранее, не гидросиликат кальция, а гидрогранаты кальция. Их появление наряду с шестиводным трехкальцевым алюминатом в составе продуктов автоклавного твердения не вызывает изменения характера термограмм.

Рентгенограммы исследованных продуктов изображены на рис. 2—5. На этих рисунках условными значками показано, к каким соединениям относятся дифракционные максимумы, наблюдаемые на рентгенограммах.

Как видно из рис. 2, на рентгенограмме продуктов твердения чистого  $C_3A$  в основном видны дифракционные максимумы  $C_3AH_6$ , наблюдаются также наиболее интенсивные линии неуспешного прореагировать с водой исходного трехкальцевого алюмината.

Сравнивая с этой рентгенограммой остальные рентгенограммы рис. 2, мы видим совершенно явное исчезновение на верхней рентгенограмме (снятой с продукта гидратации смеси 70%  $C_3A$  + 30% силикагеля) многих линий шестиводного трехкальцевого алюмината. Даже такие самые интенсивные линии этого соединения как 2,81, 2,29 и 2,04 на самой верхней рентгенограмме дают ничтожно малые интенсивности. Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что интенсивность указанных линий сильно уменьшается для смеси 80%  $C_3A$  + 20% силикагеля, рентгенограммы этой смеси в рассматриваемом отношении занимают промежуточное положение между рентгенограммами смесей с 10 и 30% силикагеля.

Иное мы наблюдаем, прослеживая изменение интенсивности дифракционных максимумов, характерных для безвод-

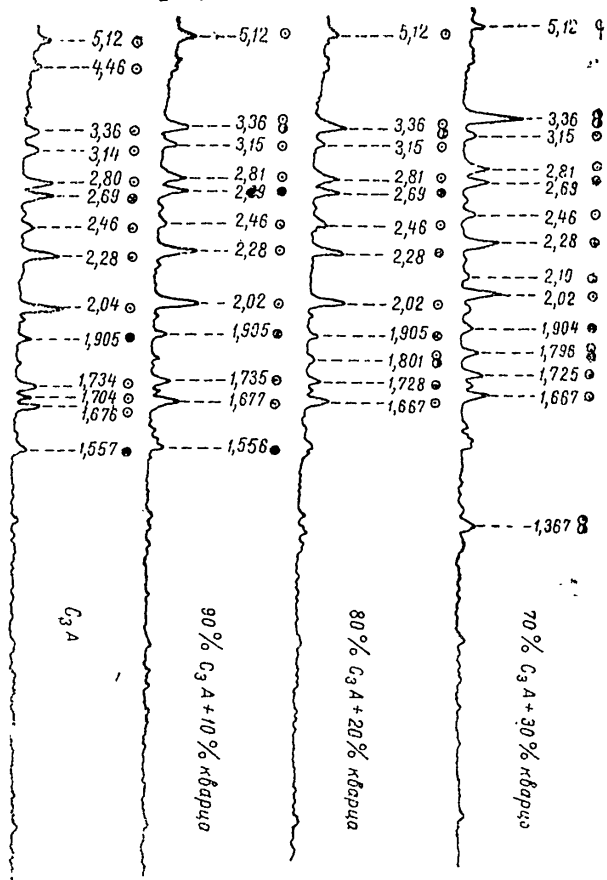


Рис. 4. Рентгенограммы продуктов гидратации  $C_3A$  и его смесей с кварцем после 28 дней влажного хранения.

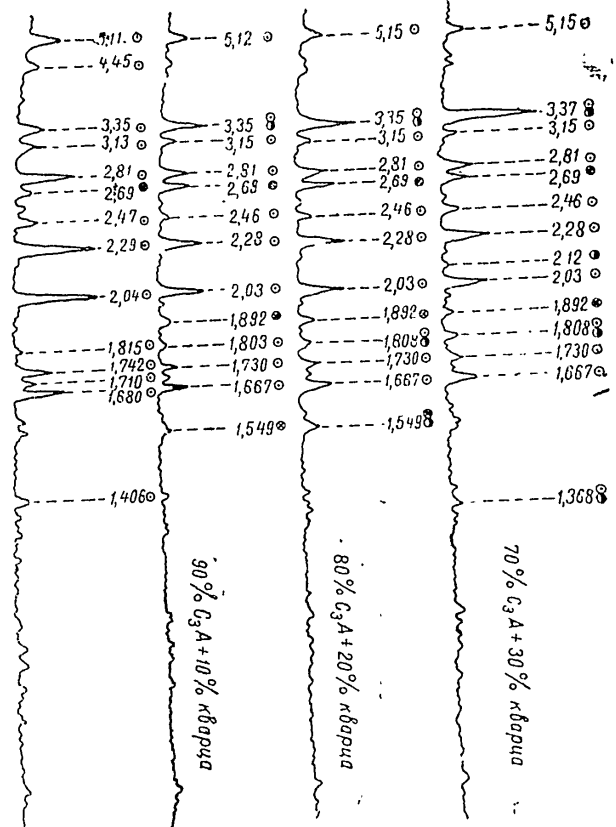


Рис. 5. Рентгенограммы продуктов гидратации  $C_3A$  и его смесей с кварцем после 8-часовой запарки

ного трехкальцевого алюмината. Эти интенсивности (например, для наиболее характерных межплоскостных расстояний 2,70, 1,907 и 1,556) на рентгенограммах с 20 и 30% силикагеля не уменьшаются.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что в процессе совместного твердения трехкальцевого алюмината и силикагеля при обычной температуре образующийся гидроалюминат кальция вступает в химическое взаимодействие с активным кремнеземом, вместо него появляются гелеобразные водные силикаты и алюминаты кальция, не дающие на рентгенограммах дифракционной картины. Таким образом, данные рентгенографических исследований подтверждают выводы, которые были сделаны при рассмотрении результатов термографического анализа.

Рентгенограммы продуктов автоклавного твердения, изображенные на рис. 3, показывают что гидратация трехкальцевого алюмината при автоклавной обработке протекает весьма интенсивно и быстро: дифракционные максимумы, соответствующие безводному  $C_3A$ , практически отсутствуют. На рентгенограммах продуктов автоклавного твердения тоже наблюдается некоторое уменьшение величины интенсивности дифракционных максимумов  $C_3AH_6$  по мере повышения содержания силикагеля в смеси, однако это уменьшение значительно меньше того, которое имеет место на рентгенограммах продуктов гидратации при нормальной температуре. Последнее обстоятельство мы рассматриваем как подтверждение ранее высказанной нами точки зрения о том, что при автоклавной обработке процесс взаимодействия активного кремнезема с водным трехкальцевым алюминатом идет в основном по линии образования твердого раствора типа гидрогранатов кальция.

По литературным данным [7] известно, что размеры элементарной ячейки шестиводного трехкальцевого алюмината и безводного граната-гроссуляра сравнительно мало отличаются друг от друга: у  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  размер ребра элементарной ячейки равен 12,56 Å, у гроссуляра —  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$  он равен 11,84 Å. Соответственно этому мало изменяются и межплоскостные расстояния при переходе от  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  к  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$ . Еще меньше они изменяются при частичной замене воды кремнеземом. Такие небольшие изменения могут быть и не обнаружены при обычных рентгенограммах.

Тот факт, что рентгенограммы автоклавированных смесей  $C_3A$  с активным кремнеземом очень сходны с рентгенограммой шестиводного трехкальцевого алюмината, подтверждает нашу точку зрения о возможности образования в этих условиях твердого раствора типа  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ .

272

Результаты рентгенографических исследований продуктов гидратации смесей  $C_3A$  с тонкомолотым кварцем представлены на рис. 4 и 5. Их рассмотрение показывает, что во всех случаях независимо от содержания в смесях тонкомолотого кварца и независимо от условий гидратации на рентгенограммах обнаруживаются дифракционные максимумы только трех соединений — шестиводного алюмината кальция, кварца и безводного трехкальцевого алюмината.

#### Выводы

Установлено, что процессы взаимодействия активного кремнезема с гидроалюминатом кальция при совместном твердении смеси  $C_3A$  + силикагель протекают по-разному в зависимости от условий твердения. При нормальной температуре активный кремнезем вступает в химическое взаимодействие с гидроалюминатом кальция и отнимает от него часть извести, образуя водный силикат кальция и водный алюминат кальция, последний с основнойностью меньшей, чем 3:1. При автоклавной обработке процесс взаимодействия активного кремнезема с водным трехкальцевым алюминатом идет преимущественно в направлении образования твердого раствора типа гидрогранатов кальция путем частичной замены в  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  молекул воды группами  $SiO_2$ .

#### Литература

1. Окорков С. Д., Ходикель Е. П. Отчет о работе, рукопись ЛТИ им. Ленсовета, 1937 г.
2. Боков А. Н., Бутт Ю. М., Дейнека В. К., Окорков С. Д., Юнг В. Н. Технология вяжущих веществ. Стройиздат, стр. 248, 1947 г.
3. Юнг В. Н., Бутт Ю. М., Журавлев В. Ф., Окорков С. Д. Технология вяжущих веществ. Промстройиздат, стр. 345, 1952 г.
4. Flint E. P., Wells I. S., J. Res. Nat. Bur. Standards, vol. 27, № 2, August, 1941.
5. Kalousek G. Z. J. Amer. Concrete Inst. vol. 26, № 10, 1955.
6. Беркович Т. М. Автоклавный асбесто-цемент. Промстройиздат, стр. 14, 1957 г.
7. Flint E. P., McMurdie H. F., Wells I. S., J. Res. Nat. Bur. Standards, vol. 26, № 1, January, 1941.

18 зак. 196

273



Ю. М. БУТТ  
 член-корреспондент АС и А СССР,  
 доктор технических наук, профессор  
 Л. Н. РАШКОВИЧ  
 кандидат технических наук  
 О. Н. ГРАЧЕВА  
 кандидат технических наук  
 А. А. МАЙЕР  
 кандидат технических наук  
 Д. М. ХЕЙКЕР  
 кандидат физико-математических наук  
 (НИИАСБЕСТЦЕМЕНТ, РОСНИИМС)

Синтез индивидуальных фаз в системе CaO SiO<sub>2</sub> — H<sub>2</sub>O

Твердение силикатных строительных материалов в автоклаве определяется возникновением и кристаллизацией (микроструктурой) гидратированных новообразований, среди которых важнейшими являются гидросиликаты кальция.

Фазовый состав этих соединений, их количество и степень кристаллизации во многом определяют технические свойства изделий. Поэтому определение фазового состава и изучение свойств индивидуальных гидросиликатов имеет чрезвычайно важное практическое значение, открывая возможности направленного управления процессом твердения изделий для получения строительных материалов с оптимальными техническими свойствами.

В 1958 г. в РОСНИИМС'е и в НИИасбестцементе была проведена совместная работа по синтезу и исследованию индивидуальных гидросиликатов кальция. В результате работы удалось синтезировать большинство известных гидросиликатов кальция: гиrolит (C<sub>4</sub>S<sub>6</sub>H<sub>2</sub>); CSH(B) (C<sub>0,8</sub>SH<sub>0,1</sub>), CSH<sub>n</sub> и C<sub>1,25</sub>SH<sub>1,1</sub>); тоберморит (C<sub>4</sub>S<sub>5</sub>H<sub>5</sub>); ксонотлит (C<sub>6</sub>S<sub>6</sub>H<sub>6</sub>); C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub> (C<sub>1,25</sub>SH<sub>1,50</sub>); C<sub>2</sub>SH (A) (C<sub>2,08</sub>SH<sub>1,19</sub>) C<sub>2</sub>SH (B) (C<sub>2,1</sub>SH<sub>1,06</sub>); C<sub>2</sub>SH (C) (C<sub>2,13</sub>SH<sub>0,31</sub>) и C<sub>3</sub>SH<sub>2</sub> (C<sub>6</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub>). Синтез аввилита не увенчался успехом, а гидросиликаты C<sub>1</sub>S=0,5 и CSH(A) нами не синтезировались.

В настоящем сообщении рассматриваются лишь результаты опытов по синтезу гидросиликатов в суспензиях.

Исходными материалами для синтеза служили химически чистая окись кальция, полученная обжигом Ca(OH)<sub>2</sub> в течение 3 час. при 950°, молотый кварцевый песок, содержащий около 99% SiO<sub>2</sub>, с удельной поверхностью 4,6 м<sup>2</sup>/г и водная кремнекислота (марки ЧДА), содержащая 20% H<sub>2</sub>O, просеянная через сито № 02. Использовались также β-модификация двухкальциевого силиката и трехкальциевый силикат (с содержанием около 3% примесей), измельченные и просеянные через сито № 02. Применялась прокипяченная дистиллированная вода. Смесь исходных компонен-

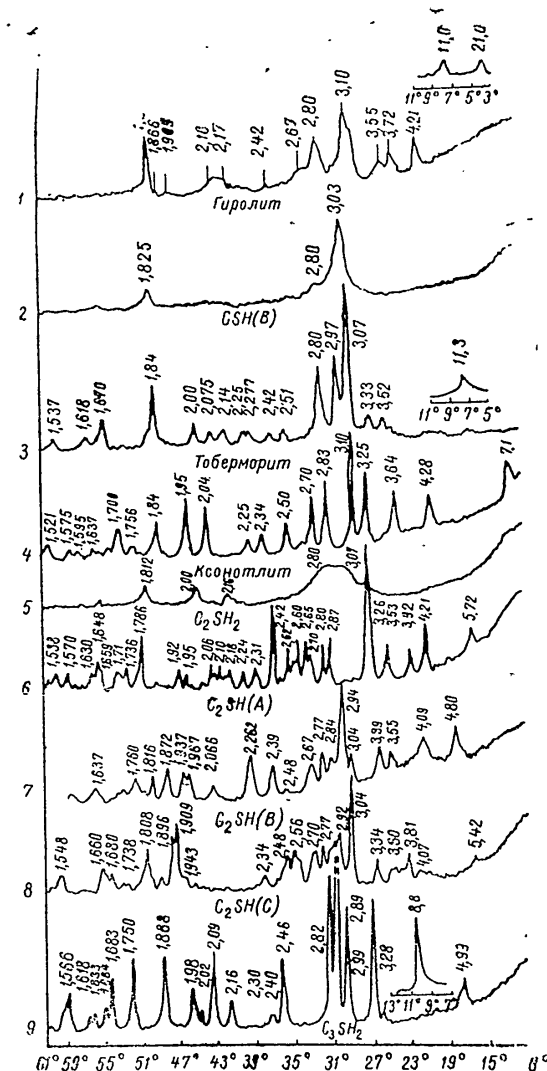


Рис. 1. Рентгенограммы индивидуальных гидросиликатов кальция.

тов тщательно перемешивалась в сухом виде и заливалась в необходимом количестве воды непосредственно перед гидротермальной обработкой.

Гидротермальная обработка проводилась в бомбах из нержавеющей стали емкостью 100 см<sup>3</sup>. Термостатирование

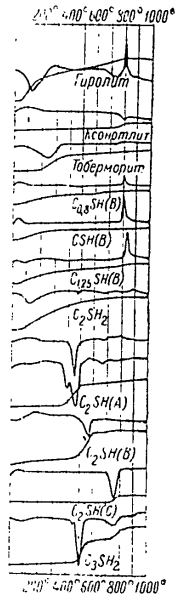


Рис. 2 Термограммы и кривые потерь веса индивидуальных гидросиликатов кальция.



Рис. 3 Микрофотографии индивидуальных гидросиликатов кальция.

бомб осуществлялось с точностью  $\pm 2$ . В ряде опытов, находящаяся в бомбе суспензия, непрерывно перемешивалась с помощью магнитной мешалки. Нагрев бомб до заданной температуры длился 1,5-2,0 часа, за исключением опытов при 175°, в которых применялась мешалка, в этом случае нагрев осуществлялся за 20 мин. Охлаждение быстрое в холодной воде. Сушка образцов велась в вакуумном сушильном шкафу при 60 и давлении около 10 мм. рт. ст.

Идентификация новообразований проводилась с помощью рентгеновского и термического анализов. Первый осуществлялся на позиционном диффрактометре УРС-50 И.

Таблица 1  
Условия и результаты опытов по синтезу индивидуальных гидросиликатов кальция

№ п/п	C, S	Кремне-землистый компонент	В, Т	Температура, °C		Время, сутки	Продукты реакции	Примечание
				4	5			
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0,66	кварц	20	175	20 час	CSH(B) + тоберморит	М	
2	-	-	1	300	10	ксонолит	М, P, NaOH	
3	-	-	-	-	-	-	P, NaOH	
4	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	20	-	-	
6	-	SiO <sub>2</sub> водн	5	150	20	гирозит	-	
7	-	-	17	175	20 час	тоберморит	-	
8	-	-	-	-	10	гирозит	-	
9	-	-	5	-	20	гирозит	-	
10	-	-	-	250	10	гирозит + ?	-	
11	-	-	-	300	20	-	-	
12	0,8	кварц	20	175	0	CH <sub>2</sub> - C <sub>2</sub> SH(A)	М	
13	-	-	-	-	0,5 час	C <sub>1,2</sub> SH <sub>n</sub>	-	
14	-	-	-	-	0,7 час	-	-	
15	-	-	-	-	1,0 час	C <sub>1,2</sub> SH <sub>n</sub> - CSH <sub>n</sub>	-	
16	-	-	-	-	1,5 час	CSH <sub>n</sub> - C <sub>1,2</sub> SH <sub>n</sub>	-	
17	-	-	-	-	2,0 час	CSH <sub>n</sub>	-	
18	-	-	-	-	2,5 час	C <sub>0,8</sub> SH <sub>n</sub>	-	
19	-	-	-	-	3,0 час	C <sub>0,8</sub> SH <sub>n</sub>	-	
20	-	-	-	-	4,0 час	тоберморит + тоберморит + C <sub>0,8</sub> SH <sub>n</sub>	-	
21	-	-	-	-	4,5 час	тоберморит	-	
22	-	-	1	-	6	-	-	
23	1,0	SiO <sub>2</sub> водн	6	-	1 час	CSH <sub>n</sub>	-	
24	-	кварц	1	200	7	ксонолит	-	
25	-	-	-	250	1	-	-	
26	-	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	300	2	-	-	
28	1,5	SiO <sub>2</sub> водн	20	160	0	-	-	
29	-	-	6	150	31	C <sub>2</sub> SH(B) + ксонолит	-	
30	-	-	20	160	5 час	C <sub>2</sub> SH(A) + CSH(B)	М	
31	1,5	кварц	1	160	9	CSH(B) + CH	-	
32	-	-	-	-	-	C <sub>2</sub> SH(B) + ксонолит	-	
33	-	-	-	175	10	C <sub>2</sub> SH(B)	0,5 P, NaOH	
34	2,0	-	20	160	1 час	C <sub>2</sub> SH(B) + ксонолит	-	
35	-	SiO <sub>2</sub> водн	5	-	1	C <sub>2</sub> SH(A) + CH	М	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
36	"	кварц	20	175	5 час	C <sub>2</sub> SH (A)	M.
37	"	"	4	"	1	CH + C <sub>2</sub> SH(A)	"
38	"	"	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(A) + CH	0,12% NaOH
39	"	"	"	"	5	"	"
40*	"	"	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(A)	0,12% NaOH
41	"	"	"	200	16 час	"	0,5% NaOH
42	"	"	"	"	2	"	0,1% NaOH
43	"	"	"	"	3	C <sub>2</sub> SH(C)	"
44	"	SiO <sub>2</sub> водн.	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(B) + C <sub>2</sub> SH(C)	"
45*	2,0	SiO <sub>2</sub> водн.	6	"	12	C <sub>2</sub> SH(B)	"
46	"	"	"	225	20 час	C <sub>2</sub> SH (C) + CH	"
47	"	кварц	"	"	10	C <sub>2</sub> SH (C)	"
48*	"	"	5	250	9	"	"
49*	"	3 C <sub>2</sub> S	20	70	29	C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	M. p-p CH
50	"	"	15	110	10	C <sub>2</sub> SH(A)	"
51	"	"	4	225	"	C <sub>2</sub> SH (A)	"
52	"	"	6	250	"	C <sub>2</sub> SH(C)	"
53	3,0	кварц	4	"	"	"	"
54	"	SiO <sub>2</sub> поди.	"	"	15	C <sub>2</sub> SH(C) + CH	"
55	"	C <sub>2</sub> S	"	"	5	C <sub>2</sub> SH(C) + CH +	"
56*	"	"	"	"	10	+ C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	"
57	"	"	"	300	7	C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	"

второй на установке для непрерывного взвешивания с одно-временной регистрацией тепловых эффектов конструкции А. И. Цветкова. Скорость нагрева образца при термическом анализе 20° в мин.

В табл. 1 приведены условия и результаты части проведенных опытов; на рис. 1 — рентгенограммы, а на рис. 2 — термограммы и кривые потерь веса синтезированных нами чистых гидросиликатов. Микрофотографии гидросиликатов представлены на рис. 3.

В табл. 1 в графе „продукты реакции“ приводится состав новообразований и отмечается наличие в образце свободной Ca(OH)<sub>2</sub>. Свободный кремнезем присутствовал в образцах данной серии опытов лишь в том случае, если основность новообразований была выше основности исходной смеси. Соединения помещены последовательно по мере убывания их содержания в образце.

В графе „примечания“ знаком „М“ обозначено непрерывное перемешивание суспензии в процессе опыта, за исключением опыта № 50, когда содержимое бомбы перемешивалось периодически — 2 раза в день по 30 мин. Содержание добавки щелочи в жидкую фазу рассчитано по отношению к весу исходной смеси. В опытах № 49 и 50 знаком „p-p CH“

показано, что гидратация проводилась не в чистой воде, а в насыщенном растворе извести.

Звездочкой отмечены опыты, приведшие к получению чистых гидросиликатов, характеристики которых даны на рис. 1, 2, 3.

#### Обсуждение результатов опытов

1. Для синтеза гидрولита необходимо применение активных форм кремнезема. В случае использования кварца гидролит не образуется; при низких температурах возникает CSH (B) и тоберморит, а при высоких — ксонотлит. Опыты при 300° показали, что ксонотлит сосуществует с кварцем весьма долгое время (20 суток), не превращаясь в менее основную фазу (опыт № 5). Увеличение растворимости SiO<sub>2</sub> путем введения NaOH также не приводит к желаемому результату, по-видимому, вследствие снижения растворимости Ca(OH)<sub>2</sub>. На основе кремнекислоты гидролит может быть получен в смесях его стехиометрии в широком температурном интервале — 150—300°, однако в смесях более высокой основности в условиях наших опытов гидролит никогда не возникал. Таким образом, в отличие от литературных данных, нам представляется, что гидролит является метастабильной фазой в системе CaO—SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O, и образование его возможно лишь в жидкой фазе с повышенной концентрацией SiO<sub>2</sub> (т. е. в присутствии метастабильного кремнегеля).

2. Синтез CSH (B) и тоберморита осуществлен по разработанному Калоузеком методу, который приводит к легко воспроизводимым результатам, позволяя, правда, получать C<sub>1,23</sub>SH<sub>n</sub> и CSH<sub>n</sub> с примесью кварца. Следует подчеркнуть установленное в работе влияние количества жидкой фазы на скорость смены промежуточных фаз, преобразующихся в тоберморит. Так при В Т = 20 чистый тоберморит получается за 4,5 часа, а при В Т = 4 за 6 суток (опыты 21 и 22). Большое влияние оказывает также растворимость известки: применение грубодисперсной Ca(OH)<sub>2</sub> и введение добавок NaOH замедляет образование тоберморита, стабилизируя богатые известью волокнистые фазы.

3. Ксонотлит легко образуется в смесях с C S = 1,5 при температурах выше 180—200°, что находится в соответствии с литературными данными. Однако образование большого количества ксонотлита (в смеси C S = 1,5, опыт № 28) наблюдалось и при значительно более низкой температуре 150°.

4. При синтезе афвиллита опыты (№ 28—33) не привели к успеху, так как возникала смесь высоко- и низкоосновного гидросиликатов. Очевидно необходимы значительные более длительные опыты (несколько месяцев) и применение высокоактивных форм SiO<sub>2</sub> (например, золя кремнекислоты)

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
36	"	кварц	20	175	5 час	C <sub>2</sub> SH (A)	M.
37	"	"	4	"	1	CH + C <sub>2</sub> SH(A)	"
38	"	"	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(A) + CH	0,12% NaOH
39	"	"	"	"	5	"	"
40*	"	"	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(A)	0,12% NaOH
41	"	"	"	200	16 час	"	0,5% NaOH
42	"	"	"	"	2	"	0,1% NaOH
43	"	"	"	"	3	C <sub>2</sub> SH(C)	"
44	"	SiO <sub>2</sub> водн.	"	"	"	C <sub>2</sub> SH(B) + C <sub>2</sub> SH(C)	"
45*	2,0	SiO <sub>2</sub> водн.	6	"	12	C <sub>2</sub> SH(B)	"
46	"	"	"	225	20 час	C <sub>2</sub> SH (C) + CH	"
47	"	кварц	"	10	"	C <sub>2</sub> SH (C)	"
48*	"	"	5	250	9	"	"
49*	"	β C <sub>2</sub> S	20	70	29	C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	M., p-p CH
50	"	"	15	110	10	C <sub>2</sub> SH(A)	"
51	"	"	4	225	"	C <sub>2</sub> SH (A)	"
52	"	"	6	250	"	C <sub>2</sub> SH(C)	"
53	3,0	кварц	4	"	"	"	"
54	"	SiO <sub>2</sub> поди.	"	"	15	C <sub>2</sub> SH(C) + CH	"
55	"	C <sub>2</sub> S	"	"	5	C <sub>2</sub> SH(C) + CH +	"
56*	"	"	"	"	10	+ C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	"
57	"	"	"	300	7	C <sub>2</sub> SH <sub>2</sub>	"

второй — на установке для непрерывного взвешивания с одновременной регистрацией тепловых эффектов конструкции А. И. Цветкова. Скорость нагрева образца при термическом анализе 20° в мин.

В табл. 1 приведены условия и результаты части проведенных опытов; на рис. 1 — рентгенограммы, а на рис. 2 — термограммы и кривые потерь веса синтезированных нами чистых гидросиликатов. Микрофотография гидросиликатов представлены на рис. 3.

В табл. 1 в графе „продукты реакции“ приводится состав новообразований и отмечается наличие в образце свободной Ca(OH)<sub>2</sub>. Свободный кремнезем присутствовал в образцах данной серии опытов лишь в том случае, если основность новообразований была выше основности исходной смеси. Соединения помещены последовательно по мере убывания их содержания в образце.

В графе „примечания“ знаком „М“ обозначено непрерывное перемешивание суспензии в процессе опыта, за исключением опыта № 50, когда содержимое бомбы перемешивалось периодически — 2 раза в день по 30 мин. Содержание добавки щелочи в жидкую фазу рассчитано по отношению к весу исходной смеси. В опытах № 49 и 50 знаком „p-p CH“

278

показано, что гидратация проводилась не в чистой воде, а в насыщенном растворе извести.

Звездочкой отмечены опыты приведение к получению чистых гидросиликатов, характеристики которых даны на рис. 1, 2, 3.

#### Обсуждение результатов опытов

1. Для синтеза гидролита необходимо применение активных форм кремнезема. В случае использования кварца гидролит не образуется; при низких температурах возникает CSH(B) и тоберморит, а при высоких — ксонотлит. Опыты при 300° показали, что ксонотлит сосуществует с кварцем весьма долгое время (20 суток), не превращаясь в менее основную фазу (опыт № 5). Увеличение растворимости SiO<sub>2</sub> путем введения NaOH также не приводит к желаемому результату, по-видимому, вследствие снижения растворимости Ca(OH)<sub>2</sub>. На основе кремнекислоты гидролит может быть получен в смесях его стехиометрии в широком температурном интервале — 150—300°, однако в смесях более высокой основности в условиях наших опытов гидролит никогда не возникал. Таким образом, в отличие от литературных данных, нам представляется, что гидролит является метастабильной фазой в системе CaO—SiO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>O, и образование его возможно лишь в жидкой фазе с повышенной концентрацией SiO<sub>2</sub> (т. е. в присутствии метастабильного кремнегеля).

2. Синтез CSH(B) и тоберморита осуществлен по разработанному Калоузеком методу, который приводит к легко воспроизводимым результатам, позволяя, правда, получать C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub> и CSH<sub>n</sub> с примесью кварца. Следует подчеркнуть установленное в работе влияние количества жидкой фазы на скорость смены промежуточных фаз, преобразующихся в тоберморит. Так при В Т = 20 чистый тоберморит получается за 4,5 часа, а при В Т = 4 — за 6 суток (опыты 21 и 22). Большое влияние оказывает также растворимость известня при применении грубодисперсной Ca(OH)<sub>2</sub> и введение добавок NaOH замедляет образование тоберморита, стабилизируя богатые известью волокнистые фазы.

3. Ксонотлит легко образуется в смесях с C<sub>2</sub>S = 1,5 при температурах выше 180—200°, что находится в соответствии с литературными данными. Однако образование большого количества ксонотлита (в смеси C S = 1,5, опыт № 28) наблюдалось и при значительно более низкой температуре 150°.

4. При синтезе афвиллита опыты (№ 28—33) не привели к успеху, так как возникала смесь высоко- и низкоосновного гидросиликатов. Очевидно необходимы значительно более длительные опыты (несколько месяцев) и применение высокоактивных форм SiO<sub>2</sub> (например, золя кремнекислоты).

279

Синтез афвиллита очевидно протекает с образованием ряда последовательно возникающих промежуточных фаз и их комбинации: так, в продуктах гидротермальной обработки смесей с  $C/S=1,5$  были обнаружены  $CSH(B)$ , ксонотлит,  $C_2SH(A)$  и  $C_2SH(B)$ .

5. Волокнистый гидросиликат  $C_2SH_2$  в чистом виде удалось получить лишь гидратацией  $\beta C_2S$  в насыщенном растворе извести при  $70^\circ$  в течение 29 суток (опыт № 49). Синтез из смеси  $CaO$  и кремниевой кислоты с  $C/S=2$  при низких температурах или коротких сроках обработки при высоких температурах приводит к образованию продуктов, загрязненных  $SiO_2$  и другими фазами.

6. Синтез в смесях с  $C/S=2$  и гидратация двухкальцевого силиката при температурах ниже  $200^\circ$  приводит к образованию  $C_2SH(A)$ , а при температурах выше  $200^\circ$  — к образованию  $C_2SH(C)$ .  $C_2SH(B)$  возникает при  $150-250^\circ$ , но лишь в тех случаях, когда применяется не кварц, а кремниевая кислота. Однако и в этом случае  $C_2SH(A)$  и  $C_2SH(C)$  часто присутствуют в качестве примеси к  $C_2SH(B)$ .

В присутствии небольшой добавки  $NaOH$  удалось получить  $C_2SH(B)$  с основностью 1,5 (опыт № 32), тогда как ранее считалось нижним пределом основности  $C_2SH(B)$   $C/S=1,8$ .

7. Гидратация  $C_2S$  при  $250-300^\circ$  первоначально приводит к образованию смеси  $C_2SH(C)$  и  $Ca(OH)_2$ . После того как вся исходная фаза прогидратируется, концентрация  $SiO_2$  в растворе начинает уменьшаться, и становится возможным возникновение  $C_2SH_2$ . При этом  $C_2SH(C)$  и  $Ca(OH)_2$  взаимодействуют, содержание свободной  $Ca(OH)_2$  в образце уменьшается, и к 10 суткам обработки при  $250^\circ$  и 7 суткам при  $300^\circ$  возникает чистый  $C_2SH_2$ .

8. Во всех без исключения случаях установлено, что увеличение  $V/T$  и применение мешалки существенно ускоряет скорость связывания компонентов и образование стабильных фаз. Это говорит о том, что взаимодействие осуществляется путем растворения исходных компонентов и химической реакции между ними в жидкой фазе, а не в результате хемосорбционных процессов, так как, если бы взаимодействие шло на поверхности частиц, увеличение  $V/T$  не сказалось бы на его скорости.

9. Добавки  $NaOH$  ускоряют образование двухосновных гидросиликатов и способствуют быстрому связыванию компонентов в эти соединения. Напротив, при синтезе ксонотлита добавка щелочи не оказывает заметного влияния на кинетику взаимодействия, а в случае синтеза  $CSH(B)$  и тоберморита замедляет реакцию, стабилизируя опять же двухосновные фазы.

280

Н. А. ТОРОПОВ  
действительный член АС и А СССР,  
доктор технических наук, профессор  
А. И. БОЙКОВА  
кандидат химических наук  
Я. И. РЫСКИН  
младший научный сотрудник  
(Институт Химии Силикатов АН СССР)

## Об идентификации гидросиликатов кальция

### 1. Введение

Среди принятых методов идентификации гидросиликатов кальция наиболее надежным является рентгенофазовый анализ. Однако этот метод сопряжен со значительными трудностями при расшифровке смесей гидросиликатов. Последние обладают кристаллическими решетками низкой симметрии и дают на дебаеграммах большое число линий. На кривых рассеяния смесей максимумы отдельных компонентов нередко накладываются друг на друга. Несовершенство кристаллов, образующихся при синтезе гидросиликатов из смесей  $SiO_2$  и  $Ca(OH)_2$  или при схватывании и твердении цементов, ведет к размытию дифракционных колец, снижает чувствительность метода и затрудняет разрешение близлежащих максимумов.

Указанные обстоятельства заставляют пользоваться несколькими независимыми методами анализа при идентификации гидросиликатов кальция в смесях.

В данной работе обсуждаются, помимо рентгенофазового, кристаллооптический и термический методы идентификации гидросиликатов.

В связи с тем, что в последние годы получили распространение эффективный метод идентификации неорганических соединений по инфракрасным спектрам поглощения, мы произвели описанный здесь опыт использования этого метода для анализа простых смесей гидросиликатов кальция.

### 2. Экспериментальная часть<sup>1</sup>

В качестве исходных материалов служили природные ксонотлит (Южная Осетия) и гиллебрандит (Мексика, Дуранго), полученные нами из музея им. Карпинского в Москве. Синтетические продукты изготовлялись из смесей геля  $SiO_2$  и гидрооксида кальция в автоклавах. Синтез осуществлялся в течение 10 дней при температуре  $250^\circ C$ .

Рентгеновские неонизационные кривые интенсивности снимались на установке, смонтированной в Институте Химии

<sup>1</sup> В проведении эксперимента принимала участие Г. Н. Самсокина, которой авторы выражают свою признательность.

281

Силакатов. Съемка производилась на фильтрованном медном излучении. Отсчет углов выполнялся с точностью  $\pm 2'$ . Интенсивность максимумов определялась с точностью до 8%.

Термические кривые снимались по методу В. П. Ивановой и Ф. Я. Биנדюль с применением полярографа СГ-8.

Образцы для съемки инфракрасных спектров поглощения готовились в виде прессованных смесей исследуемого вещества с бромистым калием, играющим роль иммерсионной среды [1]. Описание вакуумной прессформы, примененной в работе, будет опубликовано отдельно. Спектры сняты на однопризменном (NaCl) спектрометре ВИКС-МЗ.

Смешивание гидросиликатов с бромистым калием производилось путем растирания в агатовой ступке последовательно разбавляемых (до 0,1%) смесей.

Бромистый калий высшей очистки (отходы производства призм для спектрометров) предварительно тщательно растирался и просушивался при  $500^\circ\text{C}$  в течение двух часов. Смешивание выполнялось в герметичном ящике, снабженном поглотителями  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ .

### 3. Идентификация гиллебрандита

Слабо дупреломляющие вытянутые кристаллы природного гиллебрандита имели показатели светопреломления  $\text{Ng}_{\text{Na}} = 1,612$  и  $\text{Np}_{\text{Na}} = 1,606$ , совпадающие с данными других авторов [2].

Синтетический гиллебрандит представлял собой иголки со средней длиной 20—25  $\mu$ , в отдельных случаях достигавшей 50  $\mu$ . Для иголок характерно чрезвычайно слабое дупреломление и показатели преломления в пределах 1,601—1,608. Плохо окристаллизованные образцы имеют более низкие показатели преломления (1,597—1,600).

Идентификация гиллебрандита по показателям преломления не является надежной, так как такие же пределы показателей имеют и другие синтетические гидросиликаты:

риверсайдит — 1,600—1,606,  
крестморент — 1,593—1,607,  
фошагит — 1,597—1,605.

Ионизационные кривые (рис. 1) природного и синтетического гиллебрандита имеют различия, выражающиеся в некотором несовпадении положения слабых максимумов (т. е. межплоскостных расстояний). Кроме того, наблюдается неполное соответствие интенсивностей максимумов, которое можно объяснить различием степени совершенства кристаллической решетки и размеров кристаллов.

282

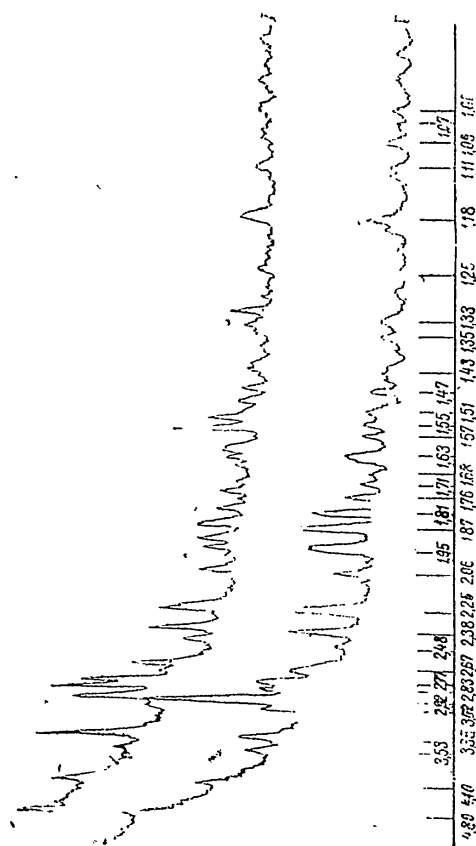


Рис. 1. Рентгеновские интенсивностные кривые гиллебрандита: I — природного гиллебрандита (Мехика, Дуранго) II — синтетического гилебрандита.

283

Присутствие гиллебрандита в смесях с другими гидросиликатами может быть обнаружено по наличию нескольких характерных для него максимумов:

$d^1)$	$I$
3,32—3,35	ср.
3,00—3,02	о. о. с.
2,90—2,93	о. с.
2,80—2,83	о. с.
2,76—2,79	с.
1,80—1,81	с.

где с. — сильный, о. с. — очень сильный, о. о. с. — очень очень сильный, ср. — средний.

Самый сильный максимум, соответствующий  $d = 2,92$ , характерен не только для гиллебрандита, но и для целого ряда других гидросиликатов, на рентгенограммах которых этот максимум является также сильным (фоназит,  $10 \text{ \AA}^2$ ) — гидрат, трехкальциевый гидросиликат).

Кривые дифференциального термического анализа синтетического и природного гиллебрандита показывают, что в температурном интервале примерно  $550-650^\circ\text{C}$  протекает эндотермическая реакция.

Инфракрасный спектр поглощения гиллебрандита представлен на рис. 2.

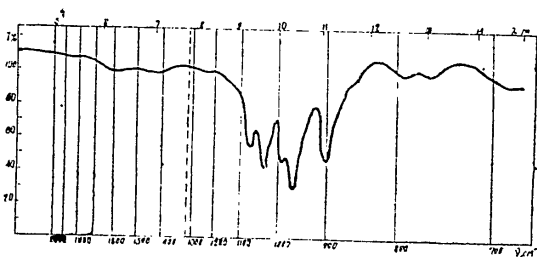


Рис. 2. Спектр поглощения гиллебрандита (Мексика, Дуранго), запрессованного в (KBr); весовая концентрация  $\zeta = 0,1\%$ ; толщина =  $1,38 \text{ мм}$ . В пучке сравнения таблетка чистого бромистого калия.

Частоты в максимумах поглощения синтетических и природных образцов в пределах погрешностей измерения совпадают. Распределение интенсивности в полосах поглощения

<sup>1)</sup> Пределы значений  $d$  взяты из данных различных авторов. Наши данные укладываются в указанные пределы.

<sup>2)</sup> Базальное межплоскостное расстояние.

синтетических образцов не вполне стабильно. Разрешенные максимумы поглощения характеризуется следующими частотами: 898, 969, 987, 1017, 1031, 1074  $\text{см}^{-1}$ . При  $940 \text{ см}^{-1}$  наблюдается точка перегиба.

Кроме указанных полос в спектре гиллебрандита имеются максимумы при 762, 789 и  $854 \text{ см}^{-1}$ , положение которых меняется от образца к образцу. Точка перегиба при  $\nu = 877 \text{ см}^{-1}$  отражает наличие небольшой примеси  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4. Идентификация ксонотлита

Природный ксонотлит, волокнистый минерал, в поле зрения микроскопа выглядит в виде вытянутых двупреломляющих кристаллов с показателями преломления  $N_{\text{Ng}} = 1,594$  и  $N_{\text{Np}} = 1,583$ .

Синтетический ксонотлит имеет форму мелких двупреломляющих иголок длиной 5—10  $\mu$ . Его показатели преломления находятся в пределах  $1,573-1,588$ , меняющихся в зависимости от степени совершенства кристаллической решетки продукта.

На рис. 3 представлены позиционные кривые природного и синтетического ксонотлита. Положения максимумов на указанных кривых совпадают.

По литературным данным [3, 6] наблюдается некоторое несоответствие рентгенографических характеристик ( $d$ ,  $I$ ) природного и синтетического ксонотлита. По этим данным рентгенограммы синтетического ксонотлита обычно содержат дополнительные неидентифицированные максимумы. Некоторые авторы указывают, что синтетический ксонотлит не удается получить однородным.

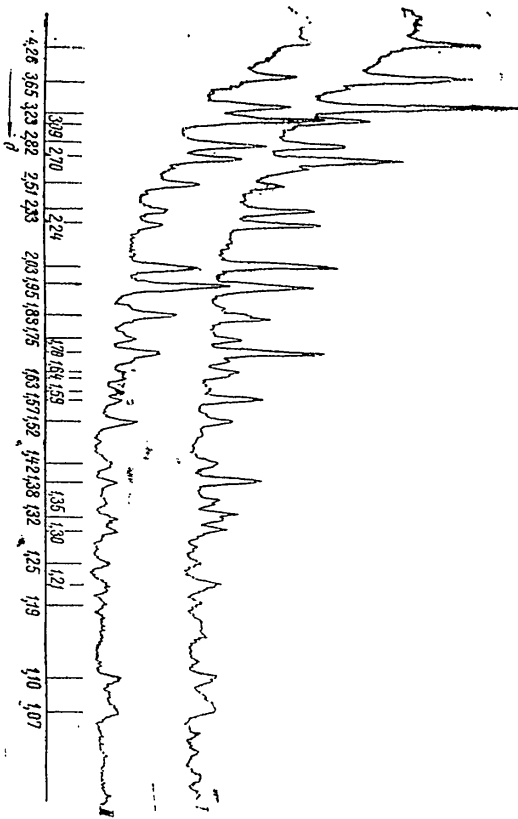
В данном случае это не подтвердилось.

Наблюдаемое неполное соответствие интенсивностей максимумов синтетического и природного ксонотлита может быть связано не только со степенью совершенства кристаллической решетки и размерами зерен, но и со способностью образца давать текстуру. Иголки ксонотлита вытянуты в направлении с. Они способны принимать определенную ориентацию.

Следующие значения межплоскостных расстояний ксонотлита можно рекомендовать в качестве основных при его идентификации (взяты из данных различных авторов):

$d$	$I$
3,61—3,65	с.
3,22—3,26	от ср. до о. с.
3,07—3,10	от ср. до о. с.
2,82—2,85	от ср. до с.
2,02—2,04	с.
1,93—1,96	от ср. до с.

Рис. 3. Интенсивность поглощения рентгеновские поперечные кривые интенсивности: I — природного ксонолита (Южная Осетия), II — синтетического ксонолита.



На термической кривой ксонолита наблюдается одна эндотермическая остановка в температурном интервале 775—850°C, обязанная удалению конституционной воды. Спектры поглощения природного и синтетических образцов ксонолита идентичны (рис. 4). Средние и сильные по-

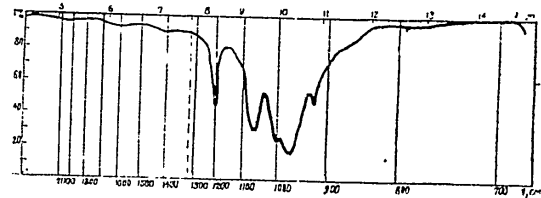


Рис. 4. Спектр поглощения ксонолита (Ю. Осетия), запрессованного в (КВЧ);  $\epsilon=0,1\%$ ; толщина=1,40 мм. В пучке сравнения таблетка чистого бромистого калия.

госятся в диапазоне 700—2000  $\text{см}^{-1}$  имеют следующие максимумы поглощения: 927, 977, 1005, 1070 и 1198  $\text{см}^{-1}$ . Кроме того, различаются не вполне разрешенные полосы приблизительно при 909, 927 и 1124  $\text{см}^{-1}$ .

#### 5. Идентификация гидросиликатов кальция в смесях

а) На практике (в твердеющих цементах и в автоклавных продуктах) образуются системы сложного состава, включающие гидросиликаты кальция с разнообразным содержанием окислов  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ .

Имея в виду указанные обстоятельства, мы приводим табл. \* 1 межплоскостных расстояний и интенсивностей гидросиликатов кальция, могущих встретиться в твердеющих цементах и автоклавных продуктах.

Метод термического анализа при идентификации многокомпонентных систем гидросиликатов кальция может быть использован только как вспомогательный, так как температурные пределы эндотермических реакций многих гидросиликатов кальция очень близки, например:

гиллебрандит	~550—650°C,
фоцагит	~700°C,
ксонолит	~775—800°C,
$\alpha$ -гидрат	~500°C,
тоберморит (образование $\beta\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )	~800°C,

\* Данные приводятся в основном по Челаеру и Тейлору [7].



афвиллит (образование  $\gamma\text{-}2\text{CaOSiO}_2$ )—550°C  
 Кристаллооптический метод также не может играть решающей роли при расшифровке смесей гидросиликатов кальция.  
 В некоторых случаях об исходных гидросиликатах можно судить по продуктам прокаливания. Приводим таблицу силикатов кальция и температуры их образования при прокаливании различных гидросиликатов кальция.

Таблица 2

№№ п.п.	Исходный гидросиликат кальция	Образующийся при прокаливании силикат кальция	Температура образования силиката кальция
1	Гиллебрандит и $\beta$ -двухкальциевый гидросиликат	$\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	550°C и выше
2	Ксоноглинг [9, 10] Афвиллит [11, 12]	$\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$	775—800°C
3		$\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	550°C
		$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1000°C
4	Тоберморит <sup>1)</sup> [13]	9,35 Å <sup>2)</sup> - гидрат	300—700°C
5	CSH (I) [14]	$\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$	~800°C
6		$\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$	~750—800°C
7		$\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\alpha\text{-двухкальциевый гидросиликат}$ [15]	~700°C
		$\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	~500°C

б) Опыт молекулярно-спектрального определения гидросиликатов кальция в смесях проведен нами на примере двойной смеси гиллебрандита и ксоноглинта.

Условие осуществимости количественного молекулярно-спектрального анализа смесей порошковых веществ является выполнение той или иной, но непременно однозначной зависимости между оптической плотностью D и произведением концентрации с данного вещества в образце на толщину образца l. В последнее время появились работы [16—18], в

1) Образцы тоберморита различных происхождений ведут себя поразительно. Природный переходит в  $\beta\text{-CaO} \cdot \text{Si}_2\text{O}_7$  без промежуточного образования 9,35 Å-гидрата; слабо окристаллизованные синтетические образцы переходят сначала в 9,35 Å-гидрат, при ~600° появляется безводный продукт  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (ларнит). Ларнит при более высокой температуре переходит в  $\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$  в препаратах с низким содержанием извести (Ca: Si < 1,2, примерно) и в  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$  в образцах с высоким содержанием извести (Ca: Si ≈ 1,2—1,4).  
 2) Базальное межплоскостное расстояние.

Таблица 1

№№ п.п.	Название минералов	Состав	Значения d н l	
Тоберморитовая группа (CSH I <sup>1)</sup> )				
1	14 Å <sup>2)</sup> - гидрат (имомобилерит)	$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ $x = 0,8-1,5$	1,40 о. о. с.	3,07 о. с.
2	11 Å <sup>2)</sup> - гидрат (тоберморит)	$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,0$ или $2,5\text{H}_2\text{O}$	1,10 о. с.	3,07 о. с.
3	10 Å <sup>2)</sup> - гидрат	$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,00 о. с.	3,05 о. с.
4	9 Å <sup>2)</sup> - гидрат (римерсайлинг)	$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	9,67 с.	4,83 с.
5	Ксоноглинг <sup>2)</sup>	$\text{Ca}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})_2(\text{OH})_2$	3,09 с.	2,03 с.
6	CSH (A)	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,19 о. с.	2,23 с.
7	Афвиллит	$\text{Ca}_9(\text{Si}_9\text{O}_{27})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	6,8 с.	2,84 о. с.
8	Фошагит	$4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6,8 с.	2,92 о. с.
9	Двух - или тетра-гидрат двухкальциевого силиката	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2-4\text{H}_2\text{O}$	9,8 о. с.	3,07 о. с.
10	Двухкальциевый гидросиликат (A - или $\gamma$ - гидрат)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,22 о. с.	3,27 о. с.
11	Тригидрат <sup>3)</sup>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,80 с.	3,35 о. с.
12	Двухкальциевый гидросиликат (B - или $\beta$ - гидрат)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,74 о. с.	2,90 о. с.
13	Двухкальциевый гидросиликат (C - или $\gamma$ - гидрат)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3-1,0\text{H}_2\text{O}$	3,01 о. с.	1,91 о. с.
	Трехкальциевый гидросиликат	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	8,6 о. с.	3,26 с.
				3,01 о. с.

1) C - CaO; S = SiO<sub>2</sub>; H = H<sub>2</sub>O.  
 2) Базальное межплоскостное расстояние.  
 3) Наши данные.  
 4) Данная формула взята из новейшей работы по исследованию фошагита [8].

которых показано, что оптическая плотность в максимуме полосы поглощения порошкового образца с заданными  $c$  и  $l$  возрастает по мере уменьшения линейных размеров ( $a$ ) его зерен. Начиная со значений  $a$ , которые на порядок меньше длины волны в интервале полосы поглощения, наступает насыщение зависимости  $D(a)$ . При этом ослабление потока лучистой энергии в образце вызывается в основном резонансным поглощением и, в малой степени, рассеянием, обусловленным рефракцией света на зернах порошка. Применение иммерсии уменьшает рефракцию, а вместе с ней и нерезонансные потери излучения. Имея в виду эти обстоятельства, мы применили твердонмерсионные образцы-прессовки в щелочно-галонидной (KBr) среде, в которых зерна определяемых веществ имели размеры  $a \approx 2 \mu$ . В качестве „аналитических“ максимумов были выбраны максимумы поглощения при  $898 \text{ см}^{-1}$  (I) и  $1200 \text{ см}^{-1}$  (II). Частота I соответствует острой полосе поглощения гиллебрандита; частота II — полосе ксонотлита. Наложение спектров компонентов анализируемой смеси в этих точках невелико.

В табл. 3 сравниваются значения заданной концентрации ксонотлита в бинарной смеси с экспериментальными величинами, вычисленными по измеренным значениям  $D$  в точках I и II.

Вычисление сделано в предположении, что закон Ламберта — Бера в данном случае выполняется.

Таблица 3

№№ опытов	Концентрация ксонотлита в прессовке, %	Концентрация гиллебрандита в прессовке, %	Оптическая плотность $D$		Толщина прессовки в мм	Концентрация ксонотлита в бинарной смеси		$\Delta \bar{C} = \bar{C} - \bar{C}_0$ (%)
			$\nu = 1200 \text{ см}^{-1}$	$\nu = 898 \text{ см}^{-1}$		заданная $\bar{C}_0$ (%)	экспериментальная $\bar{C}$ (%)	
1	—	0,10	0,060	0,384	1,38	—	—	—
2	0,04	0,12	0,200	0,552	1,40	25	21,3	-3,7
3	0,125	0,375	0,824	2,600	1,38	25	22,0	-3,0
4	0,1	0,1	0,414	0,550	1,39	50	48,5	-1,5
5	—	0,0	0,356	0,142	1,40	100	100,0	—

Из приведенных данных следует, что в пределах погрешностей эксперимента заданные значения концентрации совпадают с измеренными и, следовательно, закон Ламберта — Бера для порошковых смесей указанного рода действительно применим. Этим очень упрощается методика молекулярно-спектрального анализа смесей силикатов.

290

Ксонотлит и гиллебрандит, несмотря на наличие гидроксил-групп в их структуре, не обнаружили тенденции к химическим или ассоциативным взаимодействиям с щелочно-галонидной средой. Это обстоятельство позволяет думать, что бромистый калий окажется достаточно инертным и по отношению к другим силикатам.

Пригодность инфракрасных спектров поглощения для идентификации гидросиликатов может быть предсказана для смесей, компоненты которых отличаются строением кремнекислородных анионов. Это вытекает из закономерности, наблюдаемой в спектрах силикатов: границы и ширина интервала, заключающего в себе полосы валентных колебаний связей Si—O зависят от структуры агрегатов, построенных из кремнекислородных тетраэдров [19].

Гидросиликаты могут быть идентифицированы даже в смеси с однопипными соединениями, отличающимися друг от друга характером гидратации.

Отметим, что чувствительность анализа, проводимого при помощи инфракрасного спектра поглощения, не зависит от агрегатного состояния вещества. В этом его преимущество перед рентгенофазовым анализом, нечувствительным к наличию вещества, находящегося в аморфном состоянии.

### Выводы

1. Основным методом идентификации гидросиликатов кальция в смесях этих соединений следует считать рентгенофазовый анализ. В тех случаях, когда этот метод не дает однозначных результатов, могут дополнительно применяться кристаллооптический и термический методы анализа.

Полезным дополнением к указанным методам является исследование продуктов прокалывания анализируемых гидросиликатов.

2. Показана возможность применения инфракрасных спектров поглощения для количественного анализа смесей двух гидросиликатов кальция — гиллебрандита и ксонотлита. Этот вывод может быть распространен на смеси других силикатов, отличающихся составом и строением кремнекислородного аниона и, в частности, наличием в анионе гидроксил-групп.

### Литература

1. Smitson M. M., O'Donnell M. T. J. Am. Chem. Soc., 74, 1805, 1952.
2. Heller L. Miner. Mag., XXX, № 221, 1953.
3. Heller L. and Taylor, H. F. W. J. Chem. Soc., № 9—10, 1397—2401, 1951.

291

4. Reinhard, Brandenberger and Oesterheld. *Helv. Chim. Acta*, 25, 336, 1942.
5. Clark and Bunn, *J. Soc. Chem Ind.*, 59, 155, 1940.
6. Flint E. P., McMurdie H. F. and Wells L. S., *J. Ses. NBS*, 21, 617, 1147, 1938.
7. Heller L. and Taylor H. F. W. *Crystallographic Data for the Calcium Silicates*, London, 1956.
8. Gard J. A. and Taylor H. F. W. *Am. Miner.*, 48, № 1-2, 1-15, 1958.
9. Торопов Н. А., Никогосян Х. С., Бойкова А. И. Труды V-го совещания по экспериментальной и технической минералогии и петрографии 1958.
10. Dent L. F. and Taylor H. F. W. *Acta Cryst.*, 9, 1002, 1956.
11. Moody K. M. *Miner. Mag.*, 29, 216-219, 838, 1952.
12. Taylor H. F. W. *Acta Cryst.*, 8, 440, 1955.
13. Taylor H. F. W. *Acta Cryst.*, 10, 12, 767, 1957.
14. Greenberg F. A. *J. Phys. Chem.*, 58, № 4, 362, 1954.
15. Heller L. *Acta Cryst.*, 5, 6, 724-728, 1952.
16. Primas, H. Gunthard H. H. *Helv. Chim. Acta*, 37, 360, 1954.
17. Dnyckaerts G. *Spectrochim. Acta*, 7, 25, 1955.
18. Rohnome J. *Spectrochim. Acta*, 7, 32, 1955.
19. Launer P. *J. Am. miner.*, 37, 764, 1952.

И. П. ГВОЗДАРЕВ

Член Государственного Комитета  
по делам Строительства Совета  
Министров СССР

#### Перспективы развития производства автоклавных строительных материалов и изделий

XXI съезд нашей партии признал необходимым осуществить в текущем семилетии крупные мероприятия в области капитального строительства. Достаточно сказать, что объем государственных капиталовложений по сравнению с предыдущим семилетием возрастет в 1,8 раза и выразится в сумме почти два триллиона рублей, а ввод общей площади жилых домов составит 650—660 млн. кв. м или на 100 млн. кв. м больше, чем было построено за 41 год советской власти.

Такая величественная программа под силу только нашему социалистическому государству, только нашему народу, нашей партии, принявшей решение в кратчайший срок покончить с недостатком жилищ в стране, сделать решительный шаг в мирном экономическом соревновании и обеспечить значительное повышение жизненного уровня трудящихся.

Для выполнения семилетнего плана необходимо резко увеличить производство эффективных строительных материалов и конструкций для того, чтобы обеспечить дальнейшую индустриализацию строительства, сократить сроки, снизить трудоемкость и его стоимость.

Этим условиям полностью отвечают изделия с применением автоклавной обработки, являющейся одним из наиболее прогрессивных направлений в технологии современных строительных материалов.

Автоклавный способ позволяет использовать для производства разнообразных высококачественных изделий не только такие широко распространенные виды сырья, как

кварцевый песок и суглинок, но и золу пылевидного сжигания каменного угля, отвальные металлургические шлаки, сланцевые золы, нефелиновые отходы алюминиевой промышленности и другие материалы.

Это открывает поистине неограниченные возможности для повсеместного производства разнообразных силикатных изделий, крайне необходимых нашему строительству и достичь большой экономии пока еще дефицитного цемента.

Однако, несмотря на явные преимущества автоклавного способа изготовления строительных деталей и конструкций, достигнутый уровень их производства в нашей стране крайне недостаточен и здесь мы еще отстаем от ряда передовых зарубежных стран. Так, например, в США уже много лет облицовочные изделия из асбестоцемента производятся автоклавным способом. В Канаде почти все производство асбестоцементных труб переведено на автоклавную обработку. В Польше, Швеции и Финляндии этим способом производятся в больших размерах легкобетонные стеновые детали на базе извести и т. п.

У нас же в стране, если не говорить о силикатном кирпиче, выпуск которого в 1958 г. составил 4,3 млрд. шт. или около 9 млн. куб. м, выпуск других изделий автоклавного твердения, как-то: ячеистобетонных и силикатных стеновых блоков, армированных блоков и других деталей домов, черепицы, шифера и др. не достиг даже 1 млн. куб. м.

Большие работы, проведенные в области автоклавного твердения материалов научно-исследовательскими организациями Академии строительства и архитектуры СССР, НИИ-200, Московским, Ленинградским и Горьковским инженерно-строительными институтами, Институтом строительства и строительных материалов Академии наук Эстонской ССР, РОСНИИМС'ом и др., а также рядом проектных организаций и многими производственными предприятиями, дали возможность подвести прочную научную базу для широкого развития производства разнообразных строительных деталей и конструкций автоклавного твердения.

Особенно следует подчеркнуть ведущую роль ленинградских ученых, которые уже много лет плодотворно работают над автоклавным производством, неуклонно прокладывая новые пути по дальнейшему совершенствованию его, применительно высокого давления и улучшению строительных качеств изделий.

По далеко неполным данным, масштабы производства сборных деталей и конструкций автоклавного твердения в текущем семилетии в системе республиканской и местной промышленности должны возрасти в 1965 г. примерно до следующих размеров: ячеистобетонных изделий (стеновых блоков, панелей, плит покрытый) до 18—20 млн. куб. м,

294

легкобетонных изделий 4—5 млн. куб. м, строительных деталей и конструкций из бетонов плотной структуры до 14—17 млн. куб. м, кровельного шифера до 1,8 млрд. усл. плиток, облицовочных асбестоцементных листов — 200 млн. усл. плиток, асботруб — 20 тыс. километров.

Всего, включая силикатный кирпич, производство автоклавных материалов в 1965 году должно составить не менее 55—60 млн. куб. м или возрасти против современного производства в 6 раз, причем увеличивается выпуск таких прогрессивных материалов как сборный железобетон и армоцемент.

За это семилетие намечается построить около 150 заводов по производству изделий из ячеистых бетонов годовой мощностью по 180, 90, 60 и 30 тыс. куб. м, свыше 70 заводов легкобетонных деталей годовой мощностью 60 и 120 тыс. куб. м, более 300 предприятий по производству деталей и конструкций и около 40 заводов стеновых блоков из силикатных бетонов плотной структуры, а также десятки заводов по производству шифера, асботруб и др.

По данным проектных организаций и результатам передовых предприятий, наладивших выпуск автоклавных материалов в широких масштабах, эти изделия весьма экономичны. Так, если стоимость квадратного метра стены из обыкновенного красного кирпича составляет 127 руб. при весе ее 1185 кг и трудоемкости 1,66 ч/д, то при применении силикатных блоков стоимость ее снижается до 98 руб. лей, вес до 800 кг, а трудоемкость до 0,46 ч/д.

Еще большие выгоды дают панели из ячеистых бетонов: стоимость 1 кв. м стены из них не превышает 68—70 руб., вес 250 кг, а трудоемкость только 0,17 ч/д. Квадратный метр стены из силикатного кирпича на 25 руб. дешевле, чем из красного кирпича, а трудовые затраты за счет большей механизации производства на заводах меньше на 0,15 ч/д.

Себестоимость кубометра армосиликатных изделий, выпускаемых Лисичанским заводом, в среднем составила около 270 руб., в то время как себестоимость кубометра аналогичных деталей из железобетона с применением порландцемента более 350 руб.

Еще большая разница в стоимости наиболее употребительных деталей:

	армосиликатные	железобетонные
Ребристые плиты	272	460
Многоспустотные плиты перекрытий	180	360
Перемычки	240	385

Подсчитано, что в результате осуществления намеченного развития автоклавных изделий, в 1965 г. будет достигнута экономия денежных средств в размере свыше

295

1,1 млрд. руб., высвобождено на заводах и стройках более 150 тыс. рабочих и сэкономлено почти 5 млн. тонн цемента при значительном уменьшении веса сооружаемых конструкций, что в свою очередь позволит высвободить значительные количества транспортных средств.

Перед работниками научных и исследовательских институтов разворачивается широкое поле деятельности по обеспечению развития производства всех видов автоклавных изделий.

К настоящему времени, в результате совместных усилий научно-исследовательских и проектных организаций, учебных институтов и большого коллектива производственников, решены основные вопросы производства и применения автоклавных изделий. Разработаны технология получения изделий, составы сырьевой массы, методы формования различных изделий, режимы их запарки, номенклатуры и типоразмеры наиболее экономичных конструкций, а также технические условия их применения в строительстве. Выявлено, что силикатный бетон, изготовленный на базе тонкомолотой извести и песка, обеспечивает производство армированных изделий, равноценных по своим строительным свойствам железобетонным, несмотря на то, что они вовсе не требуют дефицитного цемента и дорогостоящего крупного заполнителя. Доказано, что применение несашистого цемента позволяет при автоклавировании асбестоцементных изделий экономить более 40% клинкерного портландцемента и выпускать продукцию высокого качества. Так, Даугеляйский завод Литовской ССР, наладивший производство автоклавного шифера, добился выпуска кровельных листов с механической прочностью на изгиб 200—220 кг/см<sup>2</sup>, с водопоглощением 25—30%, причем брак их составляет только 1,4% или почти в три раза меньше, чем по всей шиферной промышленности в целом. Разработаны типовые проекты заводов и цехов различной мощности, специализированных на выпуск различных сборных деталей и конструкций с автоклавным способом производства как для промышленного, так и для жилищного строительства и в том числе для выпуска полного комплекта деталей для сооружения жилых домов различной этажности только из силикатных масс.

Однако не меньше работы еще впереди.

В первую очередь надо добиться максимального сокращения длительности цикла запаривания изделий, широко внедрить использование пара повышенного давления до 12—16 атм, путем замены прокладок работающих автоклавов на более термостойкие и оснащения новостроящихся предприятий автоклавами на 16 атм различных диаметров, производство которых должно быть организовано машиностроительной промышленностью.

Это даст возможность повысить производительность автоклавов и, следовательно, увеличить выпуск продукции не менее чем на 25—30%. Повышение давления особенно эффективно для армированных изделий, поскольку оно дает возможность резко повысить прочностные показатели изделий.

Надо стремиться к максимальному облегчению выпускаемых изделий при одновременном повышении их механической прочности, уменьшению толщины стеновых блоков, решительно переходить к изготовлению наиболее эффективных тонких стеновых панелей, к сокращению расхода извести.

В области ячеистобетонных изделий необходимо решить вопросы, связанные с применением „резательной“ технологии, разработать способы изготовления легких ячеистых бетонов с объемным весом 500—600 кг/м<sup>3</sup> высокой прочности и морозостойкости, изучить методы гидрофобной защиты наружных конструкций зданий.

В области силикатных материалов плотной структуры необходимо исследовать возможность распалубки изделий до автоклавной обработки, изучить вопросы производства напряженно-армированных изделий, продолжить исследования строительных свойств армированных силикатных изделий: деформативность, поведение стальной арматуры в условиях повышенной влажности и др.

В области легкобетонных изделий должны быть решены вопросы беспалубочного поточного формования изделий, производства стеновых блоков с теплотехническими пустотами, повышающими их эффективность, технологии безцементных легких бетонов и изучения строительных свойств армированных и неармированных изделий из них.

В области асбестоцементных изделий необходимо разработать способ беспрокладочного получения листов шифера при резком сокращении длительности производственного цикла и значительном повышении качества продукции с превращением всего технологического процесса в полностью автоматизированный. Надо усиленно работать над изысканием способов повышения ударной вязкости, повышения механической прочности и снижения влагоемкости изделий.

В связи с тем, что существующая технология имеет ряд недостатков в связи со слабой изученностью химических процессов, происходящих при формовании и автоклавировании изделий, мы не имеем возможности управлять химическими процессами, возникающими при производстве силикатных деталей. Поэтому ближайшей задачей институтов является изучить процесс твердения бетонов из силикатных масс, установить влияние температуры, давления, вибрации и др.

физических факторов и создать управляемый процесс образования силикатных бетонов.

Необходимо в кратчайший срок завершить проектирование, освоение и организацию серийного выпуска специальных видов технологического оборудования и в первую очередь для разрезки ячеистобетонных отливок, для формования пустотелых крупных стеновых силикатных и легкобетонных блоков.

Надо усовершенствовать формовочные агрегаты с целью максимального сокращения ручных операций и устранения вредного действия вибрации на обслуживающий персонал, а также оборудование для тонкого размола песка, разработать машины для конвейерного способа изготовления изделий из ячеистых бетонов, машины непрерывного действия для приготовления ячеистобетонных смесей и создать помольный агрегат часовой производительностью 1—1,5 тонны, способный выпускать продукцию с удельной поверхностью не ниже 3—3,5 тыс./см<sup>2</sup>.

Для того, чтобы быстрее решить все эти задачи научно-исследовательские институты должны решительно вернуться лицом к производству, объединить свои усилия по совместной разработке актуальнейших проблем автоклавного способа производства, не допускать распыления сил и помочь скорейшему внедрению их в производство.

В порядке дружеской критики надо сказать, что как специализированные исследовательские организации, так и кафедры инженерно-строительных институтов до сих пор работают над вопросами автоклавного производства строительных материалов разобщено и слабо помогают производителям при внедрении в промышленность законченных работ.

Так, институт новых строительных материалов Академии строительства и архитектуры СССР и РОСНИИМС РСФСР уже давно разработали технологию получения пено-и газосиликатных изделий без применения цемента, однако и до сих пор промышленность выпускает такие изделия только с добавкой портландского цемента.

Институт РОСНИИМС широко разрекламировал целесообразность повсеместного производства глиносиликата, однако даже единственный завод, построенный специально для этих изделий, работает плохо, и своими небольшими силами уже много времени пытается наладить выпуск качественной продукции, в то время как разрешение вопросов использования суглинков для производства стенового материала имеет большое народнохозяйственное значение.

НИИасбестцемент еще в 1952 г. разработал прогрессивную технологию производства автоклавного шифера,

298

однако не проявил должной настойчивости в широком ее внедрении и по этому способу работает лишь один завод.

Несмотря на то, что переход на автоклавный способ производства асбестоцементных труб позволяет повысить их прочность на внутреннее давление до 20—25 атм., благодаря чему такие трубы могут применяться для устройства газопроводов, до сих пор дело ограничилось только экспериментальными работами на Белгородском комбинате, а газопроводы продолжают сооружаться из металлических труб.

Также много лет назад была разработана РОСНИИМС'ом и институтом Академии наук Эст. ССР технология производства силикатной черепицы, однако выпуск ее производится в крайне незначительных количествах, в то время как цементной черепицы в стране производится сотни миллионов штук, причем на это затрачивается ежегодно 200—300 тыс. тонн цемента.

Эти примеры можно продолжить, но и сказанного достаточно для того, чтобы сделать вывод об отсутствии у научных работников должной заинтересованности во внедрении своих же собственных работ.

Большие задачи, поставленные семилетним планом, при современном стиле работы научных организаций не могут быть успешно решены.

Нельзя считать, что та или иная научная работа закончена написанием отчета или даже защитой диссертации — она должна быть широко внедрена в промышленность. За это надо повести решительную борьбу.

Для скорейшего освоения производства на многочисленных новых заводах целесообразно в одном из научно-исследовательских институтов организовать специальное бюро технической помощи.

Открыть зеленую улицу прогрессивным автоклавным конструкциям и деталям — это значит ускорить строительство, обеспечить выполнение решений XXI съезда КПСС о повышении производительности труда занятых в строительстве рабочих на 60—65% и о снижении стоимости квадратного метра жилой площади на 14%.

Дружными усилиями большого коллектива ученых ВУЗ'ов, работников научно-исследовательских и проектных организаций, машинистроителей и производителей эта задача будет решена.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

П. И. Боженков.	Значение пара высоких параметров для технологии строительных материалов . . . . .	3	Ю. М. Бутт, О. Н. Грачева, Л. Н. Ращкович, А. А. Майер, Д. М. Хейкер, В. А. Тихонов, Л. Г. Шпынова.	Технические свойства синтетических индивидуальных гидросиликатов кальция . . . . .	97
И. Г. Поздняков.	Вопросы оборудования и аппаратура для автоклавной обработки . . . . .	14	В. С. Сальникова.	Влияние тепловлажностной обработки на изменение фазового состава портландцемента	102
Э. Д. Певзнер.	Автоклавные известково-песчаные материалы на высокомагнезиальной извести . . . . .	21	Т. М. Беркович.	Мартеновские шлаки—сырье для производства автоклавных строительных материалов . . . . .	110
К. И. Сасинаускас.	Исследование физико-химических процессов, протекающих на поверхности кварца при гидротермальной обработке силикатных изделий . . . . .	28	З. Н. Ракницкая.	Теоретические основы автоклавной технологии асбестоцементных изделий . . . . .	116
И. А. Хинт.	О режимах рационального запаривания . . . . .	35	Н. А. Калиппа.	Возможности получения изделий типа асбестоцементных на базе отходов асбестодобывающих производств . . . . .	123
А. В. Сатайкиц, О. В. Кунцевич.	Некоторые вопросы технологии „силикатных” материалов . . . . .	42	А. Я. Сляхеев.	Автоклавные материалы на базе местного сырья Кузбасса . . . . .	129
Ю. Н. Желдаков.	Технология производства силикатно-волокнистого шифера—нового автоклавного материала	51	М. С. Шварцзайд, Г. В. Краснова.	Влияние режима запаривания на прочность бетона на нефелиновом цементе . . . . .	135
В. В. Помазков, А. А. Федин.	Вопросы технологии и экономики производства автоклавных силикатных материалов . . . . .	55	А. Ф. Щуров.	Перспективы развития производства сборных деталей и конструкций из автоклавных мелкозернистых бетонов . . . . .	143
Э. Д. Певзнер.	Силикатные и автоклавные изделия на негашеной извести с кремнеземистыми интенсификаторами твердения . . . . .	62	В. И. Скатынский.	Применение высокопрочных мелкозернистых бетонов автоклавного твердения для напряженно-армированных конструкций . . . . .	152
Б. П. Данилов.	Опыт активизации сырьевой силикатной массы посредством варки . . . . .	68	Э. Г. Оямаа, В. А. Рейман.	Исследование деформативности и собственных напряжений силикатных и армосиликатных автоклавных изделий . . . . .	161
Д. И. Чемоданов.	О механизме интенсификации процесса автоклавного твердения известково-кремнеземистых материалов введенном в силикатную массу некоторых растворимых солей . . . . .	74	В. Н. Гусakov.	Основы технологии производства строительных деталей из автоклавного сланцезольно-песчаного бетона . . . . .	172
И. И. Ривлин, Я. Г. Белик.	К вопросу о стойкости силикатного кирпича в условиях естественной карбонизации под землей . . . . .	80	П. И. Боженков, В. И. Кавалерова.	О строительных свойствах силикатного бетона и армированных конструкций из него . . . . .	178
П. И. Боженков, Г. Ф. Суворова.	Автоклавная обработка бетонов при высоких давлениях пара . . . . .	86	Г. В. Геммерлинг, Б. С. Бобров.	О взаимодействии двухкальцевого силиката с добавками CaO и SiO <sub>2</sub> при гидротермальной обработке . . . . .	187
Н. А. Торопов, Х. С. Никогосян, А. И. Бойкова.	Влияние исходного материала на фазовый состав гидросиликатов кальция, полученных при автоклавной обработке . . . . .	92	А. К. Ширвинская.	Феррохромовый шлак в качестве вяжущего автоклавного твердения . . . . .	194
А. В. Волженский.	Об условиях образования и структуре цементующих веществ в автоклавных материалах	93	З. Д. Алексеева.	Исследование жидкой фазы и продуктов гидратации, получающихся при автоклавной обработке силикатов кальция . . . . .	203
			М. С. Сатин	Исследования продуктов, полученных при автоклавной обработке твердых растворов алюмоферритов кальция . . . . .	208
			Л. Г. Гулянова.	О некоторых направлениях развития технологии ячеистых бетонов . . . . .	212
			Т. Т. Троцко.	Микропоритбетон . . . . .	218
				Бесцементный автоклавный крупнопористый силикатбетон . . . . .	222

- В. И. Кавалерова. Влияние поверхностно-активных добавок на прочность малоактивных вяжущих веществ 227
- В. А. Тихонов,  
И. С. Ингульская. Влияние тепловлажностной обработки и поверхностно-активных веществ на механическую прочность различных глиноземистых цементов 233
- В. В. Манжурнет. Автоклавный строительный гипс . . . . . 243
- И. М. Красный. Кассетные формы для автоклавных изделий . 248
- О. П. Мчедлов-Петросян,  
В. И. Бабушкин. Термодинамическое исследование реакций в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  в гидротермальных условиях . . . . . 253
- С. Д. Окороков,  
С. Л. Голынкин-Вольфсон. О составе продуктов взаимодействия трехкальцевого алюмината с кремнеземсодержащими добавками . . . . . 260
- Ю. М. Бутт,  
Л. Н. Рашкович,  
О. Н. Грачева,  
А. А. Майер,  
Д. М. Хейкер. Синтез индивидуальных фаз в системе  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  . . . . . 274
- Н. А. Торопов,  
А. И. Бойкова,  
Я. И. Рыскин. Об идентификации гидросиликатов кальция 281
- И. П. Гвоздарев. Перспективы развития производства автоклавных строительных материалов и изделий 293

*Сборник  
докладов межвузовской  
конференции  
по изучению автоклавных  
материалов*

Редактор *Е. Д. Камушер*  
Техн. ред. *А. Н. Смирнов*  
Корректоры: *А. П. Пожнин*  
*В. В. Родионова*

Сдано в прозв. 1/IV-59 г.  
М-25279 Подп. к печ. 18/IV-59 г.  
Ф. б. 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 19 п. л. уч.-щ 21.  
Тир. 750 экз. Цена 8 руб.

Тип. ЛИСИ. Зак. № 196  
Ленинград, Л-5.  
2-я Красноармейская ул., д. 8.



Цена 8 руб.

Общество по распространению политических и научных знаний РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ДОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОПАГАНДЫ

---

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ** **ЛИСТОК**

---

**№ 17**

**Строительная  
промышленность**

---

Инж. К. А. ГЛУХОВСКОЙ,  
инж. А. Д. ЕФИМОВ,  
инж. М. Л. АВРУТИН

**Применение сборных железобетонных  
напряженноармированных конструкций**

(опыт Строительного треста № 20 в Ленинграде)

Ленинград  
1957

Строительный трест № 20 Главленинградстроя сооружает комбинат строительных деталей. Два ранее построенных здания включаются в состав одного главного корпуса комбината, в конструктивном решении которого впервые в отечественной практике применены сборные железобетонные пространственные напряженно армированные своды-оболочки двойкой кривизны размером  $40 \times 40$  м и бочарные своды-оболочки пролетом 100 м.

В настоящее время закончена сборка и подъем одной свод-оболочки размером  $40 \times 40$  м и собирается вторая.

Кроме того, отделочный корпус комбината также выполняется в новых конструкциях из напряженно армированного сборного железобетона. Такими конструкциями являются: 1) двухветвяные колонны с напряженно армированной решеткой; 2) фермы пролетом 30 м, собираемые из 5 частей, заводского изготовления с напряжением пучковой арматуры в растянутом поясе и крайних, нисходящих раскосах; 3) подкрановые решетчатые балки с напряженной стержневой арматурой.

Эти конструкции разработаны Проектным институтом № 1 Министрства строительства СССР. Тем же институтом были запроектированы и впервые осуществлены в 1955 году на строительстве завода железобетонных изделий № 5 в Ленинграде оболочки размером  $18 \times 18$  м.

#### 1. СБОРНАЯ СФЕРИЧЕСКАЯ СВОД-ОБОЛОЧКА РАЗМЕРОМ $40 \times 40$ МЕТРОВ

Свод-оболочка (рис. 1) состоит из 135 плит 11 типо-размеров и 4 окаймляющих ферм из 12 элементов каждая.

Оболочка обжимается последующим натяжением арматуры, которая закладывается в каналы, устроенные в теле утолщенных плит, заполняющих углы оболочки.

Нижние растянутые пояса, окаймляющие оболочку ферм, также обжимаются последующим натяжением арматуры в виде 12 пучков по 24 проволоки в каждом. Проволока (диаметр 5 мм) изготовлена из высокопрочной стали. Пучки арматуры вводятся при сборке в каналы, устроенные в элементах ферм, и натягаются после замоноличивания стыков нижнего пояса ферм на половину проектного

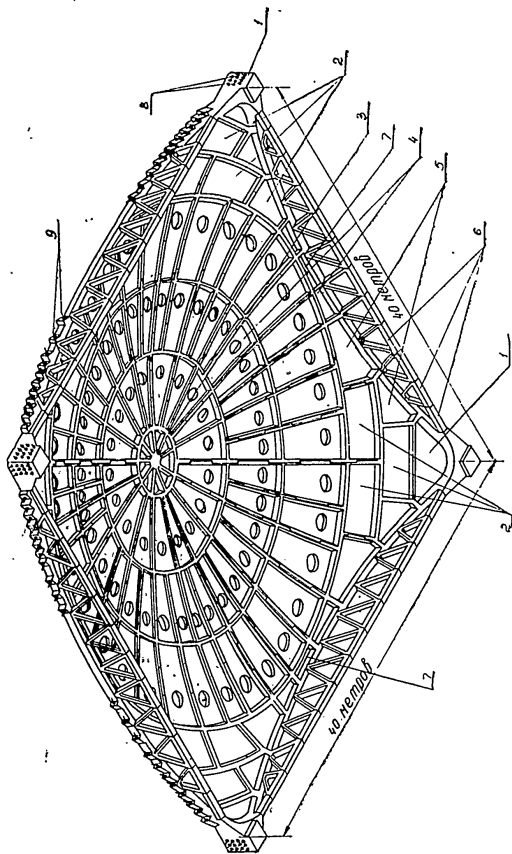


Рис. 1. Схема сборки свода-оболочки размером  $40 \times 40$  м (вид снизу):  
 1—угловые плиты; 2—плиты, заполняющие углы оболочки; 3—центральная плита; 4—радиальные плиты; 5—краевые плиты; 6—плиты простой формы, образующая центральную часть верхнего пояса фермы; 7—концы арматурных пучков в поясах фермы; 8—концы арматурных пучков в углах оболочки плиты; 9—концы арматурных пучков, проходящих в теле заполняющих углы оболочки плит.

натяжения; полное натяжение дается арматуре после замоноличивания оболочки и подъема ее с монтажных лесов на небольшую высоту (раскружаливание).

Плиты свода-оболочки выполнены следующего вида: центральная плита представляет собой кольцо диаметром 5 м с радиальными распорками из ребер высотой 30 см и толщиной 10 см. Пространство между ребрами не заполнено и используется для устройства осветительного и вентиляционного фонаря.

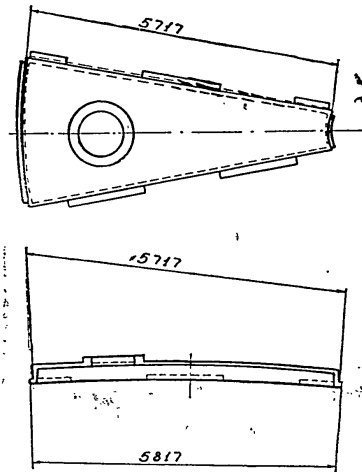


Рис. 2. Рядовая плита оболочки.

Рядовые плиты (рис. 2) образуют три concentрических кольца из трапецевидных секторов со сферической поверхностью. Каждая плита толщиной 5 см окаймлена ребром высотой 30 см и шириной 5 см; для сопряжения между собой боковые поверхности ребер имеют в нижней трети приливы сечением  $10 \times 10$  см, которые входят между приливами примыкающих плит и предотвращают сдвиг между ними. Кроме того, делаются выпуски арматуры в виде концов нижних стержней ребер и петель из арматурной сетки плиты. Плиты, расположенные по краям оболочки, имеют одно уширенное ребро, образующее элемент верхнего пояса фермы. С целью создания монолитного верхнего пояса фермы и соединения его с раскосами фермы, в этих ребрах сделаны отверстия для размещения

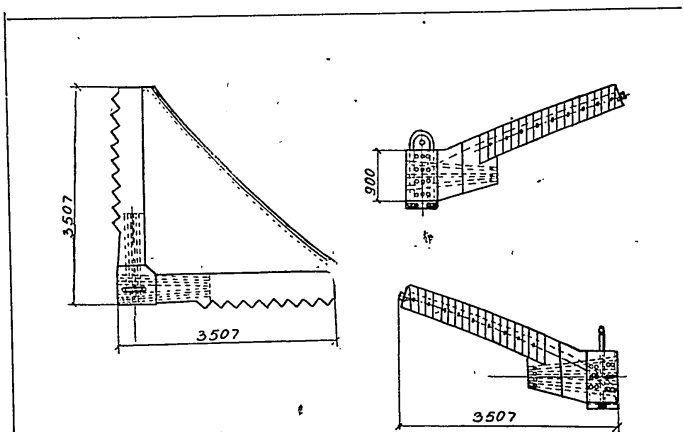


Рис. 3. Угловая плита оболочки.

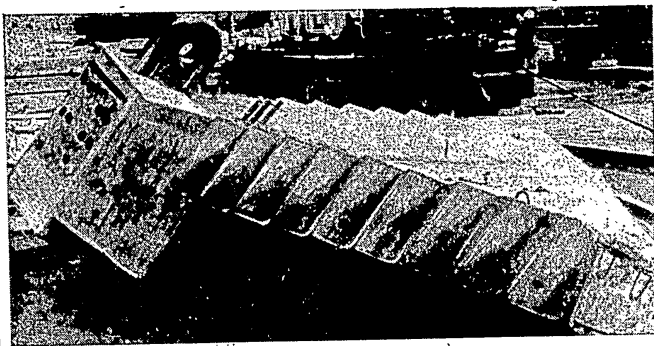


Рис. 4. Угловая плита оболочки с рым-петлей.

выпусков арматуры из примыкающих к нему треугольных элементов фермы.

Конфигурация угловых плит (рис. 3 и 4), наиболее сложная, так как они образуют одновременно угол оболочки и опорные узлы двух сопряженных под прямым углом ферм. Каналы (24 шт.) для лучков ферм пересекаются в теле этой плиты. Для того чтобы компенсировать ослабление плиты пересекающимися каналами, последние выполняются из толстостенных стальных труб (рис. 5), оставаемых в бетоне.

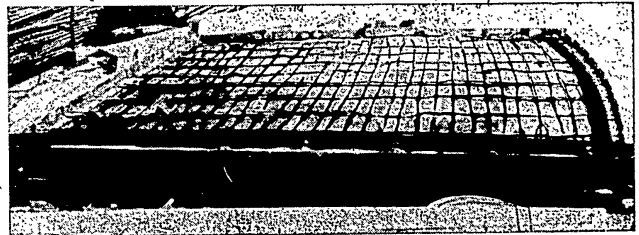


Рис. 5. Железобетонная форма-матрица для изготовления плит, заполняющих углы свода-оболочки.

Фермы, окаймляющие оболочку, помимо верхнего пояса, образуемого краевыми ребрами плит и опорных узлов (угловых плит), состоят из прямых и треугольных элементов, образующих нижний пояс и решетку фермы. В нижнем поясе расположено 12 каналов диаметром 65 мм для пропуска пучков напрягаемой впоследствии арматуры. Сечение нижнего пояса —  $30 \times 40$  см. Каналы в поясах двух противоположных ферм расположены в три горизонтальных ряда по 4 канала, а в поясах двух других ферм (перпендикулярных первым) — в 4 ряда по 3 канала в каждом ряду для того, чтобы пучки в угловых плитах пересекались в разных плоскостях, сохраняя центровку натяжения.

#### Изготовление элементов оболочки

Так как вес каждой плиты, кроме угловых, не превосходит 4 т, то изготовление плит было организовано на полигоне в зоне действия башенного 5-тонного крана.

Плиты простейшей формы (см. рис. 1) — центральная плита 3 (1 шт. на оболочку) и 4 плиты, образующие центральную часть верхнего пояса фермы 7, были изготовлены в обычных деревянных формах. Остальные плиты 9 типоразмеров изготавливались в железобетонных матрицах-формах (рис. 6).

Такие железобетонные матрицы позволяют с относительно небольшими затратами создать сложную по конфигурации, жесткую неизменяемую форму изделия и имеют многократную оборачиваемость.

**Изготовление матриц.** Вначале на механическом заводе были изготовлены металлические борты с криволинейными краями, выполненными в соответствии со сферической поверхностью плит; эти края использовались как направляющие для шаблона при изготовлении сферической поверхности матриц. К металлическим бортам прикреплялись деревянные детали, соответствующие по размерам железобетонным ребрам плиты.

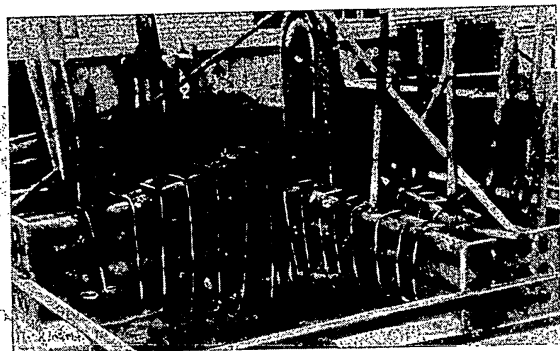


Рис. 6. Стальные трубы-каналы и рым-петли, закладываемые в угловые плиты оболочки.

После сборки бортов деталями из дерева, в свободное пространство устанавливались деревянные ящики, создающие внутренние полости для уменьшения веса матрицы и экономии бетона. К этим полостям были подведены трубы для подогрева матриц паром, укладывалась арматура и бетон. Поверхность бетона выравнивалась дугообразным шаблоном, опирающимся на металлические борты. Через 2—3 часа поверхность матрицы железнилась, затем матрица накрывалась брезентом и подогревалась паром в течение 12 часов. Пар подавался во внутренние полости матрицы. После снятия бортов боковые поверхности матрицы подвергались шлифовке и шпаклевке. Затем, после высыхания шпаклевки, обработанные поверхности смазывались несколько раз раствором парафина в соляровом масле. Деревянные части на металлических бортах были заменены элементами формы, создающими выступы по краям плит, отверстия и прорези для выпусков арматуры.

Изготовление плит оболочки в матрицах заключается в сборке форм, укладке арматуры и бетонировании. Бетон в ребра укладывается с помощью глубинного вибратора типа И-21, в плиту — поверхностным площадочным вибратором; сферическая поверхность плиты выравнивается дугообразной рейкой, направляемой бортами матрицы. Забетонированные изделия накрываются полотном и прогреваются паром в течение 12—16 часов, после чего снимаются борта формы; готовая плита отрывается от формы четырьмя переносными домкратами и снимается с матрицы краном для укладки в штабеля.

Плиты, имеющие каналы для пропуска пучковой арматуры последующего натяжения, формируются так же, как описано выше, с той лишь разницей, что перед бетонированием в форму укладываются для образования каналов резиновые трубки, которые удаляются из изделия через 3—4 часа после укладки бетона. При длинных каналах извлечение резиновых трубок требует значительных усилий, что грозит их обрывом. Во избежание этого резиновые трубки укладываются из двух кусков, соединенных посередине плиты муфтой из кровельной стали, и извлекаются, после бетонирования с двух сторон. При укладке трубок на них надеваются металлические тройники, которые после извлечения резиновых трубок остаются в канале. Через тройники осуществляется и контролируется инъекция раствора в каналы после натяжения арматуры.

В угловые плиты, помимо резиновых трубок для каналов, закладываются еще очень сложные закладные части — стальные трубы для пучков арматуры нижнего пояса ферм и рым-петли из стали диаметром 80 мм для подъема всей оболочки (см. рис. 5). Положение закладных частей тщательно проверяется и закрепляется сваркой между собой, после чего бетонирование этих плит осуществляется, как и обычных плит. Частое расположение труб, образующих каналы, требует от рабочих особого внимания при укладке бетона.

Оболочка имеет 4 фермы, состоящие из элементов 6. типа-размеров; изготовляются эти элементы в деревянных формах. Изготовление их осложняется необходимостью устройства 12 каналов в элементе нижнего пояса, так как промежутики между каналами составляли всего 20 мм.

Каналы образуются закладываемыми в форму стальными трубами с надетыми на них тройниками, служащими для последующего инъектирования в них раствора. Патрубки тройников выводятся наружу. Бетон укладывается послойно, а трубы устанавливаются по мере бетонирования. После бетонирования трубы несколько раз поворачиваются через каждые полчаса, а через 4 часа извлекаются с помощью ручной полутонной лебедки. Ускорение твердения бетона элементов ферм осуществляется пропариванием: элементы ферм покрываются брезентом, под который подается пар.

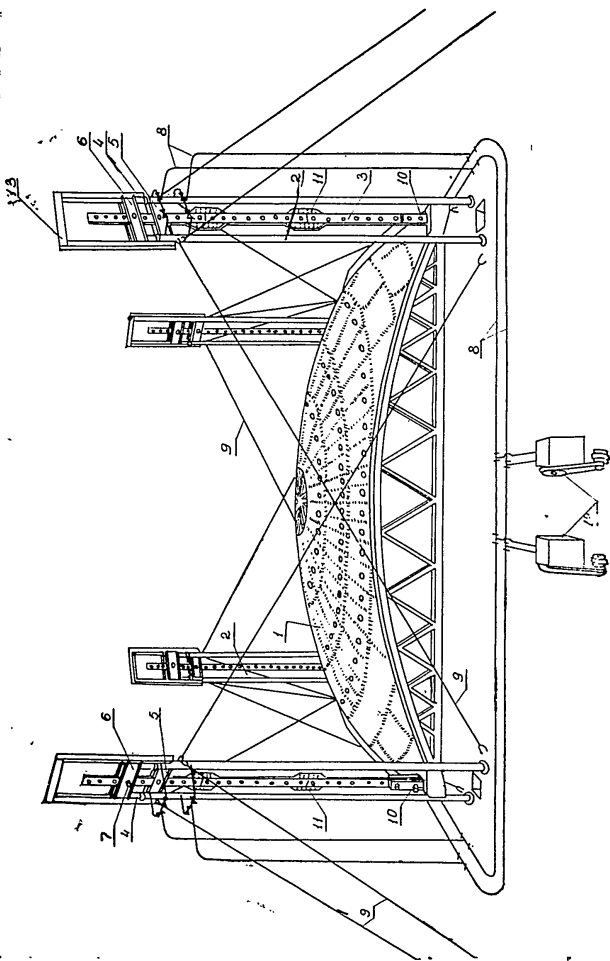


Рис. 8. Оборудование и схема подъема оболочки:  
 1—сплошная оболочка размером 40×40 м; 2—спаренные трубчатые мачты ленточных подъемников; 3—стальные ленты с отверстиями; 4—гидравлические домкраты грузоподъемностью 170 т; 5—неподвижные траверсы с отверстиями; 6—подъемные траверсы с отверстиями (надкратные балки); 7—штырь крепления лент к траверсам; 8—маслопроводы; 9—ванты; 10—крепление лент к оболочке; 11—стык ленты; 12—центральная масляная насосная станция; 13—портал для демонтажа ленты.

Подъем оболочки производился восемью домкратами (грузоподъемностью 170 т каждый) на высоту 40 см (40 см — шаг отверстий в ленте) путем подъема траверс с лентами, к которым подвешена оболочка. После этого в отверстия ленты и неподвижной траверсы вводится стержень, воспринимающий вес оболочки. Стержень из подвижной траверсы вынимается. Домкраты опускаются вместе с подвижной траверсой: стержень, удерживавший ленту у верхней траверсы, переставляется ниже в отверстия подвижной траверсы и ленты и подъем домкратами повторяется. Оболочка первоначально поднимается выше проектного положения, а после установки колонн на фундаменты и закрепления их, опускается и устанавливается на колонны (рис. 9). Лента подъемника сечением

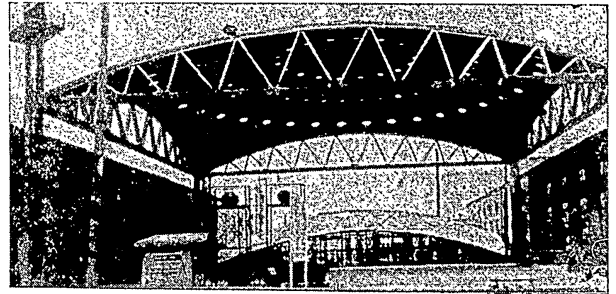


Рис. 9. Оболочка поднятая в проектное положение.

50 × 400 мм делается составной для того, чтобы по мере подъема можно было демонтировать освободившуюся часть ленты с целью предохранения ее от изгиба. Для демонтажа ленты на подъемниках предусмотрены специальные порталы 13.

Во избежание перекосов оболочки во время подъема, помимо устройства общих маслопроводов 8 от центральной насосной станции 12 от каждого подъемника была устроена сигнализация к пульту управления, показывающая высоту подъема каждой траверсы в пределах шага ленты с точностью до 2 см. В случае более значительных отклонений уровня углов оболочки скорость хода отдельных домкратов регулировалась открытием или закрытием вентилей маслопроводов. Подъем оболочки выше проектного положения, установка колонн и опускание на них оболочки продолжалось 11 часов. Все оборудование для подъема было запрокинуто и изготовлено трестом «Стальмонтаж-5» с использованием серийно изготовляемых домкратов, а подъем осуществлен управлением № 453 указанного треста.

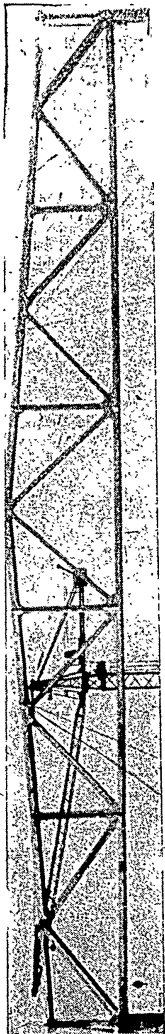


Рис. 10. Сборная железобетонная ферма пролетом 30 м с напряженной арматурой.

## II. СБОРНАЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ ФЕРМА ПРОЛОТОМ 30 м С НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ

Ферма (рис. 10) полигонального очертания пролетом 30 м собирается из пяти элементов. Объем каждого элемента около одного кубометра.

Элемент представляет собой отрезок фермы длиной 6 м, состоящей из одной панели нижнего пояса, двух панелей верхнего пояса и элементов решетки.

Элементы фермы изготавливаются из бетона марки 400 в металлических формах. При бетонировании в нижнем поясе устраиваются каналы для пропуска пучковой арматуры из высокопрочной проволоки. Каналы образуются путем закладки в определенные места формы стальных труб и извлечения их после схватывания бетона. В концевых элементах, помимо каналов в нижнем поясе, устраивается канал в растянутом раскосе. В средних панелях фермы в нижнем поясе проходят три пучка. В крайних панелях два пучка доводятся до опоры фермы, а третий пучок от узла крайней панели отводится в растянутый раскос.

Фермы собираются на земле вблизи монтажа с помощью специальных кондукторов, удерживающих их в вертикальном положении; в каналы протягиваются пучки арматуры и стыки между элементами фермы замоноличиваются цементным раствором марки 400. Во избежание попадания раствора в каналы для пучков, последние защищаются укладкой в стыки патрубков из кровельной стали. Помимо замоноличивания, верхний пояс секций ферм соединяется путем сварки металлических закладных планок.

По достижении раствором замоноличивания проектной прочности производится натяжение пучков с помощью гидравлического домкрата, упираемого в тело фермы, и закрепление их концов в натянутом состоянии гайками. После

этого производится заполнение каналов с пучками цементным раствором путем накачивания его в каналы через специальные тройники, заложенные в бетон при изготовлении элементов. Помимо тройников, для контроля заполнения швов раствором в концевых шайбах под гайками также имеются отверстия, появление раствора в которых подтверждает заполнение шва.

Общий вес фермы — 13 т. Расход стали на одну ферму составляет 1080 кг, в том числе высокопрочной — 310 кг. Фермы устанавливаются на колонны пусенным краном-экскаватором с помощью специальной траверсы и раскрепляются в торцах железобетонными распорками, а по верхнему поясу — путем приварки к закладным частям кровельных железобетонных ребристых настилов размером  $6 \times 1,5$  м.

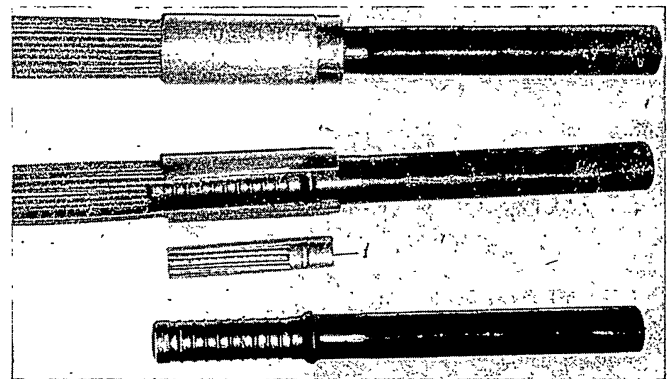


Рис. 11. Обжатые концы пучков. На вырезанной части гильзы I видны отпечатки обжатых проволок.

## III. ЗАГОТОВКА АРМАТУРНЫХ ПУЧКОВ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

Для армирования свода-оболочки  $40 \times 40$  м и сборных железобетонных ферм пролетом 30 м заготавливаются пучки арматуры из высокопрочной стальной проволоки (предел прочности  $17\ 000\ \text{кг/см}^2$ ) диаметром 5 мм. Пучки применяются двух типов: 1) с малым количеством проволок (5 и 10 проволок) для обжатия плит, заполняющих углы оболочки и 2) с большим числом проволок (по 24 проволоки в пучке, рис. 11) для нижних поясов ферм оболочки.



Заготовка малых пучков сводится к правке проволок на правильноотрезном станке и связыванию нарезанных проволок в пучки вязальной проволокой. Натяжение и заанкеривание этих пучков в конструкции осуществляется с помощью двухпоршневого домкрата, корпус которого упирается в торец конструкции путем натяжения проволок ходом одного поршня и заклинивания проволок пробкой в конической втулке ходом второго поршня домкрата.

Большие пучки заготавливаются путем обжатия выправленных проволок гильзой вокруг стального нарезанного стержня (рис. 12),

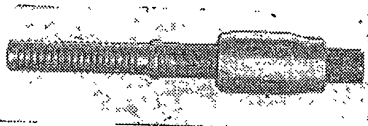


Рис. 12. Стержень и гильза для образования конца арматурного пучка.

образующего конец пучка, к которому крепится натяжной домкрат и гайка, фиксирующая лучок в натянутом положении. Для заготовки этих пучков создано оборудование специального станда (рис. 13). Бухты проволоки устанавливаются на катушки с тормозами. Концы проволок от каждой катушки протягиваются через отверстия в стальной плите 2 и правилку 3, приводимую во вращение электромотором 4. После этого проволоки пропускаются через отверстия ножниц 5, представляющих собою два стальных каленых диска с отверстиями, один из которых поворачивается относительно другого с помощью электропривода 6 и перерезает все пропущенные через отверстия проволоки в одном месте.

После протяжки проволок через ножницы, концы проволок заправляются в кольцевое пространство между стержнем 7 и гильзой 8. Конец стержня прикрепляется к полному штоку поршня 13 гидравлического цилиндра 14, развивающего тяговое усилие до 80 т; гильза протягивается за стержень вместе с уложенными проволоками сквозь стальное коническое кольцо 9.

При протяжке гильзы из мягкой стали через кольцо металл гильзы деформируется и обжимает каждую проволоку вокруг рифленого конца стержня и удерживает проволоки с силой, превосходящей их прочность. Когда один конец всех проволок обжат, стержень освобождается от гидравлического цилиндра и сквозь полный шток прикрепляется к тросу 16 лебедки 18.

Лебедка вытягивает все проволоки через вращающуюся правилку и ножницы на заданную длину пучка; проволоки пучка связываются для того, чтобы после обрезки они не перепутывались; все проволоки отрезаются ножницами с таким расчетом, чтобы они

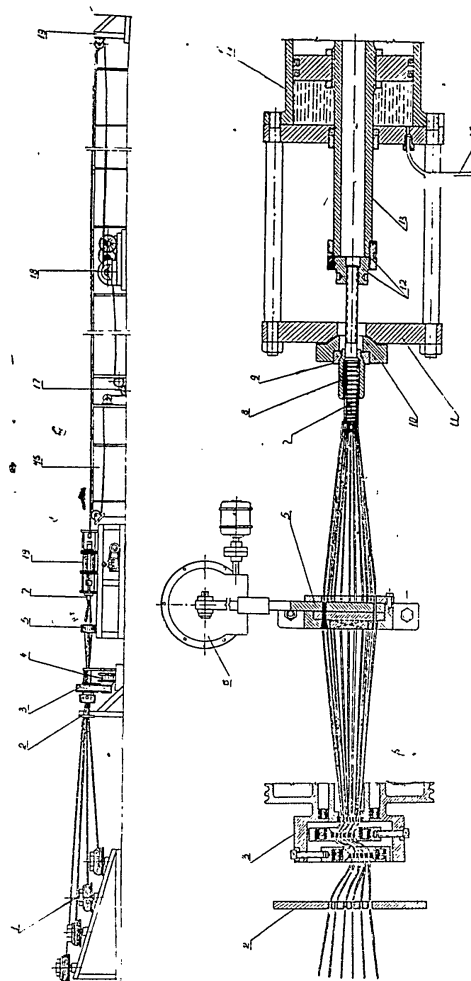


Рис. 13. Схема изготовления пучков из высокопрочной проволоки:

1—катушки с тормозами для бухт проволоки; 2—стальная плита с отверстиями; 3—правилка для одновременной правки всех проволок пучка; 4—мотор привода правилки; 5—ножницы для одновременной резки всех проволок пучка; 6—привод ножниц; 7—стальной стержень с рифленным концом и резьбой; 8—конусная обжимная гильза из мягкой стали; 9—стальное канальное разрезное кольцо с коническим отверстием; 10—обойма кольца со сферической опорой; 11—опорная плита гидравлического домкрата со сферическим седлом; 12—гайки для прикрепления стержня к штоку домкрата; 13—полый шток поршня; 14—цилиндр домкрата; 15—трубка маслопровода от насоса к цилиндру домкрата; 16—трос для протягивания пучка через полный шток домкрата; 17—компенсатор для выбора слабых тросов; 18—лебедка; 19—утор с блоками.

имели одинаковую длину; отрезанный пучок протягивается дальше до противоположного конца штока гидравлического цилиндра, к которому прикрепляется другой стержень с нарезкой и гильзой; концы проволок пучка снова заправляются в кольцевое пространство между рифленным концом стержня и гильзой и снова протягиваются через стальное коническое кольцо, в котором обжимается второй конец пучка.

Для того чтобы вынуть обжатый конец пучка из кольца, через которое он был протянут, кольцо 9 делают разрезным из двух половин и помещают в обойму 10.

Обойма с кольцом опирается на сферическое седло, сделанное в опорных плитах 11 гидравлического домкрата для того, чтобы избежать влияния могущих возникнуть перекосов и эксцентричного приложения нагрузки к стержню пучка.

Усилие протяжки конца пучка достигает 55 — 60 т.

Готовый пучок, на обоих концах которого имеются стержни с резьбой, сворачиваются в круг диаметром 2 м и доставляются к месту применения.

Колонны одноэтажного промышленного здания с подкрановыми путями запроектированы в виде решетчатой конструкции, состоящей из двух железобетонных ветвей (рис. 14); при бетонировании последних в формы закладываются струнотетонные бруски (рис. 15) образующие решетку колонны. Бруски решетки изготовлены на заводе с выпусками струнной арматуры для заанкеривания ее в бетоне колонны.

#### IV. ДВУХВЕТВЯНЫЕ КОЛОННЫ С НАПРЯЖЕННО АРМИРОВАННОЙ РЕШЕТКОЙ

Колонны бетонировались на полигоне в металлических формах, состоящих из поддона, наружных съемных бортов и вкладышей, образующих внутреннюю поверхность формы колонны. Колонны имеют закладные части для крепления подкрановых балок, ферм, панелей стен и связей между колоннами.

Изготовление колонны сводится к установке на поддоне струнотетонных брусков решетки, арматурного каркаса (рис. 16) и закладных частей, после чего устанавливаются борта формы и вкладыши, а форма заполняется бетоном и уплотняется глубинными вибраторами.

Твердение бетона происходит при пропарке под брезентом. Через 30 — 40 часов бетон приобретает проектную прочность (400 кг/см<sup>2</sup>).

Подъем колонн с поддонов и укладка их на автомашины с прицепом для доставки к месту монтажа выполнялась автокраном.

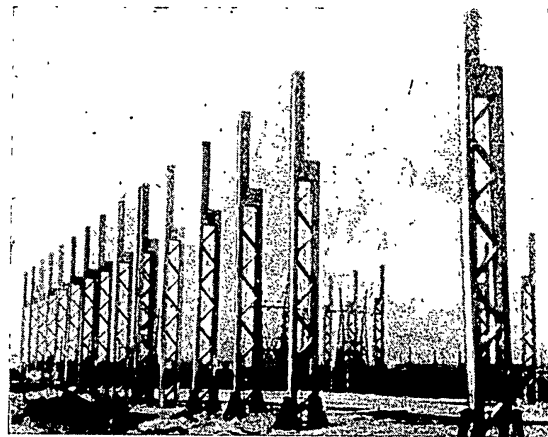


Рис. 14. Двухветвяные колонны с напряженно армированной решеткой.



Рис. 15. Струнотетонные бруски для решетки двухветвяных колонн.

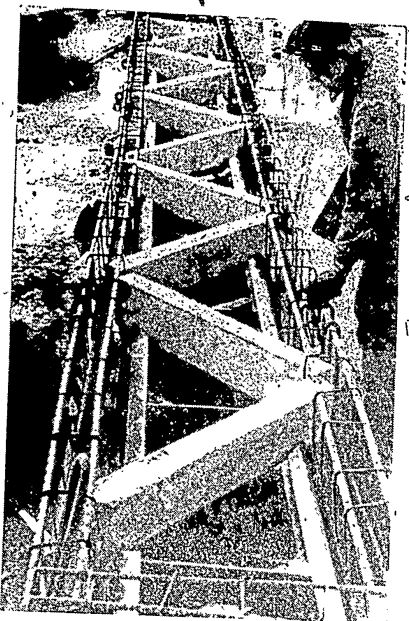


Рис. 16. Армирование колонн и укладка струбетонных брусков решетки.

#### V. РЕШЕТЧАТЫЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ, АРМИРОВАННЫЕ НАПРЯЖЕННЫМИ СЕРЖНЯМИ ИЗ УПРОЧНЕННОЙ СТАЛИ

Подкрановые балки (рис. 17) пролетом 6 м под 10-тонный край выполнены в виде решетчатой шпренгельной фермы. Верхний пояс таврового сечения армирован обычной арматурой, так как он постоянно сжат и растяжения не испытывает. Основное армирование верхнего пояса предназначено для восприятия скальвающих напряжений. Сжатые элементы решетки также армированы обычной сталью без предварительного напряжения. В растянутых элементах подкрановой балки — в нижнем поясе и крайних вносящих раскосах — при изготовлении устроены каналы, в которые после твердения бетона укладываются стержни из стали периодического про-

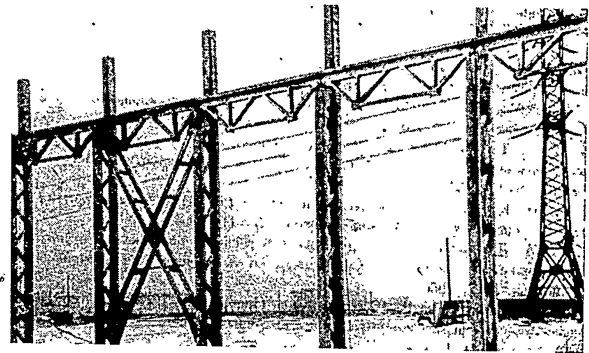


Рис. 17. Решетчатые подкрановые балки.

филя, удлиненные предварительной вытяжкой на 5,5% с помощью домкрата, что повышает предел текучести стали с 3500 до 5000 кг/см<sup>2</sup>. Указанные стержни напрягаются с помощью гидравлического домкрата и закрепляются в натянутом положении гайкой. Каналы со стержнями заполняются цементным раствором.

В настоящее время прест № 20 монтирует вторую оболочку размером 40 × 40 м.

Начато изготовление такой же оболочки для покрытия машинной базы треста «Строймеханизация-2» и изготавливаются элементы бочарного свода пролетом 100 м.

При изготовлении элементов второй оболочки внесены некоторые изменения в их конструкцию.

### Л и т е р а т у р а

1. Б. Л. Скляр. Напряжение арматурных стержней при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций, «Бетон и железобетон», № 1, 1956.
2. С. А. Дмитриев. Уточнение формул определения предварительного напряжения бетона и арматуры, «Бетон и железобетон», № 2, 1956.
3. Н. М. Богин. Контроль за величиной предварительного напряжения арматуры при изготовлении струнбетонных конструкций, «Бетон и железобетон», № 3, 1956.
4. Г. И. Бердичевский, Ю. В. Дмитриев. Предварительно напряженные железобетонные балки из непрерывно армированных элементов для покрытий промышленных зданий, «Бетон и железобетон», № 5, 1956.
5. В. В. Михайлов. Методы расчета напряженно армированных конструкций в различных странах, «Бетон и железобетон», № 5, 1956.
6. В. Х. Гальцман. Применение армирующих напряженных железобетонных стержней и оболочек в гидротехническом строительстве, «Бетон и железобетон», № 6, 1956.
7. А. И. Кучеров. Сборные железобетонные фермы для покрытий промышленных зданий, «Бетон и железобетон», № 11, 1956.
8. Т. М. Долобоко. Распределение собственных напряжений в предварительно напряженных железобетонных балках со сцеплением, «Строительная промышленность», № 2, 1956.
9. Н. В. Никитин, Р. Г. Шишкин. Напряженно армированные железобетонные арочные фермы покрытий промышленных зданий, «Строительная промышленность», № 9, 1956.
10. Н. Л. Перельштейн. Пучки высокопрочной проволоки для напряженно армированных железобетонных конструкций, «Новая техника и передовой опыт в строительстве», № 4, 1956.
11. Д. Э. Малков. Сборные напряженно армированные своды-оболочки, «Новая техника и передовой опыт в строительстве», № 12, 1956.
12. Ф. И. Наринский. Способы раскладки и натяжения арматуры в сборных предварительно напряженных железобетонных конструкциях, Стенограмма лекции, ЛДНТП, 1956.

---

Глуховской Корнелий Аркадьевич, Ефимов Александр Дмитриевич,  
Аврутин Марк Львович

Применение сборных железобетонных напряженно армированных конструкций

Техн. редактор Д. П. Фрегер

Редактор инж. П. В. Иванов-Скобликов

Ленинградский Дом научно-технической пропаганды (ЛДНТП), Невский пр., 58

---

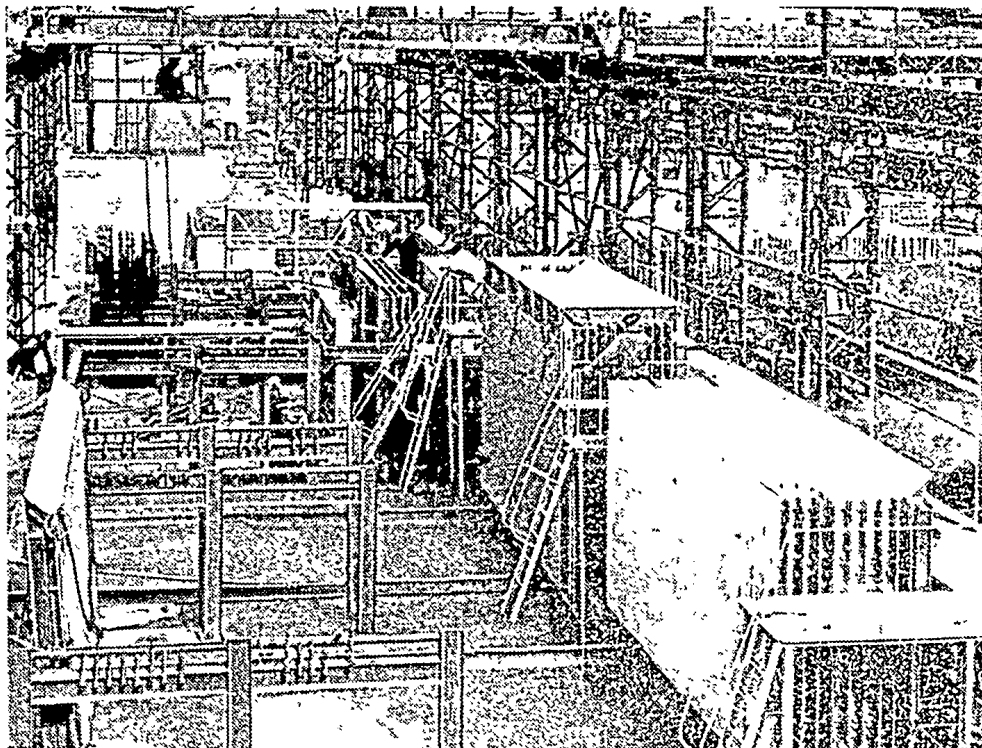
М- 13574 Тип. ЛДНТП Зак. 464 Тир. 5200 Объем 1,25 п. л. Уч.-изд. л. 1,27 22-VII-57 г.

Цена 65 коп.

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ,  
МЕХАНИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ СТРОИТЕЛЬСТВУ  
БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАССЕТНЫХ ФОРМАХ

Из опыта завода № 12  
Управления предприятий сборного железобетона  
Главмоспромстройматериалов  
и других заводов железобетонных изделий



Москва — 1959

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ,  
МЕХАНИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ СТРОИТЕЛЬСТВУ

БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАССЕТНЫХ ФОРМАХ

Из опыта завода № 12  
Управления предприятий сборного железобетона  
Главмоспромстройматериалов и других заводов



STAT

Москва— 1959

*Авторы — канд. техн. наук А. К. МКРТУМЯН, главный инженер завода № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов и инж. В. А. СОКОЛОВ, старший научный сотрудник НИИ железобетона.*

В брошюре описаны конструкции форм, применяемых при изготовлении железобетонных изделий кассетным способом на заводах Главмоспромстройматериалов и других ведомств. Обобщен опыт работы по формированию железобетонных панелей в кассетных формах, отмечены положительные и отрицательные стороны этой технологии, указаны пути ее дальнейшего совершенствования.

В контрольных цифрах развития народного хозяйства СССР на 1959—65 годы, утвержденных XXI съездом КПСС, отмечена необходимость обратить особое внимание в текущем семилетии на увеличение производства предварительно напряженных сборных железобетонных конструкций, стеновых панелей и блоков.

Применение крупных железобетонных панелей вместо кирпича дает возможность при одинаковом количестве рабочих и числе монтажных кранов за год ввести в эксплуатацию в 2,5 раза больше жилой площади. В 1,7 раза сокращаются перевозки материалов и деталей и на 30—35% уменьшается потребность в транспортных средствах. Стоимость жилой площади в крупнопанельных домах,\* значительно ниже кирпичных.

В настоящее время ведется реконструкция ряда существующих и строительство новых предприятий по изготовлению крупных панелей. В связи с этим проводятся испытания различных способов формования и, в частности, вертикально-кассетного способа, высокую эффективность которого отметил тов. Н. С. Хрущев в своем докладе на XXI съезде КПСС.

Еще в 1951 г. сотрудники НИИ строительной техники б. Академии архитектуры СССР совместно с работниками треста «Особстрой» отформовали вертикальным способом две панели высотой 2,8 м. С формы через час после формования снималась одна боковая стенка и панели транспортировали на склад для дальнейшего твердения.

Формование в вертикальных формах одновременно двух панелей было предпринято также трестом № 3 Главленинградстроя, трестом № 26 Главкиевстроя и Московским трестом «Центростанкострой».

В 1953 г. трестом «Магнитострой» для изготовления железобетонных изделий вертикально-кассетным способом был отведен целый формовочный цех. До сих пор в нем изготавливают крупные панели.

В 1957 г. указанный способ был применен также на полигоне завода дробильно-размольного оборудования (ДРО) в г. Выксе, \*\* в 1958 г. в цехах завода № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов и на Хоршевском заводе железобетонных изделий (г. Москва).

\* См. брошюру «Поточное строительство крупнопанельных домов» Опыт треста «Череповецметаллургстрой» Изд. ВТИ НИИ организации, механизации и тепломощи АСИА СССР, 1958

\*\* Д. С. Михайловский и Н. В. Несветов «Строительство крупнопанельного дома в Выксе» Изд. ВТИ НИИ организации, механизации и тепломощи АСИА СССР, 1959



За границей вертикально-кассетный способ формования впервые начали осваивать в 1955 г., когда в г. Монтеоне (Франция) был пущен завод, рассчитанный на ежедневное изготовление деталей для восьми квартир.

В настоящее время в СССР строится много новых заводов, где формование панелей будет осуществляться вертикально-кассетным способом.

В данной работе освещен опыт изготовления железобетонных панелей в вертикально-кассетных формах на отдельных государственных предприятиях.

Особое внимание уделено производству этих изделий в кассетах на заводе № 12 Главмоспромстройматериалов.

Специальные разделы посвящены особенностям применения вертикально-кассетного способа и результатам производственного освоения технологии формования в кассетах.

### КОНСТРУКЦИИ ФОРМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ КАССЕТНЫМ СПОСОБОМ

#### КАССЕТНЫЕ ФОРМЫ НЕБОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

Кассетные формы высотой до 1 м начали применять на заводах сборного железобетона несколько лет назад. Их собирают из отдельных деревянных щитов в ямных камерах пропаривания и чаще всего используют при формовании ригелей и прогонов. Количество одновременно формируемых изделий бывает самым разнообразным.

Более рациональными и долговечными являются стальные кассетные формы.

Примером простейшей и эффективной конструкции металлической вертикально-кассетной формы может служить форма для изготовления отопительных железобетонных панелей, разработанная НИИЖелезобетоном и заводом № 7 Управления сборного железобетона Главмоспромстройматериалов. Изделия в таких формах выпускаются с уже подготовленными под шпательку поверхностями, что исключает необходимость их отделки. При этом размеры изделий не имеют отклонений от установленных допусков.

Форма (рис. 1) представляет собой поддон с двумя боковыми и двумя торцовыми бортами. В одной форме изготавливают одновременно шесть панелей. Это достигается благодаря разделительным стенкам, устанавливаемым перед формованием в вычищенную и смазанную форму, борта которой затем закрывают.

Для образования четвертей в отопительной панели к разделительной стенке приварены снизу две пазообразующие короб-

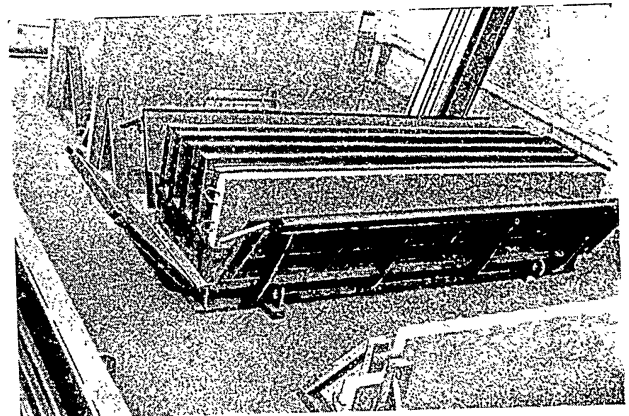


Рис. 1 Вертикально-кассетная форма для изготовления железобетонных отопительных панелей, применяемая на заводе № 7 Главмоспромстройматериалов

ки. В эти коробки затем вставляют отопительные регистры с арматурой. Расстояние между двумя соседними разделительными стенками в форме фиксируется пазообразующими коробками при закрывании бортов.

Панели формируют на виброплощадке. Бетонную смесь с осадкой конуса около 3 см поддают сразу во все отсеки формы. После уплотнения бетонной смеси форму отправляют в пропарочную камеру. Чтобы обеспечить быстрый и равномерный прогрев всех отформованных панелей, в торцах разделительных стенок сделаны отверстия для доступа пара.

После тепловой обработки, панели, по одной, извлекают из формы и отправляют на склад готовой продукции. Специальными траверсами можно одновременно извлекать из формы несколько панелей.

Для получения заданной высоты изделия следует надежно закрепить разделительные стенки. Иначе последние могут всплыть во время вибрации, а это приведет к увеличению высоты панелей. Всплывание стенок во время вибрации предотвращается точным изготовлением пазообразующих коробок и сжатием разделительных стенок боковыми бортами формы.

При конструировании формы учитывалась необходимость не только получить точные размеры изделий, но и обеспечить максимальную простоту сборки формы. Разделительные стенки формы не соединяют друг с другом. Устраивать фиксирующие пазы для стенок на общем поддоне оказалось не обязательно потому, что стенки внизу снабжены опорами шириной по 157 мм, чем обеспечивается их устойчивость даже в случае горизонтального перемещения стенок по форме.

Полная сборка, фиксация и крепление нагревательных регистров, а также арматуры к отдельно стоящим разделительным стенкам позволяет рабочему устанавливать их в форме не думая о точности, так как при закрывании бортов стенки сами занимают строго заданное положение.

При такой конструкции формы достаточно вынуть из нее посредством мостового крана, только одну разделительную стенку с изделием. Остальные же стенки, после снятия с них панелей, можно подготавливать к следующему формованию, не вынимая из формы. Стенки легко передвигают на освобожденное место и устанавливают снова в требуемое положение в форме без применения мостового крана.

Благодаря использованию таких форм для изготовления отопительных панелей удалось улучшить качество изделий, увеличить производительность цеха. Кроме того тепловая обработка изделий осуществляется паром, непосредственно пущенным в разделительные стенки, благодаря чему отпадает необходимость в пропарочных камерах.

#### ПРОИЗВОДСТВО ПАНЕЛЕЙ В КАССЕТАХ НА МАГНИТОГОРСКОМ ЗАВОДЕ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Примером производства панелей большого размера в вертикально-кассетных формах может служить завод крупнопанельного домостроения в Магнитогорске, где впервые в СССР в таких формах стали изготавливать в больших количествах панели стен и перекрытий. Годовая мощность этого завода обеспечивает выпуск панелей стен, перекрытий, перегородок, лестниц для крупнопанельных домов с жилой площадью 30 тыс. м<sup>2</sup>, а также перекрытий и перегородок для кирпичных и крупноблочных домов с такой же жилой площадью.

Строительный объем главного корпуса, включая формовочные линии, арматурный и столлярный цехи, составляет 77000 м<sup>3</sup>. На заводе работают 302 рабочих. Затраты труда на 1 м<sup>3</sup> продукции составляют 1,5 чел.-дн.

6

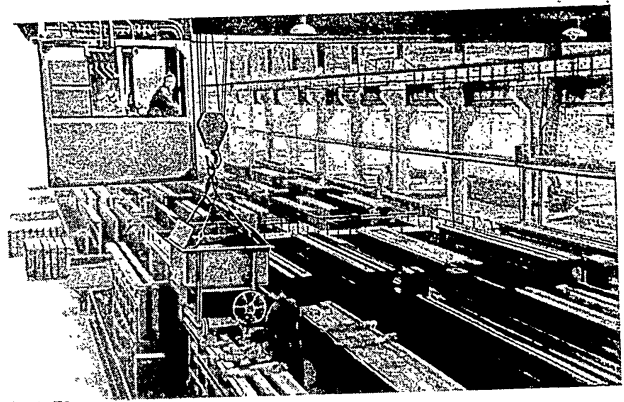


Рис 2 Общий вид главного корпуса Магнитогорского завода крупнопанельного домостроения

В главном корпусе (рис. 2) размещены все основные производственные помещения и склад готовой продукции. Корпус имеет 4 пролета по 18 м каждый.

Изготовление панелей в вертикальном положении осуществляется во втором пролете цеха. Общая высота пролета с кассетными формами (до крыши) — 11,76 м. Высота помещений в крайних пролетах, где изделия изготавливают горизонтальным способом, — 6,59 м.

Для выпуска поперечных несущих перегородок длиной 6 м установлено 9 кассет с четырьмя отсеками, а для изготовления продольных перегородок длиной 3,6 м — 12 кассет также с четырьмя отсеками.

В целях сокращения длины формовочного цеха кассеты установлены в два ряда.

Кассета (рис. 3) состоит из двух виброформ, в каждой из которых изготавливают по два изделия. Между формами имеется площадка для рабочих, обслуживающих кассету. Две крайние ее стенки, обращенные к помосту, с установленными на них в шахматном порядке в три ряда вибраторами И-7 по 11 штук на каждой, прикреплены неподвижно к станине, на которой сделан помост. Эти стенки являются базисными для сборки остальных стенок кассеты. Две другие крайние стенки с вибраторами, выходящие наружу кассеты, и две средние без вибраторов снабжены роликами для их передвижения по направляющим опорным рамкам.

7

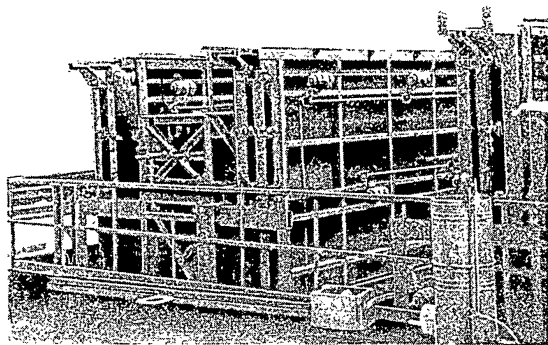


Рис 3 Вертикально-кассетная форма завода крупнопанельного домостроения в Магнитогорске

Для установки коробок дверей и фрагм на стенках кассет предусмотрены специальные металлические фиксаторы.

Сборку и разборку кассеты осуществляют при помощи механизма передвижения ее стенок.

Подготовка к формованию изделий начинается с чистки, смазки стенок кассеты и установки арматурного каркаса. Затем кассету собирают. Откидные болты заводят в проушины, и стенки кассеты плотно стягивают.

Бетонную смесь доставляют из бетоносмесительного цеха в соответствующий пролет формовочного цеха в переносной бадье, установленной на вагонетке. Мостовым краном бадью подают к передвижному бетоноукладчику, из которого бетонная смесь затем поступает в кассету. Во время укладки смеси включают вибраторы. После заполнения кассеты бетонной смесью верхние поверхности панелей заглаживают вручную.

Тепловую обработку изделий производят путем прогрева бетона через средние стенки кассеты. В их полости подают пар по гибким резиновым шлангам. Необходимый режим тепловой обработки контролируется термометрами сопротивления, установленными по два на каждой кассете.

Затем изделия распалубливают и мостовым краном доставляют на склад, находящийся в закрытом помещении, расположенном в конце главного корпуса. Склад рассчитан на 15-ти суточный запас готовых изделий. Перед складом готовых изделий установлен подъемно-поворотный механизированный стол для осмотра и ремонта отделанных панелей.

8

Панели хранят в закрытом помещении для того, чтобы обеспечить нарастание прочности бетона, так как после распалубки она составляет около 50% проектной.

Кассеты, установленные на заводе крупнопанельного домостроения в Магнитогорске, обладают рядом положительных качеств.

Их сборка и разборка осуществляется механически; рама и направляющие обеспечивают точную установку разделительных стенок; изделия во время тепловой обработки непосредственно соприкасаются с паровым отсеком.

Однако кассеты этого завода имеют существенные недостатки. При наличии только двух отсеков в кассете нельзя обеспечить получения большого фронта для одновременной заливки бетонной смеси; в этом случае увеличивается металлоемкость кассеты. Установка нескольких вибраторов на одной жесткой стенке мало увеличивает ее вибрацию. Вибрация, вызываемая одним вибратором в значительной степени гасится вибрацией, возникающей от другого. Поэтому в настоящее время, без ущерба для уплотнения бетонной смеси, значительная часть вибраторов со стенок снята.

Болтовые соединения требуют значительного времени и затрат труда на сборку и разборку кассеты.

Внешние стенки ее выпучиваются под давлением бетонной смеси в процессе вибрации; стяжные же болты или другие приспособления, ликвидирующие отрицательные явления распора бетонной смеси, отсутствуют.

#### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ С ШВЕЛЛЕРНЫМ И ДВУТАВРОВЫМ СЕЧЕНИЯМИ В КАССЕТНЫХ ФОРМАХ ИНАТ

В Москве, в Новых Черемушках, в числе экспериментальных домов построен крупнопанельный жилой дом, в котором широко применены панели облегченного типа. Проект дома разработан коллективом архитекторов и инженеров под руководством члена-корреспондента Академии строительства и архитектуры СССР В. П. Лагутенко.\* Основной особенностью конструктивного решения дома является то, что в нем широко применены несущие панели швеллерного и двутаврового сечений.

Для указанного дома детали изготавливались горизонтальным способом в обычных формах. В 1958—59 гг. производство таких панелей освоено на Хорошевском домостроительном комбинате в кассетных формах, спроектированных и изготовленных Науч-

\* См брошюру «Строительство экспериментального жилого квартала в Новых Черемушках» Изд БТИ НИИ организации, механизации и техники АСИА СССР, 1958.

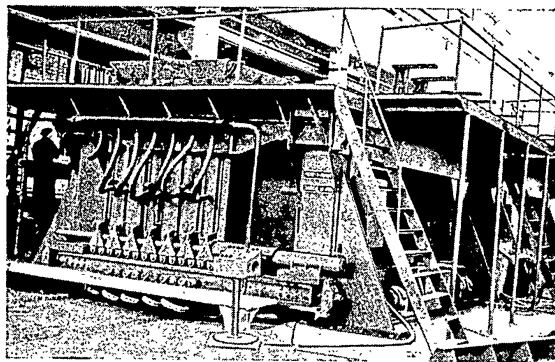


Рис. 4. Вертикально-кассетная форма НИАТ

но-исследовательским институтом технологии и организации производства (НИАТ).

Хорошевский домостроительный комбинат рассчитан на выпуск в течение года деталей для 48 домов с 85 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади. Для строительства этих домов требуется 25 тыс. м<sup>2</sup> железобетонных элементов. Такая сравнительно небольшая потребность объясняется тем, что основные несущие конструкции дома выполнены из тонкостенных панелей. 70% железобетонных изделий дома здесь изготавливают в кассетных формах.

Формовочный цех занимает весь центральный высотный пролет здания комбината. Его площадь — 1380 м<sup>2</sup>. В расположенном рядом пролете на площади 660 м<sup>2</sup> размещен склад готовых панелей, в котором изделия выдерживаются, а в случае необходимости и ремонтируются.

В формовочном цехе установлено семь вертикальных подвижных кассетных форм (рис. 4). Полная номенклатура изделий могла бы быть получена из четырех кассет, но для обеспечения равномерного выпуска изделий комплектом на весь дом на комбинате имеются три кассеты-дублера. В двух из них изготавливают одновременно по шесть перегородок без проемов, а в двух других — по шесть перегородок с дверными проемами. Панели перекрытий формируют в пятой и шестой кассетах по восемь штук в каждой. В седьмой кассете изготавливают лестничные площадки и марши.

Кассетная форма НИАТ (рис. 5) для изготовления панелей перегородок и перекрытий включает в себя станину, неподвиж-

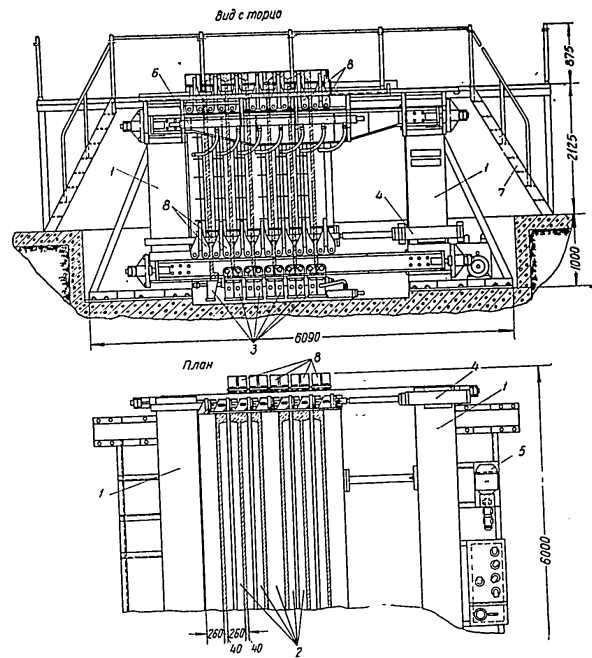


Рис. 5. Схема вертикально-кассетной формы НИАТ  
1 — станина; 2 — разделительные стенки; 3 — поддоны; 4 — гидравлические домкраты; 5 — привод насоса; 6 — разводка пара; 7 — трап с ограждением; 8 — крошштейны опорных роликов

ную и подвижные разделительные стенки, поддоны, гидравлическую и электрическую системы, пульт управления.

Станина состоит из двух мощных сварных металлических рам, соединенных четырьмя балками. Балки одновременно являются элементами жесткости и направляющими для опорных роликов разделительных стенок.

В металлическом каркасе разделительных стенок, сваренном из швеллеров, сделаны специальные отверстия для пропуска пара в полости стенок. Сверху на металлический каркас наварен стальной лист толщиной 10 мм. Одна крайняя разделительная

стенка прикрепена к станине неподвижно. Все остальные перемещаются на роликах по четырем направляющим балкам.

Поддоны в кассетах для изготовления панелей перекрытий приварены к разделительным стенкам. В кассетах для изготовления перегородок поддоны смонтированы отдельно и опираются самостоятельно на нижние полки балок станины. В верхней части поддонов расположена камера для прохождения пара, чем обеспечивается быстрый прогрев нижней утолщенной части панели.

Разделительные стенки кассеты сдвигаются и раздвигаются четырьмя гидравлическими домкратами с удлиненными штоками. Эти штоки свободно проходят через отверстия в кронштейнах опорных роликов и имеют по всей длине ряд овальных отверстий для клиньев. Клинья вставляют в отверстия штока с одной или с другой стороны кронштейнов. Последние одной стороной прикреплены к роликам, а другой — укреплены на разделительных стенках. При включении гидравлических домкратов клинья упираются в кронштейн и перемещают разделительные стенки. В случае необходимости гидравлические домкраты можно включать как поодиночке, так и вместе.

Общее управление всеми операциями при работе на кассете осуществляется с пульта управления.

Процесс формования ведется следующим образом. Разделительные стенки кассеты тщательно чистят скребками и смазывают горячей петролатумно-керосиновой смазкой состава 1 : 2 или 1 : 3. Смазка застывает и не сползает со стенок.

Сверху в очищенный и смазанный отсек опускают мостовым краном арматурный каркас (рис. 6). После проверки правильности его положения и укрепления закладных деталей передвигают следующую разделительную стенку. Таким образом, готовят все отсеки к формованию. После окончания сборки разделительные стенки сжимают гидравлическими домкратами. В отверстия упорных штоков, проходящих через стойки рам и приваренных одним концом к крайней стенке кассеты, вставляются клинья. Они воспринимают усилия, возникающие от распора стенок бетонной смесью. Затем давление в цилиндрах снимают и гидравлическую систему отключают.

На арматурные каркасы крепят вибронасадки (рис. 7), представляющие собой траверсу из двух уголков  $50 \times 50$  мм, на которой укреплен вибратор С-413. Внизу к уголкам приварено 10 вилок, которыми траверса насаживается на два арматурных каркаса, расположенных в соседних отсеках. На каждом каркасе устанавливают по два таких вибронасадки.

В подготовленную кассетную форму подают сжатым воздухом по бетоноводам мелкозернистую бетонную смесь (раствор).

Для бетона марки 200 на  $1 \text{ м}^3$  изделий расходуется около 650 кг цемента марки 500. Пластичность бетонной смеси опреде-

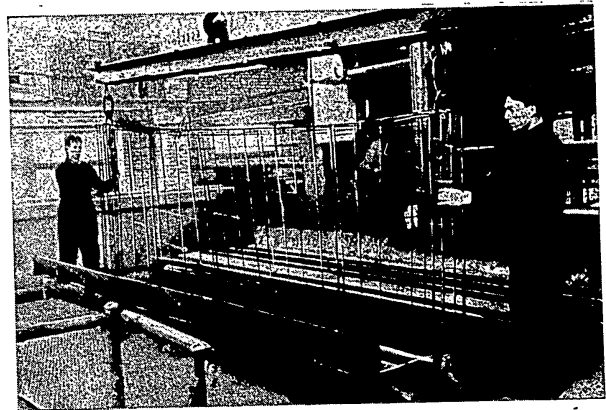
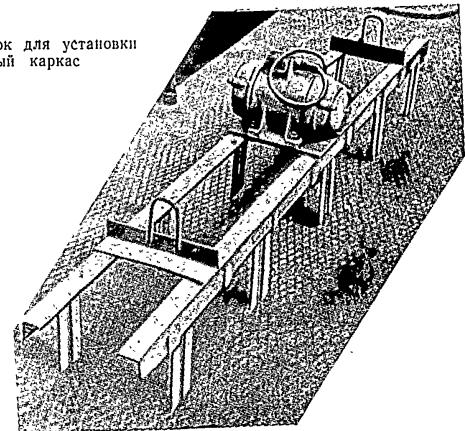


Рис. 6. Установка арматурного каркаса в вертикально кассетную форму НИАТ

Рис. 7. Вибронасадка для установки на арматурный каркас



ляется при помощи конуса Стройцила. В настоящее время применяют смесь с погружением конуса на 9—11 см.

Следует отметить, что при таких расходах цемента и подвижности бетонной смеси определить действительную ее подвижность конусом Стройцила нельзя, так как он плавает. В этом случае следует ориентироваться на показатели осадки смеси по большому стандартному конусу.

После заполнения кассеты бетонной смесью вибронасадки снимают. Верхний слой смеси дополнительно вибрируется глубинными вибраторами с гибким шлангом, а затем поверхностными вибраторами. На концах изделий устанавливают закладные детали, после чего забетонированные изделия накрывают полосами транспортной ленты.

Пар к кассете подается по гибким резиновым шлангам. Длина их принята с учетом свободного перемещения разделительных стенок во время сборки и разборки кассеты без отсоединения шлангов. Пар начинают подавать тогда, когда бетонирование уже подходит к концу. К моменту окончания укладки бетонной смеси разделительные стенки уже прогреты паром и температура смеси сразу интенсивно поднимается. За 0,5—1,0 часа она доходит на поверхности изделия до 98°. При этом надо следить, чтобы не закипала вода в смеси. Пар подается в камеры в течение 4—5 часов, после чего подача его прекращается и изделия выдерживают в течение 2—3 часов. Максимальная температура бетона при тепловой обработке достигает 105—110°. Полный цикл термообработки длится около 8 часов.

После этого изделия распалубливают и отправляют в соседний пролет для выдерживания до проектной прочности.

В период освоения оборудования и отработки технологии выявлен ряд положительных и отрицательных сторон такого производства панелей.

К числу достоинств этих кассет относятся: возможность получения в кассетных формах экономичных тонкостенных панелей швеллерного или двутаврового сечения; полная механизация сборки и разборки кассет; равномерный прогрев изделий благодаря подаче пара в полости разделительных стенок, а также за счет обогрева поддонов; возможность ускоренной тепловой обработки панелей с подъемом температуры в бетоне изделия выше 100° при относительно небольшом удельном расходе пара.

Недостатками такой конструкции кассет являются: большая металлоемкость (вес кассеты на шесть панелей составляет 65 т); возможность использования кассеты лишь для выпуска определенной номенклатуры изделий; вибрирование через арматурный каркас, которое не обеспечивает интенсивного уплотнения бетонной смеси, вследствие чего приходится применять литые мелкозернистые песчаные бетоны; плохая заполняемость смесью пространства под дверными проемами.

14

### ПРОИЗВОДСТВО ПАНЕЛЕЙ В КАССЕТАХ НА ЗАВОДЕ № 12 ГЛАВМОСПРОМСТРОИМАТЕРИАЛОВ

Гипростройиндустрия и завод № 12 Главмоспромстройматериалов разработали проекты крупнопанельного жилого дома и завода с полным комплектом необходимого технологического оборудования для изготовления сборных деталей такого дома. Номенклатура изделий приведена в табл. 1.

Таблица 1

Номенклатура изделий, изготавливаемых в кассетах, для крупнопанельного дома с жилой площадью 1805 м<sup>2</sup>

Наименование конструкций	Марка элементов	Размеры, см			Объем бетона в 1 элементе	Вес одного элемента	Всего на дом		
		длина	ширина	толщина			количество, шт.	объем, м <sup>3</sup>	вес, т
Внутренние стеновые панели	BC1	564	268	12	1,82	4,375	20	36,4	87,0
	BC2	460	268	12	1,48	3,57	115	228,0	410,0
	BC2-2	460	268	12	1,48	3,53	15	22,2	53
	BC2-3	460	268	12	1,48	3,57	15	22,2	53,6
	BC2-4	460	268	12	1,48	3,57	15	22,2	53,6
	BC3	606	268	12	1,93	4,655	10	19,3	46,55
	BC4	508	268	12	1,63	3,92	10	16,3	39,2
	BC5	107	268	12	0,344	0,83	15	5,25	12,45
	BC6	620	268	12	1,98	4,77	20	39,6	95,4
	BC7	611	183	14	1,52	3,67	4	7,6	18,3
BC7-2	611	183	14	1,5	3,62	2	3,0	7,24	
BC8	463	183	14	1,18	2,85	2	2,36	5,7	
BC8-2	463	183	14	1,17	2,83	6	7,02	16,95	
BC9	563	183	14	0,82	2,07	30	24,6	62,1	
BC10	170	183	14	0,43	1,05	3	1,29	3,15	
Панели перекрытий	П1	570	338	10	1,92	4,70	72	138,2	338,4
	П2	570	263	10	1,50	3,65	66	99,0	242,2
	П2-2	570	263	10	1,45	3,525	15	21,75	52,50
	П2-3	570	263	10	1,45	3,525	9	13,05	31,73
	П2-4	570	263	10	1,47	3,57	12	17,64	42,84
	П2-5	570	263	10	1,47	3,57	6	8,82	21,37
Перегородки	П3	570	269	10	1,49	3,63	15	22,37	54,45
	П3-2	570	269	10	1,49	3,63	15	22,37	54,45
	П2-6	570	263	10	1,45	3,56	3	4,35	10,7
Лестничные площадки	ВП1	162	268	6	0,26	0,605	60	15,6	36,3
	ВП2	110	268	6	0,177	0,43	60	10,6	25,8
Лестничные марши	ЛП1	251	135	7	0,32	0,785	24	7,69	18,85
	ЛП1-2	251	135	7	0,37	0,91	3	1,11	2,73
Вентильные блоки	ЛМ1	353	120	30,5	0,47	1,15	24	11,28	27,6
	ЛМ2	220,7	120	30,5	0,30	0,73	6	1,8	4,37
Вентиляционные блоки	ВВ1	278	165	20	0,57	1,39	60	34,2	83,5

15

Предварительная проверка технологических решений и оборудования для изготовления элементов дома была осуществлена на полигоне при заводе дробильно-размольного оборудования (ДРО) в г. Выксе.

Завод № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов является первым предприятием, на котором производится формование крупных панелей в кассетах по проекту Гипростройиндустрии. Согласно решению Мосгорисполкома завод должен выпустить крупнопанельных конструкций:

в 1959 г. — для домов с жилой площадью 50 тыс. м<sup>2</sup>,

в 1960 г. — для домов с жилой площадью 100 тыс. м<sup>2</sup>.

Чтобы обеспечить выпуск изделий для домов с жилой площадью 100 тыс. м<sup>2</sup> необходимо 12 кассет.

При заводе организован временный полигон (рис. 8), где рабочих обучают приемам формования в вертикальных кассетах и наладке оборудования. На полигоне смонтированы четыре кассеты. Компоновка кассет решена с учетом максимального сокращения пробегов мостового крана грузоподъемностью 5 т.

Панели формируют в кассетах, поставляемых Выксунским заводом ДРО, а также в механизированной кассете, разработанной Карачаровским механическим заводом Главмосстроя и заводом № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов (авторы В. П. Геминова, Г. А. Анопов, В. И. Канахистов, С. П. Майоров и А. К. Мкртумян).

Кассеты (рис. 9), поставляемые заводом ДРО, представляют собой ряд отсеков, образованных стальными вертикальными разделительными стенками толщиной 24 мм. Одна крайняя стенка кассеты установлена неподвижно и жестко прикреплена к двутавровым балкам. Она является базой для сборки всей кассеты.

Чтобы обеспечить точность сборки кассеты разделительные стенки устанавливаются на выверенное основание из рельс, заложённых в бетонный пол.

На разделительных стенках снизу и сбоку установлены борты из угловой стали, полки которых образуют торцовые стенки отсека и днища. После сборки кассеты получается замкнутый с трех сторон отсек шириной, равной толщине панели и открытый только сверху для подачи в него бетонной смеси. На разделительных стенках имеются шесть отверстий для пропуска стержневых болтов. По торцам разделительные стенки соединяются между собой попарно специальными шпильками. Это обеспечивает устойчивость стенок во время сборки и разборки кассеты. Для того чтобы они при стягивании болтами заняли строго заданное положение, между стенками на стержневые болты одевают специальные точеные конусы. После предварительной сборки кассеты все разделительные стенки стягивают вручную шестью стержневыми болтами.

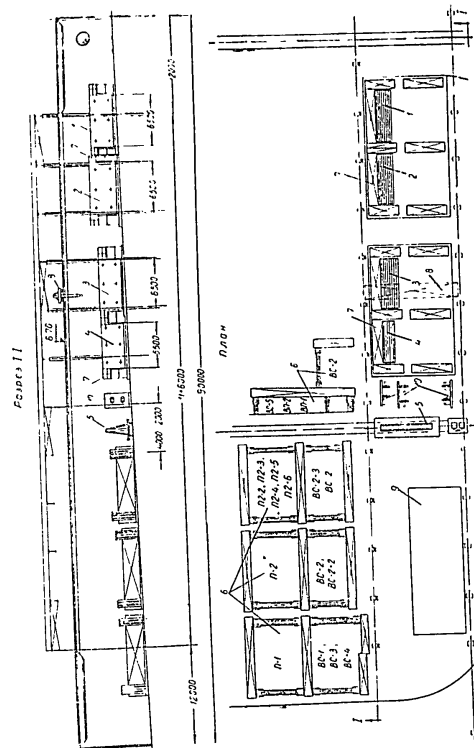


Рис. 8. Схема полигона завода № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов  
1, 2, 3, 4 — кассеты; 5 — тележка для транспортирования готовых изделий; 6 — стеллажи готовой продукции; 7 — рабочие мосты вокруг кассет; 8 — мостовой кран; 9 — электромастерская; 10 — ангары для хранения вентиляционных блоков

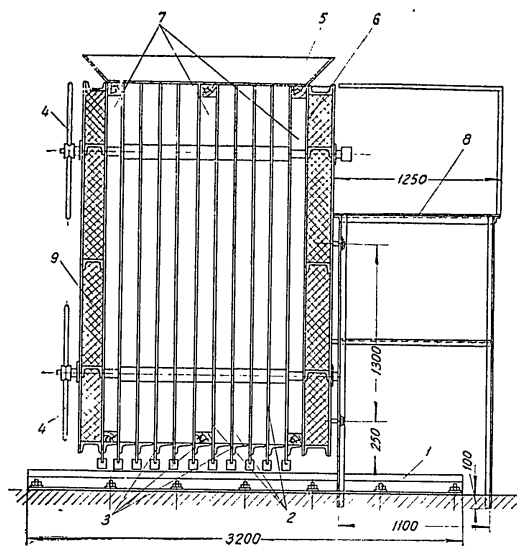


Рис. 9. Схематический разрез кассеты завода № 12, изготовленной Выксунским заводом ДРО

1 — основание из рельс; 2 — разделительные стенки; 3 — поддоны отсеков, образуемые полками уголков; 4 — штурвалы стяжных болтов; 5 — направляющий лоток; 6 — стационарный щит кассеты с прокладкой из минерального войлока; 7 — паровые отсеки; 8 — рабочий помост; 9 — съемный крайний щит с прокладкой из минерального войлока

Применение таких стенок делает кассету универсальной, так как в ней можно изготовлять панели различных размеров. Для перехода от изготовления изделий одного типоразмера к изготовлению изделий другого достаточно установить дополнительные вкладыши или перенести бортовые уголки на разделительной стенке в другое место в соответствии с новыми размерами панели. Принятая конструкция разделительной стенки является менее жесткой, чем в кассетах НИАТ. В кассетах этого типа приходится часть отсеков использовать только для пропуска пара.

Тепловая обработка изделий в кассетах вначале осуществляется путем их обогрева с боков паровыми регистрами. Однако температура бетона изделий даже в ближних к регистрам отсеках не поднималась выше 50°. В настоящее время пар через две

распределительные трубки поступает непосредственно в замкнутое пространство между крайними щитами и в средний отсек. Наибольшая толщина прогреваемого слоя бетона равна двум толщинам изделий. Соприкосновение пара с разделительными стенками обеспечивает хорошую теплопередачу и таким образом значительно улучшается и ускоряется прогрев бетона обеих панелей. Отверстия, образуемые в панелях конусами стяжных болтов и самими болтами, используются для установки монтажных захватов.

Значительным недостатком кассет этого вида является большая трудоемкость работ при их сборке и разборке. На завинчивание и отвинчивание болтов вручную приходится затрачивать много времени и труда. Кроме того, при сборке возникает необходимость дополнительно эксплуатировать край для точной установки разделительных стенок.

Завод № 12 совместно с Карачаровским механическим заводом усовершенствовал конструкцию кассеты завода ДРО и изготовил опытный образец механизированной кассеты (рис. 10). Такая механизированная кассета проста в эксплуатации и надежна в работе. Затраты на изготовление опытного образца составили 40 тыс. руб.

Разделительные стенки в усовершенствованной кассете изготовлены из стенок, поставляемых заводом ДРО. В отверстия для стяжных болтов вставлены конусы, которые обеспечивают фиксацию стенок при их сжатии пневмоцилиндрами. По торцам стенок на консолях установлены ролики. На них разделитель-

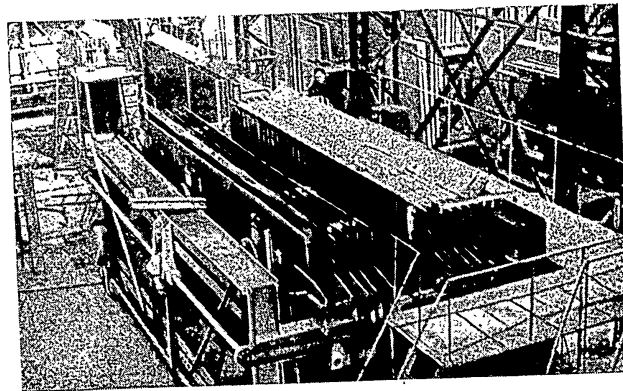


Рис. 10. Общий вид механизированной кассеты завода № 12



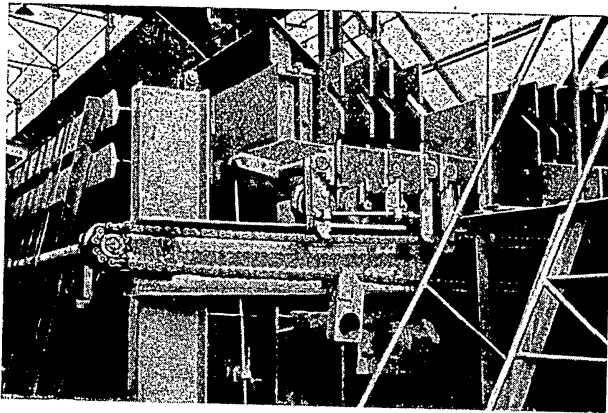


Рис. 11 Привод перемещения разделительных стенок механизированной кассеты

ные стенки перемещаются по балкам охватывающей базисной рамы. Последняя используется для фиксации разделительных стенок и для восприятия распорных усилий, возникающих в кассете. На тех же консолях приварены захваты для сцепления со специальным пальцем, прикрепленным к одному из звеньев цепи механизма сборки и разборки кассеты (рис. 11).

Разборка кассеты начинается с того, что палец цепи сцепляется с захватом разделительной стенки, после чего она откатывается в сторону. Вслед за извлечением из открытого отсека панели откатывается и вторая разделительная стенка. В дальнейшем операции повторяются до тех пор, пока не будет извлечена последняя, восьмая, панель. Затем разделительные стенки чистят, смазывают, устанавливают арматурные сетки и закладные детали. Эти операции совершаются последовательно в каждом отсеке. Разделительные стенки возвращают в исходное положение также при помощи механизма сборки и разборки кассеты. Во время сборки кассеты разделительные стенки занимают строго проектное положение по высоте и не могут сместиться в сторону, так как на охватывающей раме имеются направляющие для роликов.

Первый этап сборки кассеты заключается в том, что шарнирные рычаги (рис. 12) опускаются и предварительно сжимают все стенки кассеты. Окончательное сжатие и ликвидация зазоров между разделительными стенками производится шестью

20

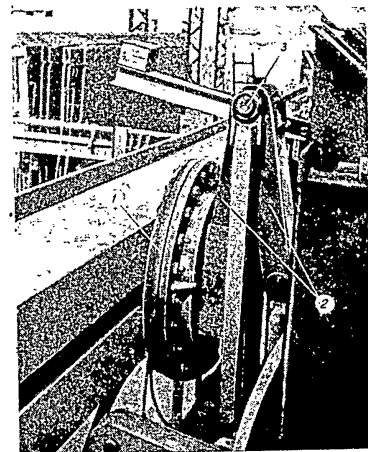


Рис. 12 Устройство для окончательного сжатия разделительных стенок механизированной кассеты  
1 — пневмоцилиндр; 2 — шарнирные рычаги; 3 — шарнир

пневмоцилиндрами. В связи с их установкой для этой цели проверили какова вероятность раздвижки стенок во время заполнения кассеты бетонной смесью и ее вибрации. Было установлено, что самая ближняя к пневмоцилиндрам стенка отклоняется от первоначального своего положения не более, чем на 8 мм. Расстояние между расположенными рядом разделительными стенками увеличивается не более чем на 1,5 мм. Такие отклонения вполне допустимы и не влияют отрицательно на качество продукции.

Процесс формирования панелей перекрытий, панелей внутренних стен и перегородок в вертикальных кассетах начинается с подготовки разделительных стенок. В немеханизированных кассетах одну сторону разделительной стенки очищают и смазывают после очередной распалубки, когда стенка, зажатая в специальных упорах, стоит перед местом сборки кассеты. Затем стенку переносят к кассете, крепят с боков шпильками, после чего чистят и смазывают ее вторую сторону. На механизированной кассете чистка и смазка разделительных стенок может быть произведена сразу же после извлечения панели. Благо-

21

даря этому более рационально используется время при извлечении панелей из кассеты.

На вычищенную и смазанную стенку устанавливают при помощи крана арматурный каркас и приваривают к нему закладные детали. После этого производят чистку, смазку и установку в кассету следующей разделительной стенки. На нее крепят также арматурный каркас. Таким образом, процесс повторяется до тех пор, пока не будет собрана вся кассета. Затем на нее устанавливают с торцов вибраторы С-414 или С-413.

Бетонную смесь подают к кассете в бункерах. Последние доставляют на полигон в автомашинах, откуда перемещают на кассету мостовым краном. Во время укладки бетонной смеси включаются вибраторы. Вибрация продолжается почти в течение всего времени заполнения кассеты.

В связи с тем, что пока еще недостаточно отработаны режимы вибрации и имеются места в кассете с незначительной амплитудой колебания, на заводе № 12 производят дополнительное уплотнение бетонной смеси высокочастотными глубинными вибраторами И-21А и И-116.

После заполнения кассеты бетонной смесью устанавливают верхние закладные детали и разравнивают верхнюю поверхность. В таком виде до подачи пара бетонную смесь выдерживают в течение 2—3 часов.

Для повышения производительности цеха пар будут подавать сразу после окончания укладки смеси или даже в процессе ее укладки.

В настоящее время перед началом тепловой обработки, для ликвидации появляющихся иногда усадочных трещин, верхнюю поверхность бетонной смеси трамбуют или подвергают кратковременному уплотнению вибраторами. Для того чтобы уменьшить испарение влаги и снизить тепловые потери, верх кассеты закрывают брезентом или транспортерной лентой.

Тепловая обработка осуществляется паром, подводимым к паровым отсекам кассеты, два из которых расположены по бокам кассеты и один — посредине. Таким образом, от каждого парового отсека прогреваются два изделия.

Режим тепловой обработки, принятый на заводе № 12, следующий: подъем температуры — 2 час., пропаривание — 4 час. и выдержка после отключения пара — 2—4 час.

Контроль за соблюдением этого режима осуществляется по показаниям температур в паровых отсеках, получаемым при помощи термометра. Прогрев изделий ведется при температуре в паровых отсеках около 95°.

Сразу же после окончания тепловой обработки панели распалубливают. Эта операция при использовании немеханизированной кассеты является трудоемкой, занимает много времени и требует непрерывного использования мостового крана.

22

На механизированной же кассете операции по распалубке изделий и сборке кассеты производятся в течение короткого срока и вызывают необходимость в кране только для извлечения из кассет готовых панелей и отправки их на передаточную тележку.

Склад, куда транспортируют панели, оборудован специальными пирамидами для установки изделий в вертикальном положении.

На основании опыта работы полигона при заводе ДРО в г. Выксе и эксплуатации кассет на заводе № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов выявлены следующие их положительные качества: надежность в работе; легкость создания побудительной вибрации с частотой 2800 кол/мин. и амплитудой 0,1—0,25 мм даже при незначительной мощности вибраторов (1,6—6,4 квт); возможность легко производить переналадку кассеты на выпуск панелей различных типоразмеров.

К недостаткам кассет, применяемых на заводе № 12, относятся: образование паровых отсеков внутри кассеты, связанное с исключением одного или нескольких рабочих формовочных отсеков, что приводит к снижению производственной мощности кассеты; необходимость навешивать в довольно неудобном положении вибраторы на торцы кассеты после каждой ее сборки; наличие в панели шести отверстий, образующихся от стяжных болтов при изготовлении изделий в немеханизированной кассете и требующих последующей заделки.

Формовочный цех завода № 12 (рис. 13), запроектированный Гипростройиндустрией, рассчитан на выпуск изделий для строительства крупнопанельных домов с жилой площадью 100 тыс. м<sup>2</sup> в год. Цех состоит из двух смежных пролетов. В каждом из них установлено по четыре кассеты.

В новых формовочных цехах завода будут установлены механизированные кассеты, прошедшие производственную проверку. В их конструкцию внесут лишь незначительные изменения. Технологический процесс разборки, чистки и сборки кассет останется без изменений.

Намечено изменить способ транспортировки бетонной смеси. Для этого каждый пролет оборудуют отдельной линией пневмоподачи смеси от бетоносмесительного цеха до кассет. По бетоноводам смесь будет поступать прямо к месту ее укладки. Для этой цели под бетономешалкой смонтирован камерный питатель с ресивером. Бетонная смесь под действием сжатого воздуха давлением до 6 атм будет подаваться по бетоноводу в гаситель, где воздух расширяется. При этом бетонная смесь опустится на дно гасителя, откуда будет поступать в кассету по гофрированному рукаву Ø 245 мм. Таким образом, транспортировка и укладка бетонной смеси полностью механизуются.

23

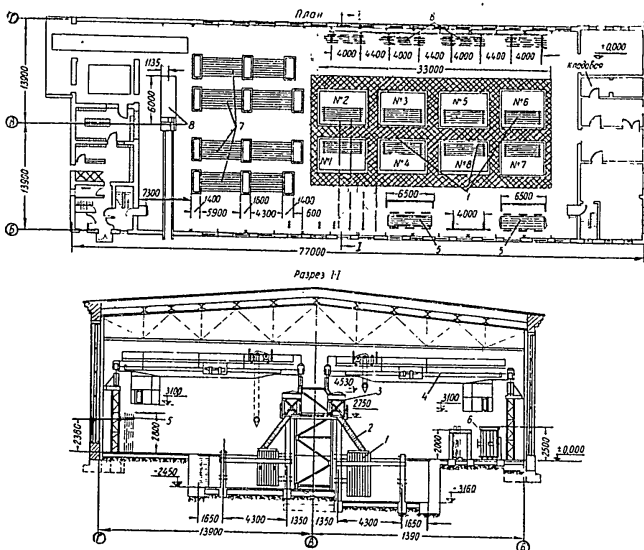


Рис. 13. Первый формовочный кассетный цех завода № 12

- 1 — кассетные формы для изготовления панелей стен и перекрытий; 2 — шланг пневмоподачи бетона; 3 — гаситель давления; 4 — мостовой кран; 5 — место хранения арматурных каркасов; 6 — кассетные формы для изготовления панелей стен подвалов; 7 — кассетный склад панелей; 8 — тележка для транспортирования готовой продукции

В остальном технологический процесс в формовочных цехах аналогичен процессу, сложившемуся на полигоне завода. В дальнейшем режим тепловой обработки будет значительно сокращен, так как при теперешнем режиме прочность бетона изделий составляет более 70% проектной, а такая прочность для распалубки и транспортировки изделий не требуется. Изделия из кассет будут извлекаться при достижении бетоном прочности  $60-80 \text{ кг/см}^2$ . Такая прочность вполне достаточна, так как изделия вынимают из кассет и транспортируют в вертикальном положении. Окончательную отпускную прочность панели набирают в теплом промежуточном складе в течение 3-4 дней.

24

Готовые изделия вывозят на склад на самоходной тележке грузоподъемностью 10 т, оборудованной пирамидой для установки панелей в вертикальном положении.

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ В КАССТАХ

#### ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К БЕТОННОЙ СМЕСИ

За рубежом при вертикально-кассетном способе формования применяют литые бетонные смеси с большим содержанием цемента. Для наших заводов сборного железобетона этот путь не приемлем не только из-за увеличения расхода цемента, но и потому, что время твердения бетона значительно увеличивается.

Поэтому перед работниками завода № 12 была поставлена задача организовать производство панелей с применением таких бетонных смесей, которые при данной технологии обладают минимально допустимой осадкой конуса.

Для этого был изготовлен ряд образцов из бетонной смеси различных составов.

Подбор наиболее удобоукладываемой бетонной смеси производится отдельно для панелей перекрытий, внутренних стен и перегородок, так как условия уплотнения смеси в кассете для каждой из этих групп изделий различны. Труднее всего укладывать бетонную смесь в кассету для изготовления перегородок, так как в ней расстояние между разделительными стенками составляет всего лишь 60 мм. Кроме того, имеют место довольно густое армирование и более слабая вибрация, чем в других кассетах. Легче всего укладывать бетонные смеси в кассету для внутренних стен, ибо в этом случае расстояние между разделительными стенками равно 120 мм при незначительном армировании. Поэтому для каждой группы изделий предложен свой состав бетонной смеси.

Чтобы залить одну кассету требуется 10-15 м<sup>3</sup> бетона. В связи с этим следует производить замесы подряд один за другим до тех пор, пока кассета не будет заполнена. Такая организация подачи бетонной смеси не вызывает частого изменения ее состава.

Необходимо, чтобы все составы бетонной смеси отвечали следующим требованиям:

1. Заполнители должны соответствовать ГОСТам: гравий — 8268-56, щебень — 2780-50, песок — 8736-58. Желательно применять пески с содержанием пылевидной фракции до 3%, а крупный заполнитель — до 1% (по весу).

2. Дозирование всех составляющих бетона производится по весу согласно дозировке, заданной лабораторией завода. Точность дозирования цемента и воды должна быть  $\pm 1\%$ , а заполнителей  $\pm 2\%$ .

25

3. В зимнее время температура заполнителей при подаче в расходные бункера бетоносмесительного цеха не должна быть менее 5° и более 50°.

4. Температура бетонной смеси при укладке в кассету должна быть не менее 15°. При температуре бетонной смеси по выходе из бетономешалки более 30° обязательно надо проверить ее на уменьшение осадки конуса во времени, чтобы обеспечить требуемую подвижность смеси во время укладки в кассету.

5. Время от момента окончания перемешивания бетонной смеси в бетономешалке до ее полной укладки в кассету не должно превышать 45 мин.

6. Для лучшей укладки бетонной смеси в кассету желательно применять вместо щебня гравий. Максимальная крупность гравия для панелей перекрытий и перегородок не должна превышать 20 мм. Для внутренних же стен, в целях экономии цемента, без ущерба для удобоукладываемости бетонной смеси в кассете, целесообразно применять гравий или щебень с максимальной крупностью заполнителя — 40 мм.

Состав бетонной смеси подбирается после предварительного испытания цемента и заполнителей. При этом преследуется цель добиться минимального расхода цемента для получения бетона заданной прочности, причем бетонная смесь должна удовлетворять требованиям технологии производства.

Расчет состава бетонной смеси на заводе № 12 Управления предприятий сборного железобетона Главмоспромстройматериалов производился по инструкции ЦНИЛ б. Главмосжелезобетона. Но при этом получались такие бетонные смеси, которые плохо укладывались в кассету; на поверхности изделий был виден рисунок крупного заполнителя. Увеличение количества песка улучшило удобоукладываемость смеси в кассете. Исходя из экономии цемента количество песка от общего количества заполнителя составляет 43%.

Следует отметить, что выбор оптимального состава бетонной смеси в некоторой степени зависит от интенсивности вибрации смеси. Опыт работы завода показал, что при параметрах вибрации, создаваемых вибратором С-413, наиболее рационально применять бетонные смеси со следующими осадками конуса:

- для панелей перекрытий толщиной 100 мм . . . . . 11—13 см
- » внутренних стен толщиной 120 мм . . . . . 7—8 »
- » перегородок толщиной 60 мм . . . . . 16—18 »

При замене вибратора С-413 вибратором С-414 следует применять бетонные смеси с меньшей осадкой конуса. Так например, при формировании панелей перекрытий в кассетах с применением вибраторов С-414 и с проработкой бетонной смеси в местах малых амплитуд вибрации глубинными вибраторами И-21А или И-116 можно применять бетонные смеси с осадкой конуса 6—7 см.

26

На экспериментальной базе НИИжелезобетона при формировании ребристых и овалнопустотных панелей в кассете высотой 3 м и шириной 1,4 м создавалась интенсивная вибрация «плавающим» виброрессором или вибропустотообразователями. В этом случае в отсеки толщиной 20—25 мм укладывали бетонные смеси с осадкой конуса 1—2 см.

В качестве примера в табл. 2 приведены рабочие составы бетонной смеси на 1 м<sup>3</sup> бетона, принятые заводом № 12.

Таблица 2

Компоненты	Составы на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Цемент М 500	260	275	285	240	250	265
Песок	775	760	745	805	790	775
Щебень фракции 5—20 мм	1075	1050	1030	—	—	—
Щебень фракции 5—40 мм	—	—	—	1110	1085	1070
Вода	193	203	213	175	185	194
Осадка конуса, см	7	12	17	7	12	17

Применение бетонных смесей с такой относительно большой осадкой конуса по сравнению с жесткими смесями, обычно употребляемыми на заводах сборного железобетона, вызывает увеличение расхода цемента примерно на 25%. Несмотря на это, расход цемента на 1 м<sup>2</sup> жилой площади фактически не увеличивается. Это объясняется тем, что сплошные панели перекрытий, изготовляемые в кассетных формах, имеют толщину только 100 мм, а марку бетона — 150 вместо 200 в многпустотных панелях.

#### УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

При вертикально-кассетном способе формирования энергию вибрации можно расходовать более рационально, чем при изготовлении изделий на виброплощадках. Некоторые конструкции кассет позволяют создавать такие условия, когда в результате применения вибраторов небольшой мощности достигаются относительно большие амплитуды колебания. Техническая характеристика вибраторов, используемых для уплотнения смесей в вертикальных кассетах, приведена на стр. 28.

На полигоне завода ДРО в г. Выксе и на заводе № 12 при загрузке 35 т бетонной смеси в кассеты весом 44—50 т побудительная вибрация с амплитудой 0,1—0,25 мм и частотой 2800 кол/мин. создается четырьмя вибраторами С-414 или С-413 общей мощностью не более 3,2 квт.

27

Техническая характеристика вибраторов, применяемых для уплотнения бетонной смеси в вертикальных кассетных формах

Показатели	Единица измерения	Вибраторы			
		С-413	С-414	И-21 А	И-116
Мощность электродвигателя	квт	0,4	0,8	1,0	1,0
Кинетический момент	(кг-см)	4,0	6,5	0,82	0,35
Число колебаний в мин.	—	2800	2800	5700	10000—14000
Наружный диаметр вибробулавы глубинного вибратора	мм	—	—	75—50	76—51
Длина гибкого вала	»	—	—	3100	3100
Вес					
вибрирующей части	кг	41	43,5	7,6—3,6	8,7—4,25
полный	»	41	43,5	31—27	33,8—29,35

НИИжелезобетон совместно с заводом № 12 изучил вибрацию, возникающую во время формирования в кассетах. Амплитуда и частота колебаний замерялись вибрографом ВР-1.

Завод ДРО в г. Выксе поставил заводу № 12 кассеты с вибраторами С-413, установленными так, что их эксцентрики вращались в плоскости, параллельной плоскости разделительных стенок (рис. 14а). В этой плоскости разделительные стенки имеют очень большую жесткость. Амплитуда колебаний их не превышала 0,01 мм.

Отсутствие вибрации на кассетах вынудило завод применять в первый период формирования бетонной смеси с осадкой конуса

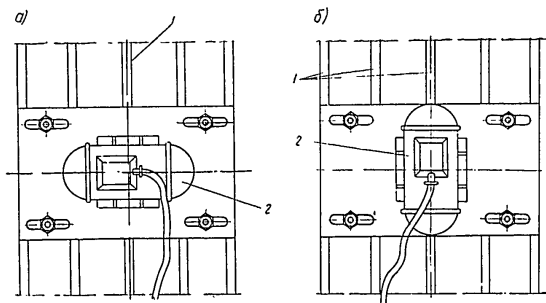


Рис. 14. Схема установки вибраторов на кассете  
а) неправильная; б) правильная  
1 — разделительные стенки; 2 — вибратор С-414

более 20 см с последующим штыкованием. Но несмотря на это не удавалось заполнить бетонной смесью пространство под деревянными пробками и в некоторых местах на поверхностях панелей проступал рисунок крупного заполнителя.

Когда же вибраторы повернули на 90° против их прежнего положения, то эксцентрики стали вращаться в плоскости, перпендикулярной плоскости разделительных стенок (рис. 14 б). В этом направлении их жесткость незначительна, поэтому кинетической энергии вибратора достаточно, чтобы на разделительных стенках получать вибрацию с амплитудой 0,1—0,25 мм. Побудительная вибрация с такой амплитудой позволила изготавливать изделия хорошего качества. Для дальнейшего увеличения амплитуды вибрации следует устанавливать вибраторы С-414 или И-117. При одинаковой частоте их кинетический момент на 60% больше, а мощность вдвое выше, чем у вибраторов С-413. В дальнейшем целесообразно предусмотреть установку на разделительных стенках дебалансных валов или пневматических ударных вибраторов, передающих вибрацию сразу на две разделительные стенки.

Вообще же вибраторы С-413 и С-414 или аналогичные им вибраторы старого выпуска И-7 и И-117 не рассчитаны на эксплуатацию в положении, указанном на рис. 14 б. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы вибраторы находились в исправном состоянии.

Чтобы выявить как распределяются амплитуды колебаний по всей поверхности разделительной стенки, кассету, в которой формировались панели перекрытий, собирали без установки наружного жесткого щита. Вибрация стенки замерялась на четырех уровнях (рис. 15). В результате было установлено, что в местах зажатия стенки около перегородок (бортовых уголков) и стяжных болтов амплитуда вибрации значительно уменьшается. Если форма хорошо собрана, амплитуда в этих местах равна в среднем 0,05 мм.

Около болтов зона с меньшей амплитудой вибрации незначительна и бетонная смесь уплотняется за счет вибрации, передаваемой от соседних участков смеси.

Виброграммы, снятые со свободно стоящей вибрирующей стенки показали, что амплитуда вибрации около бортовых уголков почти не уменьшается. Это и показано пунктиром на рис. 15. Таким образом, можно сделать вывод, что уменьшение амплитуды вызвано зажатием разделительной стенки. На графике колебаний кассеты для формирования перегородок ВП-1 (рис. 16) видно, что при наличии перегородок, имеющих большую ширину, происходит уменьшение амплитуды вибрации не только около них, но и во внутренней зоне разделительной стенки.

Уменьшать интенсивность вибрации на кассете для перегородок ВП-1 и ВП-2 особенно нежелательно ввиду того, что ширина отсеков в этой кассете значительно меньше, чем в других кас-

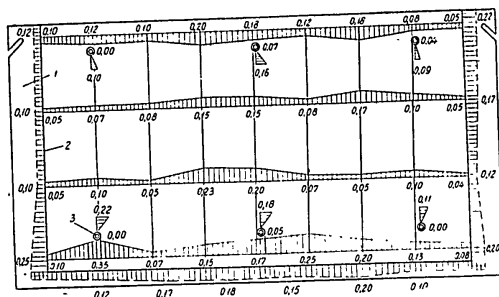


Рис. 15. Распределение амплитуд колебаний по стенкам кассеты  
1 — разделительная стенка; 2 — перегородка отсека, 3 — стяжной болт

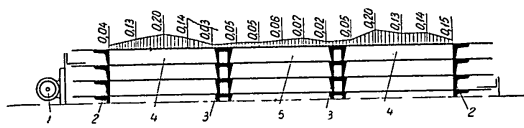


Рис. 16. График колебаний по разделительной стенке кассеты с тремя зонами для формирования перегородок

1 — вибратор; 2 — перегородки отсеков из угловой стали; 3 — перегородки из швеллеров для образования зон в отсеках; 4 — крайние зоны отсеков; 5 — средняя зона отсеков

сетах и составляет всего 60 мм. К тому же в местах наименьших амплитуд вибрации кассеты установлены закладные деревянные детали. Процесс формирования в этой кассете усложняется еще и тем, что на ней установлены только два вибратора С-413. Стенки, на которых нет вибраторов, вибрируют с амплитудой на 10—30% меньшей, чем стенки, на которых они установлены.

В связи с тем, что вибрация является одним из решающих факторов, влияющих на заполнение кассеты бетонной смесью и на уплотнение последней, необходимо усилить вибрацию за счет установки дополнительных вибраторов. Замеры вибрографом позволили установить, что распределение амплитуд вибрации по разделительной стенке и их величина мало зависят от места установки дополнительных вибраторов. Несколько луч-

шие результаты получаются при установке вибратора сверху на разделительной стенке.

Надо отметить, что в процессе заполнения кассеты бетонной смесью амплитуда вибрации в общем уменьшается примерно на 20—30%, но в некоторых точках стенки она может возрастать. Общее ее уменьшение вызвано увеличением вибрируемой массы и возникающими при этом дополнительными сопротивлениями бетонной смеси, как вязкой жидкости.

Временное уменьшение бения амплитуды вибрации не сказывается отрицательно на уплотнении бетонной смеси, так как общее время вибрации составляет около 20 мин. Практически же для уплотнения бетонной смеси с такой большой осадкой конуса достаточно одной минуты. Увеличение времени вибрации до 20 мин. вызвано требованиями распределения бетонной смеси в кассете.

Во время вибрации бетонная смесь ведет себя как жидкость и при заполненной кассете создает давление на внешние жесткие стенки в несколько десятков тонн. Поэтому нельзя подавать бетонную смесь только в один отсек или в несколько стоящих рядом отсеков, оставляя другие незаполненными. Такая заливка может привести к деформации разделительных стенок.

В зонах слабой вибрации при уплотнении глубинными вибраторами бетонной смеси с осадкой конуса 15 см происходит ее расслоение. Крупный заполнитель опускается и сверху остается слой раствора 10—15 см. Поэтому при бетонной смеси такой большой подвижности слишком интенсивную вибрацию в верхней зоне применять не следует. Бетонная смесь в этой зоне обычно хорошо укладывается при вибрации, получаемой ею от вибраторов, установленных на кассете.

Вибрация с амплитудой 0,1—0,25 мм при частоте 2800 кол/мин обеспечивает уплотнение бетонной смеси и не приводит к существенному ее расслоению. Но в углах кассеты, где амплитуда вибрации менее 0,1 мм и бетонная смесь плохо уплотняется, следует применять вибрирование глубинными вибраторами только в течение 5 сек.

При слабой вибрации требуется вводить в бетонную смесь большее количество песка для того, чтобы повысить ее удобоукладываемость. С повышением же амплитуды вибрации следует уменьшать осадку конуса смеси и коэффициент избытка раствора.

В настоящее время на заводе № 12 из-за слабой вибрации применяются бетонные смеси с осадкой конуса 7—17 см.

Применение бетонных смесей с такой большой осадкой конуса приводит в верхней зоне к нежелательным явлениям, связанным с усадкой бетона в процессе схватывания и твердения. В этом случае образуется ряд мелких трещин, а над верхним арматурным прутком — большая трещина, идущая иногда от одного края изделия до другого.

Чтобы предотвратить интенсивное испарение влаги из твердеющего бетона следует накрывать верхнюю часть кассеты транспортными лентами или любыми матами. Это значительно улучшает процесс твердения, но трещины над арматурой полностью не пропадают. Поэтому рекомендуется применять поверхностное вибрирование или трамбование бетонной смеси после потери ею подвижности с последующим закрыванием поверхности бетона транспортной лентой. В этом случае полностью ликвидируется образование трещин в верхней части отформованных изделий.

Тепловая обработка отформованных изделий даже при высокой температуре прогрева (100° в паровом отсеке) не вызывает появления усадочных трещин и пересушки бетона. Это следует объяснить незначительной поверхностью испарения — 2—4% от всей поверхности изделия — и применяемыми дополнительными мерами по укрытию поверхности бетона.

Исходя из результатов описанных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Вибраторы на торцах кассеты должны быть установлены так, чтобы их эксцентрики вращались в плоскости, перпендикулярной поверхности разделительной стенки (рис. 14б).

2. Следует устанавливать на кассете вибратор С-414 вместо С-413. В дальнейшем же целесообразно устанавливать на разделительных стенках дебалансные валы или пневматические ударные вибраторы, передающие вибрацию сразу на две разделительные стенки.

3. В связи с тем, что на кассетах вибраторы С-413 и С-411 работают в непредусмотренном при их проектировании вертикальном положении за вибраторами, во время их эксплуатации, следует установить усиленный надзор.

4. Необходимо всемерно стремиться к увеличению амплитуды колебаний, так как она находится около минимально допустимого предела.\*

5. В местах зажатия разделительных стенок и перегородок или стяжных болтов амплитуда колебаний значительно уменьшается.

6. Установка дополнительных вибраторов в любом месте разделительных стенок, на которых их не было, улучшает общую вибрацию бетонной смеси.

#### ФИКСАЦИЯ АРМАТУРЫ В КАССЕТАХ

В отсеке кассеты значительно труднее, чем в обычной опалубке, обеспечить проектное положение арматуры. При непра-

\* Согласно работ проф. А. Е. Десова (см. «Вибрированный бетон», Госстройиздат, Москва — 1956) минимальная амплитуда колебаний при вибрации бетонной смеси должна быть равна 0,1 мм при частоте 2800 кол/мин.

вильной фиксации арматурная сетка может получить значительные отклонения от проектного положения, что приведет к снижению несущей способности изделия.

В настоящее время в кассетах, как правило, применяют арматурные сетки. Для того чтобы защитный слой имел требуемую величину, на сетке с одной стороны располагают в шахматном порядке бетонные пластинки, привязывая их к сетке проволокой. С противоположной стороны сетки, чтобы предотвратить ее отклонение вглубь изделия, устанавливают проволочные пружины — «лягушки». Такие фиксаторы ставят как по горизонтали, так и по вертикали, примерно через метр.

Опыт применения проволочных пружин показал, что они недостаточно хорошо прижимают арматурные сетки к разделительной стенке. Наблюдается также отскакивание от сетки пружин во время сборки кассеты или укладки бетонной смеси. Поэтому пружины не гарантируют точного положения арматурной сетки.

Сверху кассеты положение арматурной сетки фиксируют установкой на ней бетонных пластинок или пластмассовых колец-фиксаторов. Сетку прижимают к разделительной стенке вилками, сделанными из обычной арматурной проволоки диаметром около 5 мм (рис. 17).

Перед окончанием бетонирования вилки снимают и их используют при следующем бетонировании.

Точную фиксацию арматурной сетки в нижней и средней зонах отсека на заводе обеспечивали путем дополнительной при-

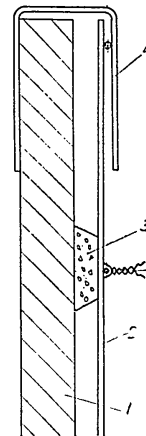


Рис. 17. Схема фиксации верхней части арматурной сетки

1 — разделительная стенка; 2 — вертикальный пруток арматурной сетки; 3 — бетонная пластинка; 4 — вилка из арматурной проволоки  $\varnothing$  5 мм

варки коротких стержней, которые упирались в ту же разделительную стенку, что и пружины.

Лучшие результаты фиксации могут быть достигнуты при применении арматурных каркасов. В этом случае к ним привязывают бетонные пластинки требуемой толщины или устанавливают пластмассовые кольца.

Применение бетонных пластинок связано с относительно большой трудоемкостью их изготовления и крепления к арматуре. Кроме того, пластинки после их установки иногда изменяют свое положение, что приводит к смещению арматуры от проектного положения.

На заводе № 12 проверены фиксаторы в виде пластмассовых колец (рис. 18). Такие кольца испытывались на арматуре  $\varnothing 8$  и 5 мм. Аналогичные кольца могут быть изготовлены и для арматуры других диаметров.

Во время установки на арматуру пластмассовое кольцо, за счет присущей ему упругости, немного раздвигается в месте выреза. При этом пруток сетки входит в круглое отверстие фиксатора, плотно обжимаясь пластмассовым кольцом. Во время транспортирования и установки арматурных сеток возможные перемещения и повороты пластмассовых колец не могут привести к уменьшению защитного слоя.

Отскакивание пластмассовых колец от арматуры и их поломка при сильном механическом воздействии происходят не чаще, чем при применении бетонных пластинок.

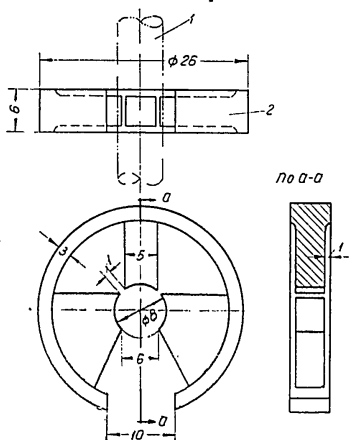


Рис. 18. Пластмассовый фиксатор для обеспечения защитного слоя бетона  
1 — пруток сетки; 2 — фиксатор

Фактической стоимостью фиксирующих пластмассовых колец, изготовленных в виде опытной партии, составила 3 коп. за штуку. При массовом их производстве одно кольцо будет стоить около копейки. Готовое пластмассовое кольцо обойдется не дороже, чем материал для изготовления бетонной пластинки. Это объясняется незначительным весом пластмассовых колец (около 1 г шт.) и возможностью изготавливать их механизированным способом. Затраты труда при установке пластмассовых колец на арматурную сетку сокращаются в два раза по сравнению с привязкой бетонных пластинок.

Пластмассовые фиксирующие кольца особенно выгодно использовать тогда, когда расстояние между разделительными стенками 40 мм и менее. В этом случае они обеспечивают фиксацию арматуры строго по центру отсека без применения дополнительных прижимных пружин.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Определение прочности бетона в изделиях на заводе № 12 производится путем контроля кубиковой прочности. При вертикально-кассетном способе производства довольно трудно создать одинаковые условия уплотнения и тепловой обработки для бетона изделий и кубов.

В этих целях формы для кубов (10×10×10 см) закрепляются зажимами на краях разделительных стенок (рис. 19). Виброграммы показали, что в этих местах амплитуда вибрации

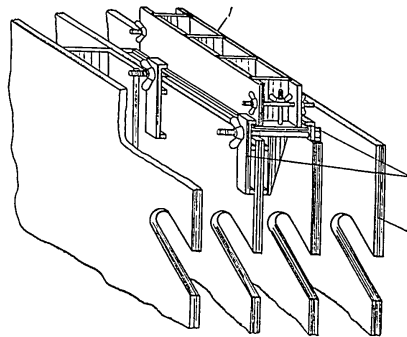


Рис. 19. Схема крепления формы для кубов на кассете при определении прочности  
1 — форма, 2 — зажимы, 3 — разделительные стенки кассеты



обычно равна средней амплитуде вибрации разделительной стенки. В некоторых же случаях поверхность разделительной стенки в углах колеблется с максимальной амплитудой; поэтому в каждой отдельной кассете место установки формы должно быть определено после снятия виброграммы.

В закрепленную на разделительной стенке форму укладывают бетонную смесь в момент, когда кассета заполнена на три четверти объема. Бетонная смесь вибрируется в форме так же, как и бетонная смесь изделия, что обеспечивает их одинаковый коэффициент уплотнения.

В дальнейшем кубы должны твердеть в одинаковых или сравнимых условиях с тем, чтобы по кубиковой прочности можно было бы судить о прочности бетона в изделиях.

Вначале заполненные уплотненной бетонной смесью формы устанавливали на верх кассеты и укрывали их транспортной лентой. Прочность таких кубов была в несколько раз ниже, чем бетона в изделии.

В дальнейшем тепловую обработку кубов стали вести в бетоне изделия или на верху кассеты, но при этом накрывали форму утепленным коллаком (рис. 20).

Утепленные коллаки устанавливают на мягкую резиновую прокладку, расположенную по их контуру. Эта прокладка плотно прилегает к поверхности бетона кассеты и тем самым предотвращает попадание наружного воздуха внутрь коллаков.

В результате сравнения прочности кубов, пропаренных под коллаком с прочностью кубов, взятых из верхнего угла изделия,

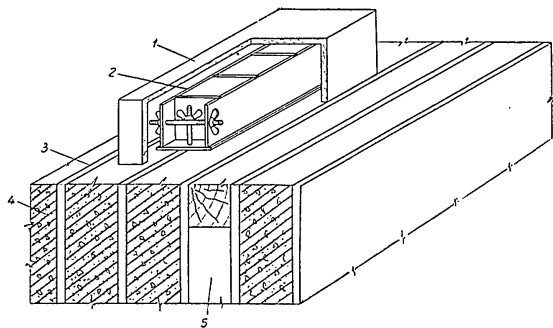


Рис 20. Схема тепловой обработки кубов  
1 — коллак; 2 — форма с кубами; 3 — разделительная стенка кассеты; 4 — панель; 5 — паровой отсек

было установлено, что прочность бетона в указанной части изделия всегда бывает на 30—90% больше, чем у кубов, пропаренных под коллаком. Это объясняется тем, что в кассете основная масса бетона проходит тепловую обработку в замкнутом пространстве и имеет более благоприятные условия для твердения.

Чтобы выявить разницу между кубиковой прочностью и прочностью бетона в различных точках изделия, в последнем была проверена прочность бетона тремя способами: при помощи ультразвука, с использованием молотка Физделя и путем непосредственного извлечения кубиков из тела изделия. Таким образом удалось выяснить, что прочность бетона в панели является более значительной, чем в кубах, причем в средней части изделия она больше, чем по краям.

На рис. 21 показаны полученные средние результаты прочности бетона кубов, взятых из различных мест панели. Испытания на сжатие этих кубов и кубов, твердевших в форме под коллаком, показали, что кубы, твердевшие даже в наиболее слабых местах панели, имели большую прочность.

Пониженная прочность краев панели по сравнению с прочностью в средней ее части объясняется тем, что выступающие части разделительных стенок способствуют значительному охлаждению бетона этой зоны. В нижней же части панели отрицательно влияет на прочность и скапливающийся конденсат.

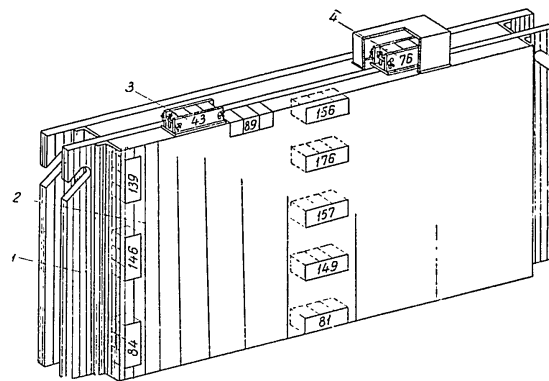


Рис 21. Средние результаты прочности бетона кубов, помещенных в различных местах отсека  
1 — разделительная стенка кассеты; 2 — панель; 3 — неутепленная форма с кубами; 4 — форма с кубами под коллаком

Самая верхняя часть изделия имеет тоже низкую прочность, так как несмотря на укрытие поверхности бетона транспортной лентой частично испаряется влага, но уже на глубине 10 см прочность бетона оказывается значительно выше.

В результате испытаний было установлено, что десятичасовой тепловой режим (3 час. на подъем температуры, 7 час. на прогрев изделий при температуре в пирвом отсеке 95°) обеспечивает высокую прочность бетона почти по всей панели.

На основании проведенных работ было принято решение — для определения кубиковой прочности бетона панели вести тепловую обработку бетона кубов под колпаком. Испытывать их на прочность следует через 4 часа после распалубки. На первом этапе освоения кассетного способа прочность бетона панели принимают на 15% больше, чем у испытанных кубов.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ФОРМОВАНИЕ В КАССЕТАХ ОВАЛЬНОПУСТОТНЫХ И РЕБРИСТЫХ ПАНЕЛЕЙ

В настоящее время за границей формируют вертикально-кассетным способом только сплошные изделия. Небольшое количество многопустотных изделий изготавливают вертикальным способом в виброформах. При производстве сплошных изделий значительно упрощается технология формования, позволяющая пользоваться несложным формовочным оборудованием, но зато увеличивается расход бетона.

На экспериментальной базе НИИ железобетона были проведены способы формования многопустотных изделий комплектом вибропустотообразователей и ребристых — «плавающим» виброрессоном.

Формование многопустотных панелей производилось в кассете высотой 3 м и шириной 1,4 м. Кассета рассчитана на одновременное изготовление двух изделий. Заданная толщина их обеспечивается швеллерами, установленными между разделительными стенками.

Комплект (рис. 22) состоит из трех овальных пустотообразователей размерами 350×350×110 мм. Их крепят к двутавровой балке № 24. Чтобы обеспечить более полную передачу энергии вибрации от вибратора к пустотообразователям, к балке с боков приварены четыре десятимиллиметровые стальные пластины. Сверху на балке укреплен вибратор И-7.

Формование начиналось с установки вибропустотообразователей и арматурных сеток в очищенную, смазанную и собранную форму. Затем подавали бетонную смесь, приготовленную из крупнозернистого песка фракции 0—5 мм с включением 10—20% гравия фракции 5—10 мм. Для формования панелей с толщиной стенки 12—20 мм (рис. 23) применялась бетонная смесь с осадкой конуса 1—2 см. Жесткость этой смеси по техническому вискозиметру — 15—20 сек. Применение смеси с такой не-

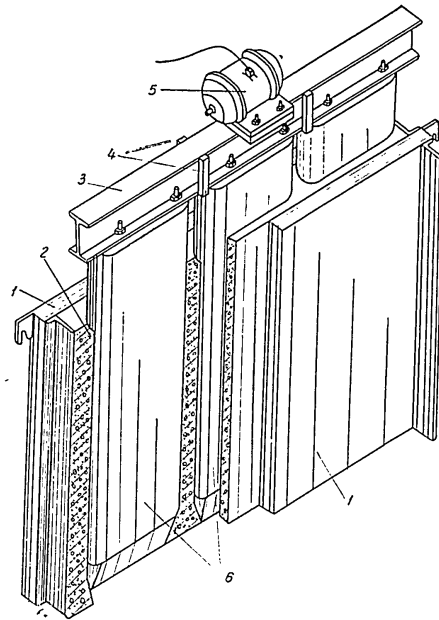


Рис. 22 Схема расположения вибропустотообразователей при формировании в кассетах панелей с овальными пустотами  
1 — стенки кассеты; 2 — бетон; 3 — траверса; 4 — ребра жесткости; 5 — вибратор И-7; 6 — пустотообразователи

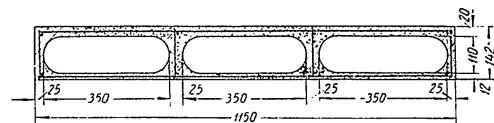


Рис. 23 Поперечный разрез экспериментальной панели с овальными пустотами

большой осадкой конуса при незначительной толщине стенки стало возможным потому, что была применена интенсивная внутренняя вибрация.

Результаты замеров амплитуд вибрации на свободно стоящих вибропустотообразователях показаны на рис. 24. В процессе заполнения кассеты бетонной смесью верхний ее слой все время уплотнялся под действием интенсивной вибрации с амплитудой не менее 0,35 мм при частоте колебаний 2800 кол/мин. При кассетном производстве смесь уплотняется в высокой форме, в замкнутом пространстве, поэтому гашение амплитуды вибрации будет несколько больше, чем при горизонтальном формовании изделий. Нижнему слою передается уже значительно ослабленная вибрация, но так как в нем бетонная смесь уже уплотнена, то такая вибрация способствует лишь более полному удалению пузырьков воздуха, оставшегося между отформованным изделием и опалубкой.

В верхней части формируемого изделия подобного уменьшения амплитуды вибрации не происходит. Здесь наблюдаются раковины от оставшегося воздуха, характерные для этого способа производства.

После двухчасовой выдержки пустотообразователи извлекали. Удельное усилие сцепления с ними бетонной смеси при кассетном способе составляет около 100 г/см<sup>2</sup>, то есть вдвое

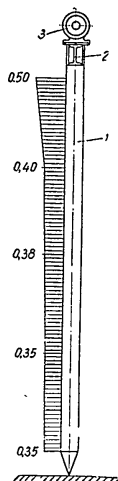


Рис. 24 Распределение амплитуд колебаний по высоте пустотообразователя  
1 — пустотообразователь, 2 — траверса, 3 — вибратор И-7

больше, чем при горизонтальном изготовлении панелей. При горизонтальном формовании бетонная смесь во время извлечения пустотообразователей может расширяться. Например, пригрузочные щиты, создающие удельное давление на бетонную смесь 20 г/см<sup>2</sup>, в процессе извлечения пустотообразователей поднимаются приблизительно на 3 мм. В кассетах «расширения» изделия произойти не может и поэтому увлекаемая бетонная смесь сильнее сжимает пустотообразователи.

При наличии вмятин на пустотообразователях усилие, необходимое для их извлечения, еще возрастает, поэтому они должны иметь уклон не менее 2 мм на 1 пог. м. При извлечении комплекта с большим количеством пустотообразователей из уплотненной бетонной смеси возникают значительные усилия, которые мостовой кран не всегда в состоянии преодолеть. В таком случае целесообразно для преодоления сцепления бетонной смеси с пустотообразователями применять домкраты. Как только сцепление нарушится, дальнейшее извлечение комплекта пустотообразователей можно производить при помощи мостового крана.

На экспериментальной базе изделия не подвергались тепловой обработке и твердели в цехе в течение 3—4 суток. Затем их распалубивали и устанавливали на стелд готовой продукции.

Во время экспериментального формования выяснилось, что без принятия специальных мер для обеспечения доступа воздуха в пустоты, в них образуется вакуум; он приводит не только к общему увеличению усилия, необходимого для извлечения пустотообразователей, но и к деформации нижней части изделия. Прорывающийся в пустоты воздух создает в нижней части свежотформованного изделия вмятины и разрывы. Чтобы открыть воздуху свободный доступ в пустоты, перед формованием на дно кассеты насыпали гравий и уже на него устанавливали комплект вибропустотообразователей. Отформованные изделия в этом случае имели в нижних торцах щелевидные отверстия. В производственных условиях можно использовать любой другой рациональный способ подачи воздуха в пустоты.

Процессы заполнения кассеты и уплотнения бетонной смеси при указанном выше способе не вызывают затруднений. Во время же извлечения пустотообразователей следует сверху прикрепить к стенам кассеты крышку с отверстиями, служащими как бы направляющими для прохода пустотообразователей. В противном случае последние во время своего движения увлекут за собой бетонную смесь и разрушат тем самым изделие.

Проведенные экспериментальные работы показали реальность организации производства в кассетах панелей с овальными пустотами.

Формование ребристых панелей осуществлялось в тех же формах, что и многпустотных, только средняя разделительная

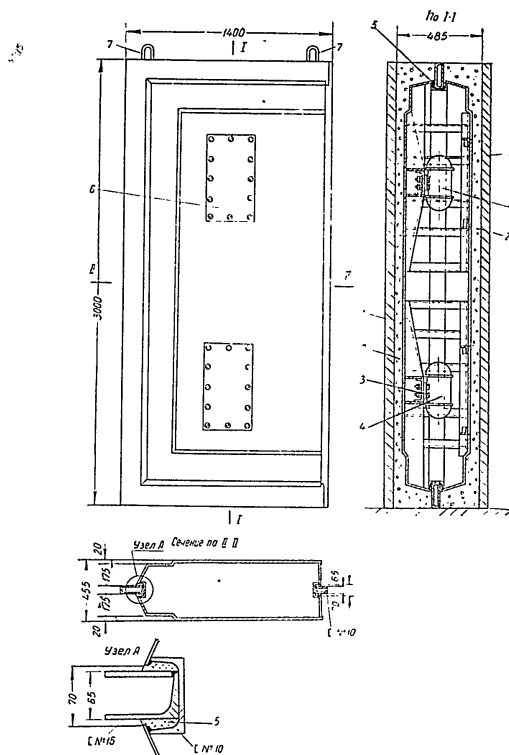


Рис 25 «Плавающий» вибратор для изготовления ребристых панелей (в разрезе I—I показаны тело бетона и разделительные стенки кассеты)  
 1 — разделительные стенки кассеты; 2 — бетон панели, 3 — стойка вибратора; 4 — вибраторы; 5 — резиновые прокладки, 6 — крышка; 7 — подъемные петли

стенка вынималась и заменялась «плавающим» вибратором (рис. 25).

«Плавающий» вибратор (рис. 26), соответствующий профилю ребристого изделия, вставляли в раму из швеллера, в которой он свободно закреплялся с применением резиновых про-

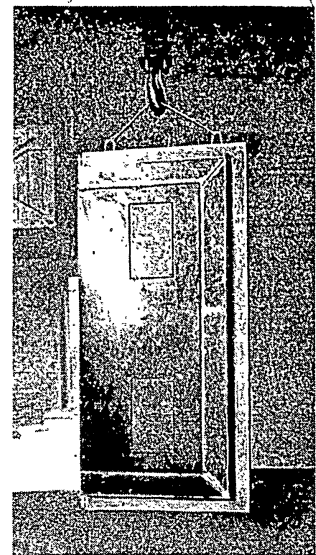


Рис 26 Общий вид экспериментального «плавающего» вибратора

кладок. Внутри кассона находились вибраторы. Свободная установка на резиновые прокладки «плавающего» вибратора в отсеке не вызвала затухания вибрации, и он работал в бетонной смеси как плавающий вибропустотообразователь. Это обеспечивало интенсивную вибрацию не менее 0,35 мм при частоте 2800 кол/мин. Такая вибрация позволила формировать изделия из бетонных смесей с осадкой конуса 1—2 см. При толщине полки 40 мм и более применяли смеси с гравием фракции 3—10 мм, а при толщине 20 мм и менее употребляли мелкозернистый песчаный бетон.

При формировании ребристых изделий вертикально-кассетным способом вначале устанавливали арматуру и собирали кассету так, чтобы обычные разделительные стенки чередовались с «плавающими» вибраторами. Затем в подготовленную кассету подавали бетонную смесь. Эксперименты показали, что во время формирования разделительная стенка (хотя и без установки вибратора) имеет амплитуду вибрации на 10—20% меньшую, чем вибратор. Такой вибрации разделительной стенки достаточно, чтобы уплотнить бетонную смесь в прилегающем к ней отсеке.

Следовательно, на кассету для восьми изделий достаточно двух виброекссенов. Одновременно их можно использовать и для прогрева изделий.

#### ВЫВОДЫ

Железобетонные изделия формируют в отсеках вертикальных кассет. Эти отсеки имеют большую высоту и относительно узкое (40—120 мм) пространство между разделительными стенками. В связи с этим приходится употреблять подвижные бетонные смеси с осадкой конуса от 7 до 17 см. По существу формование изделий сводится пока к «отливке» их с применением слабой побудительной вибрации.

Такая технология имеет ряд положительных моментов: бетонная смесь в короткий срок перемешивается в бетономешалках;

для подачи бетонной смеси в цех формования в требуемых объемах можно применять пневматическую транспортировку. Камерные питатели, работающие с использованном сжатом воздухе, обеспечивают бесперебойную доставку бетонной смеси по специальным бетоноводам прямо к месту ее укладки в кассету;

бетонную смесь легко уплотнить посредством побудительной вибрации (например, при частоте 2800 кол/мин. достаточна амплитуда колебаний около 0,2 мм);

нет необходимости пользоваться специальными пропарочными камерами и сложными, быстрознашивающимися формами;

отформованные изделия имеют только 2—4% открытых поверхностей; поэтому при тепловой обработке прочность бетона нарастает значительно быстрее, чем в изделиях при горизонтальном способе формования из аналогичных бетонных смесей.

Этот способ формования получает все большее и большее распространение и потому еще, что сборные детали, изготовленные в вертикальных кассетных формах, отличаются высокой точностью размеров. При формовании панелей в вертикальных кассетах обе лицевые поверхности получаются высокого качества и требуют лишь незначительной шпаклевки. Это особенно важно при возведении перегородок и внутренних стен.

При таком способе формования размеры длины и ширины изделий выдерживаются с точностью до 2—5 мм, а высоты — до 2 мм.

Так как стеновые панели и перегородки в вертикальных кассетах формируются в положении, соответствующем их будущему рабочему состоянию, устанавливая дополнительную монтажную арматуру не требуется.

При бетонировании панелей в вертикальном положении можно производить внутрицеховую перевозку изделий, если

распалубочная прочность бетона в них составляет 60—80 кг/см<sup>2</sup>. Эти изделия затем дозревают в промежуточных складах, расположенных в теплом помещении, где одновременно и комплектуется продукция.

Распалубка изделий с пониженной прочностью бетона позволяет увеличить оборачиваемость кассет. Следовательно общая металлоемкость производства при заданной производительности может быть снижена.

Производительность труда одного рабочего при этом методе формования выше, чем при агрегатно-поточном, так как в кассетах формируют одновременно 8 панелей размером на комнату, а при использовании агрегатно-поточной технологии — одну панель со значительно меньшей площадью. При этом способе рабочие меньше подвергаются воздействию вибрации, чем на заводах сборного железобетона с обычными вибрационными установками. Применение мощных виброщадок для формования крупногабаритных изделий горизонтальным способом связано со значительным увеличением шума в цехе. Ведущаяся в настоящее время на заводах сборного железобетона борьба с вредным влиянием вибрации может быть наиболее эффективной при применении вертикально-кассетного способа производства.

Внедрение этого способа хотя и требует некоторого увеличения высоты формовочного цеха, но зато позволяет несколько уменьшить его производственную площадь.

На основании опыта освоения кассетного способа производства панелей в заводских условиях и экспериментальных исследований работ можно рекомендовать вертикальные кассеты не только для формования сплошных, но также ребристых и многопустотных изделий. Таким образом, этот способ производства панелей является столь же универсальным, как и горизонтальный способ изготовления изделий в обычных формах

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Конструкции форм, применяемых при изготовлении железобетонных изделий кассетным способом . . . . .	4
Кассетные формы небольших размеров . . . . .	4
Производство панелей в кассетах на Магнитогорском заводе крупнопанельного домостроения . . . . .	6
Изготовление тонкостенных панелей с швеллерным и двутавровым сечениями в кассетных формах НИИТ . . . . .	9
Производство панелей в кассетах на заводе № 12 Главмоспромстройматериалов . . . . .	15
Особенности технологии формования в кассетах . . . . .	25
Требования, предъявляемые к бетонной смеси . . . . .	25
Уплотнение бетонной смеси . . . . .	27
Фиксация арматуры в кассетах . . . . .	32
Определение прочности изделий . . . . .	35
Экспериментальное формование в кассетах овалынопустотных и ребристых панелей . . . . .	38
Выводы . . . . .	44

Редактор инж В И Полубьева

Литературный редактор Л. И. Гольдин

Бюро технической информации  
Научно-исследовательского института организации,  
механизации и технической помощи строительству  
Академии строительства и архитектуры СССР

Подписное издание

Выпуск № 478/11

Адрес БТИ Москва, К-12, ул. Куйбышева 3/8, тел. Б 3-99-10

T-04693 Объем 3 п л Заказ 337 Цена 3 руб Тираж 5000

Типография № 2 Госстройиздата

## БРОШЮРЫ ПО ВОПРОСАМ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**Строительство крупнопанельного дома в Выксе.** Освещен опыт производства панелей перекрытий, внутренних стен и перегородок в вертикальных кассетных формах, двухслойных панелей наружных стен в поворотных формах, а также опыт монтажа дома Авторы — инженеры Д. С. Михайловский и Н. В. Несветов. Цена 5 руб.

**Сборный железобетон в промышленном и жилищном строительстве.** Из опыта строек черной и цветной металлургии. В сборнике-альбоме приведены фото и описания построенных из сборного железобетона бункерных эстакад, зданий машинных залов, обогатительных фабрик, кислородных станций и других промышленных объектов. Даны также характеристики ряда изделий из железобетона, изготавливаемых на полигонах и предприятиях — оконных переплетов, оград, опор, напорных труб и др., а также оборудования для производства предварительно напряженных железобетонных изделий. Цена 19 руб.

**Строительство жилых домов из крупных силикатных блоков.** В брошюре помещены две статьи, обобщающие опыт строительства жилых домов из крупных силикатных блоков в городах Сталинграде и Горьком. Особое внимание авторы уделяют технологии изготовления силикатных стеновых блоков. Цена 2 р. 50 к.

**Сборные крупнопанельные железобетонные кровли жилых зданий.** Автор — главный инженер мастерской № 4 Моспроекта Ю. Е. Аврутин. Описывается опыт применения на стройках Москвы новых конструкций железобетонных чердачных и бесчердачных кровель из крупных панелей для жилых зданий взамен стальных кровель. Цена 1 р. 75 к.

**Строительство зданий из сборных элементов в сельской местности.** Авторы — инженеры Е. В. Бочаров и Л. Я. Эдельштейн. Описан опыт треста «Новосибоблстрой» по строительству жилых домов из крупных шлакобетонных блоков и зерноскладов из сборных железобетонных элементов в Тогучинском районе Новосибирской области. Цена 1 руб.

**Изготовление и монтаж предварительно напряженных железобетонных конструкций.** Автор — гл инженер треста № 5 Министерства строительства Белорусской ССР А. Г. Тоноян. Описывается опыт производства и монтажа предварительно напряженных железобетонных колонн, балок, панелей перекрытий крупных промышленных зданий. Дается описание оборудования, применяемого при их изготовлении, сконструированного инженерно-техническими работниками трестов Министерства строительства Белорусской ССР. Цена 2 р. 50 к.

**Изготовление предварительно напряженных железобетонных настилов, балок и ферм.** Авторы — гл инженер Стройтреста № 47 В. П. Абовский и б. гл инженер треста «Стройматериалы-84» А. Е. Требесов. Описывается опыт трестов Красноярского совнархоза по изготовлению предварительно напряженных многослойных настилов ПКЖН, односкатных балок пролетом 12 м, балок НИИ-200 пролетом 18 м и блочных ферм пролетом 30 м. Цена 2 р. 25 к.

**Технология изготовления крупных шлакобетонных блоков.** Опыт Московского комбината строительных материалов треста «Мозэнергострой». Автор — б. гл инженер комбината А. И. Гудименко. В брошюре приведены данные о практических методах получения высококачественного шлакобетона.

а также об автоматизации отдельных производственных процессов, обеспечившей получение продукции стабильного качества. Цена 1 р. 50 к.

Опыт работы Ждановского завода предварительно напряженных железобетонных конструкций (трест «Донбассжелезобетон») Автор Б Д Балмази — главный технолог треста «Азовстальстрой» Даны описания оборудования и технологии изготовления предварительно напряженных двухслойных плит перекрытий, кровельных плит ПКЖН 1,5×12 и, шпал, опор ЛЭП, свай, балок 12—15 м, плит дорожных покрытий, метода определения готовности бетона для снятия напряжения по «уходу проволоки», технико-экономические показатели работы предприятия. Цена 4 руб

Производство керамзитового гравия и строительство зданий из керамзитобетона. Из опыта Сталинградгидростроя Авторы С С Киркоров, Ю Я Мальцев, Н И Колесников, В Г Авдеев. Описаны технологии изготовления керамзита, конструкция керамзитобетонных блочно-панельных жилых домов, организация строительно-монтажных работ Цена 4 р 50 к

Газобетон на пергидроле Автор — канд. техн наук П Д Кевеш (НИИ железобетон). Излагается опыт заводов Куйбышевгидростроя (в г Жигулевске) и Днепростроя (в г Новая Каховка) по изготовлению теплоизоляционного газобетона с использованием в качестве газообразователя раствора перекиси водорода — пергидроля. Описываются свойства этого газобетона и технология его производства. Приводятся также сведения об опыте приготовления на Рижском заводе строительных материалов конструктивного газобетона с применением пергидроля Цена 1 р 25 к

Установка для изготовления гипсосотовых крупноразмерных панелей. В брошюре описан опыт работы первой в СССР установки по производству перегородочных панелей размером на этаж, представляющих собой гипсосотовую рамку, облицованную двумя слоями гипса. Установка может применяться как в заводских условиях, так и в условиях строительных площадок Цена 1 р 25 к

Опыт изготовления армоцементных плит для кровель промышленных зданий. Автор брошюры гл инженер треста «Металлургстрой» Куйбышевского совнархоза Л В Миллидеев. Описано изготовление армоцементных плит, широко применяемых трестом с 1953 г взамен плит марки ПКЖ для покрытия промышленных зданий Цена 50 коп

Изготовление карнизных блоков. Автор инж ПКК «Индустройпроект» — Ю М Буравик и инж треста «Казметаллургстрой» А Р. Клочкова. Описано изготовление сборных карнизных блоков упрощенной конструкции, применяемых трестом «Казметаллургстрой» Карагандинского совнархоза на строительстве жилых зданий. Цена 50 коп

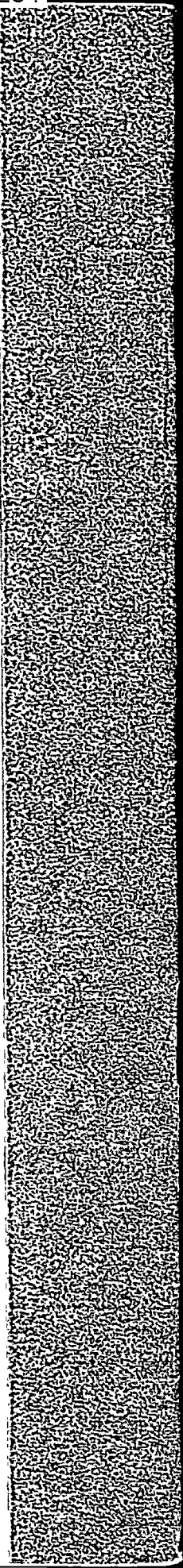
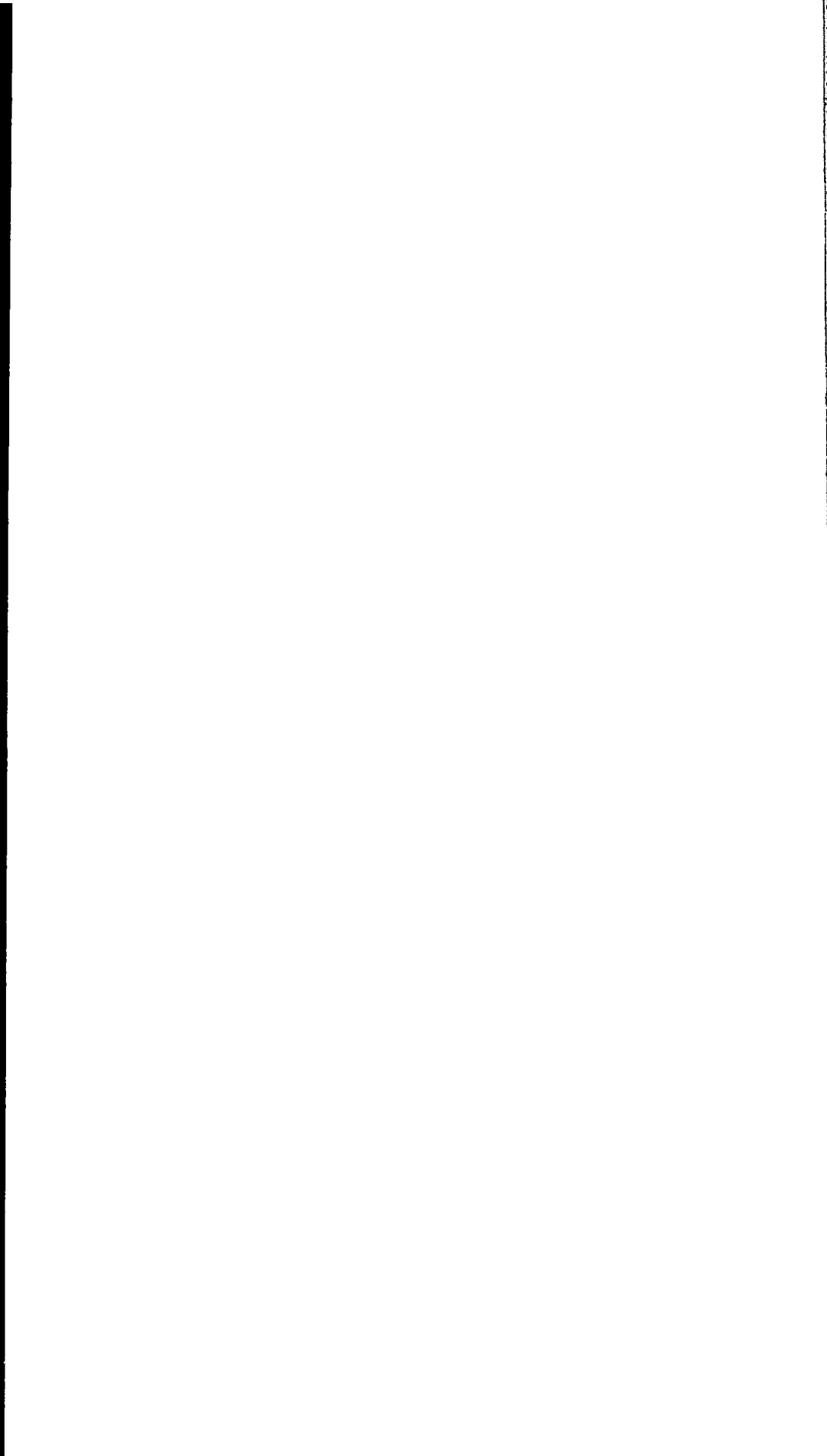
Изготовление крупных блоков из кирпича способом виброуплотнения. Авторы — инж Киеворгтехстроя Г Я Яворский и Б И Гирштель. Из опыта Главкневстроя. Оснащен опыт изготовления крупных блоков из кирпича на полуавтоматических установках ДП-18 с применением виброуплотнения при помощи специального виброщита с электромеханическим или пневматическим приводом Цена 1 руб.

Пеносиликатные и силикатные детали для одноэтажных жилых домов. Опыт Оршанского силикатного завода № 1 Белорусского совнархоза. Автор гл инж завода В А Градович. Описано изготовление пеносиликатных и силикатных панелей, блоков и строительство из них малоэтажных жилых домов. Освещена технология производства панелей, оборудование и используемые материалы. Цена 75 коп.

*Перечисленные издания высылаются наложенным платежом или с оплатой по счетам.*

*Заказы следует направлять по адресу: Москва, К-12 ул. Куйбышева, 718, телефон БЗ-99-10. Бюро технической информации НИИ организации, механизации и технической помощи Академии строительства и архитектуры СССР.*

*Бюро технической информации по требованию заказчиков высылает счета на оплату заказов. В этом случае деньги за литературу следует направлять банковским порядком на расчетный счет БТИ № 58561 в Куйбышевском отделении Госбанка Москвы*





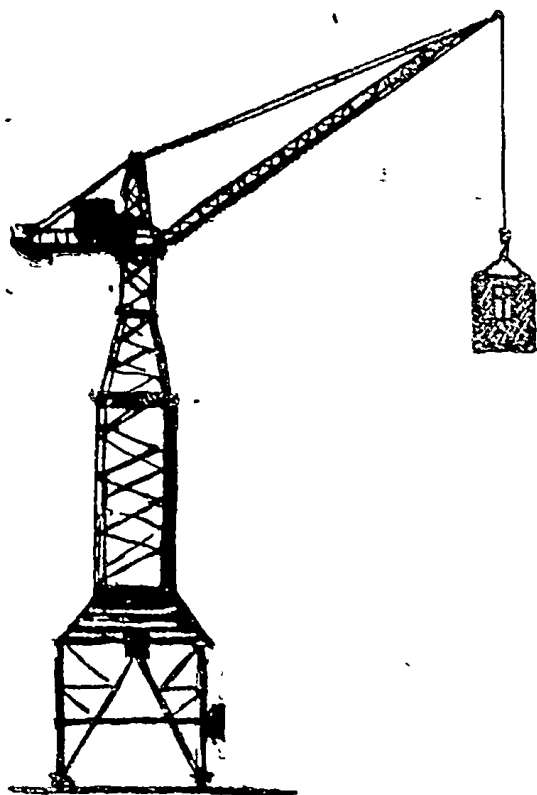
Общество по распространению  
политических и научных знаний РСФСР



Обмен передовым опытом

*К. А. ГЛУХОВСКОЙ, А. А. КРОНРОД,  
М. Л. АВРУТИН*

**Некоторые особенности  
производства крупных  
стеновых блоков из  
газобетона**



Л е н и н г р а д — 1 9 5 9

Общество по распространению политических и научных знаний РСФСР  
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ДОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОПАГАНДЫ

К. А. ГЛУХОВСКОЙ, А. А. КРОНРОД, М. Л. АВРУТИН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
КРУПНЫХ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ ИЗ ГАЗОБЕТОНА

(из опыта ордена Трудового Красного Знамени  
Строительного треста № 20)

---

Серия — *Строительная промышленность*

Выпуск 18

---

Л е н н и н г р а д  
1959

Семилетним планом развития народного хозяйства СССР предусматриваются капиталовложения на развитие строительной индустрии и промышленности стройматериалов в размере 110—112 миллиардов рублей.

Одними из предприятий стройиндустрии, намечаемых вводом в эксплуатацию в 1959—1960 гг., являются строящиеся в СССР несколько заводов ячеистого бетона (газобетона) производительностью 180 тыс. кубометров блоков в год каждый.

В число этих предприятий входит и завод газобетонных блоков Главленинградстроя, строящийся Стройтрестом № 20 в Автово (г. Ленинград). Первая очередь этого завода наполовину его полной мощности намечается к вводу в действие в первом полугодии 1959 г.

Все эти заводы строятся из расчета выпуска стенового материала для жилищного и промышленного строительства в виде мелких блоков, производство которых хорошо освоено как в практике отечественных заводов (г. Рига), так и в зарубежной практике (Польша, Швеция и др.).

Коллектив Строительного треста № 20 совместно с Научно-исследовательским институтом (НИИ) по строительству Минстроя РСФСР на протяжении нескольких лет проводил большую научно-исследовательскую и экспериментальную работу по получению крупных блоков из газобетона заданной прочности, объемного веса и теплопроводности. На строительстве завода ячеистого бетона в Автово смонтирована экспериментальная установка для изготовления промышленных образцов крупных стеновых блоков (рис. 1). Пока проектировался завод, на этой установке уже практически было освоено производство крупных стеновых блоков для строительства жилых домов (рис. 2).

#### **I. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ ИЗ ГАЗОБЕТОНА**

Производство газобетонных изделий широко распространено за рубежом и известно в СССР. Однако номенклатура производства ограничена изделиями небольшого размера или толщины вследствие трудностей, связанных с изготовлением крупных изделий.

Трудности изготовления изделий значительной толщины и размера заключаются в том, что последние при тепловой обработке

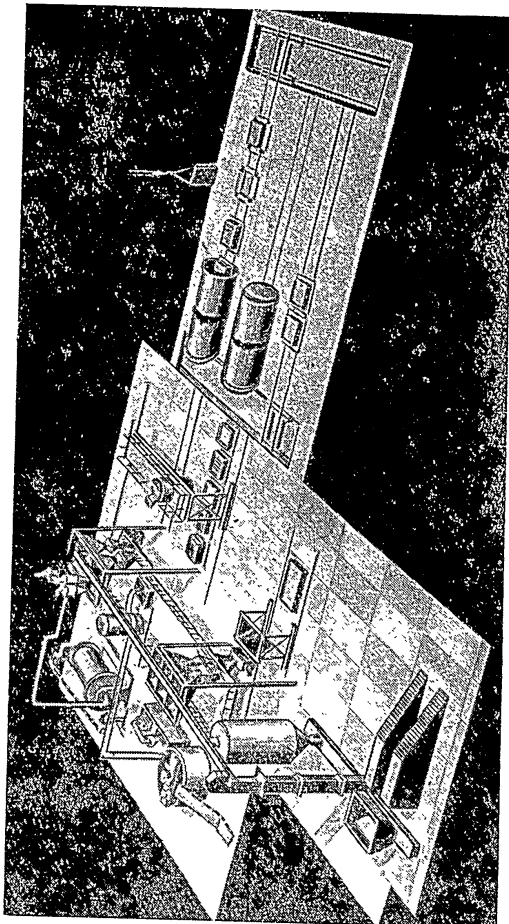


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки производства крупных газобетонных блоков.

в автоклавах растрескиваются. Возникновение трещин у больших изделий во время прогрева и остывания при автоклавной обработке, как это установлено экспериментами треста и НИИ по строительству, является следствием медленного распространения температуры по сечению изделия из относительно слабого теплоизоляционного материала, каким является газобетон.

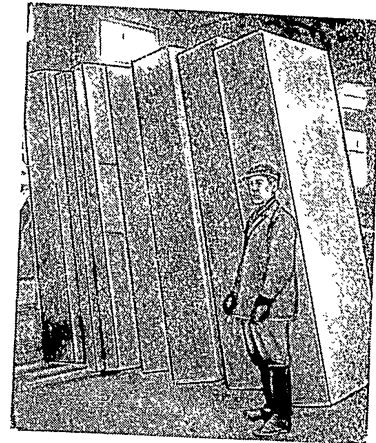


Рис. 2. Крупные стеновые блоки из газобетона

Большие температурные перепады между наружными слоями изделия и внутренними вызывают неравномерное расширение газобетона в различных слоях и появление трещин.

Помимо указанной основной причины, растрескивание изделий является также следствием бурного вскипания влаги внутри газобетона при случайном резком снижении давления в автоклаве. В целях борьбы с указанными причинами трещинообразования проведены следующие мероприятия, позволившие уверенно получать крупные стеновые блоки толщиной до 40 см и размером до  $1,4 \times 2,52$  м:

1. Устройство сквозных отверстий диаметром 50 мм в теле блоков. Это снижает массивность блоков, увеличивает поверхность обогрева и их остывание и дает более свободный выход парам от

вскипающей внутри блока влаги при спуске давления в автоклаве (рис. 3).

2. Сохранение внутренней температуры в блоках (от температуры газобетонной массы и экзотермии) путем предохранения их от излишнего остывания при выдерживании их до автоклавной обработки. Это уменьшает перепад температур между наружными и внутренними слоями блока при прогреве в автоклаве.

3. Плавный, медленный подъем температуры и давления в автоклаве для того, чтобы масса блоков прогревалась без больших перепадов температуры между поверхностью и внутренними слоями.

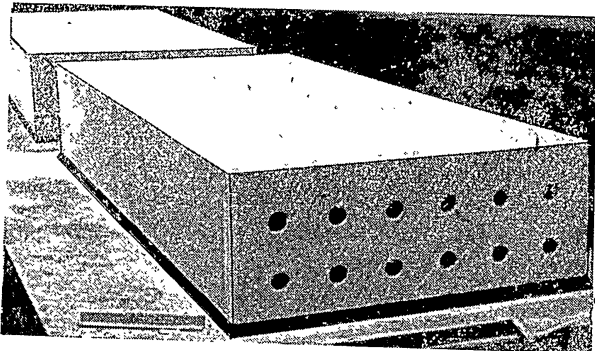


Рис. 3. Крупный стеновой блок из газобетона с технологическими отверстиями.

4. Строгое соблюдение постоянства давления в автоклаве при запарке, так как даже небольшой сброс давления на короткое время неизбежно вызывает растрескивание блоков. Необходима установка приборов автоматического регулирования режима автоклавов.

5. Плавный, равномерный, медленный спуск давления по окончании автоклавной обработки.

6. Медленное остывание блоков после запарки сперва в автоклаве, а затем в цехе, так как неоднократные случаи показывают, что целый блок, будучи выкачен из автоклава в цех, растрескивается на отдельные куски.

Все эти мероприятия позволили получать хорошие крупные блоки без трещин, однако полный цикл автоклавной обработки и остывания блоков в автоклаве доводит продолжительность использования автоклава до 32—36 часов, что на заводах ячеистого бетона при переходе на производство крупных блоков значительно снижает мощность предприятия.

Группой работников НИИ по строительству и авторами данной статьи предложено еще одно, оказавшееся очень эффективным, мероприятие, позволившее сократить продолжительность автоклавной обработки крупных блоков за счет вакуумирования внутреннего пространства автоклава, после спуска в нем давления до атмосферного.

Создание вакуума — понижение давления ниже атмосферного — вызывает интенсивное испарение влаги внутри блока, сопровождаемое отнятием тепла на парообразование и снижением температуры внутренних слоев блока. Вакуумирование в течение четырех часов с разрежением в автоклаве до 600 мм ртутного столба доводит температуру внутри блока до 60°С и позволяет выкатывать блоки в цех без опасения их растрескивания. При этом общая продолжительность автоклавной обработки сокращается до 18—20 часов, т. е. переход на производство крупных блоков не вызовет снижения производительности предприятий.

Помимо производства крупных стеновых блоков из газобетона, целесообразно организовать на заводах ячеистого бетона также выпуск эффективных теплоизоляционных плит с объемным весом до 300 кг в кубометре для отопления конструкций жилых домов других типов, производство изделий для которых сдерживается дефицитом утепляющих материалов — пеностекла, пеностекла, минеральной ваты и других. Получение такого теплоизоляционного газобетона в настоящее время проводится в лабораторных условиях Строительного треста № 20, а освоение проводится в производственных условиях.

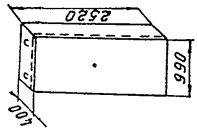
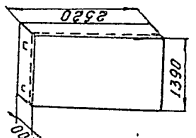
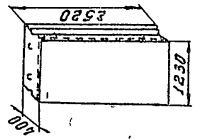
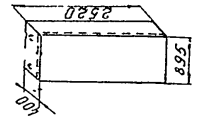
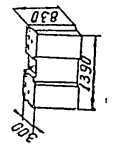
Проводимые на экспериментальной установке работы по изготовлению крупных стеновых блоков и легкого теплоизоляционного газобетона позволяют в условиях строящегося завода перевести запроектированный выпуск мелких блоков на производство крупных стеновых блоков.

## II. ДОМА ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ КРУПНЫХ БЛОКОВ

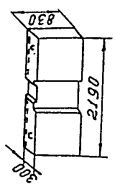
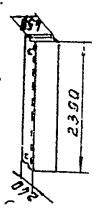
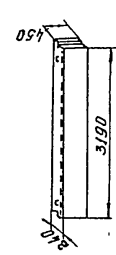
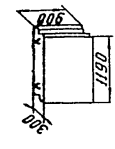
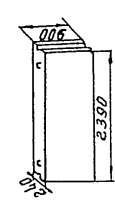
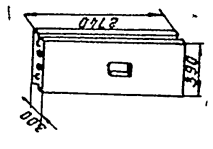
Строительство жилых домов из крупных газобетонных блоков включено в план экспериментального строительства Главленинградстроя. В числе других домов новых конструкций намечено возведение в 1959 г. трех домов со стенами из крупных газобетонных блоков. Строительство этих домов предполагается в 10-м квартале новой застройки в Автovo. Один дом — пятиэтажный, на 80 мало-метражных квартир, запроектирован по обычной для Ленинграда конструктивной схеме с тремя продольными несущими стенами. Дом запроектирован институтом «Ленипроект» с участием Строительного треста № 20. Авторы проекта архитекторы Жук и Матусевич, инженеры — Аврутин, Алексеева, Лейв.

При проектировании дома ставилась задача использования газобетона как легкого, не теплопроводного и достаточно прочного ма-

Таблица  
 Номенклатура основных блоков  
 для четырехсекционного пятиэтажного 80-квартирного жилого дома из крупных газобетонных блоков

№ пп	Марка блока	Эскиз	Количество	Назначение блоков	Кубатура блоков		Примечание
					одного блока	всего на дом	
1	ГН-050		200	Простеночный	1,0	200,0	
							
2	ГН-051		70	Простеночный	1,40	98,0	
3	ГН-52		20	Простеночный торцевой стены	1,23	24,6	
							
4	ГН-53		20	Угловой простеночный	0,9	18,0	10 правых 10 левых
5		134	Подоконный	0,345	46,23		

Продолжение таблицы

№ пп	Марка блока	Эскиз	Количество	Назначение блоков	Кубатура блоков		Примечание
					одного блока	всего на дом	
6	ГН-055		16	Полочный	0,545	8,62	
7	ГН-056		144	Перемычный	0,257	37,0	
8	ГН-057		72	Перемычный	0,343	24,7	
-----							
9	ГВ-01		70	Внутренний	0,322	22,54	
10	ГВ-03		250	Внутренний	0,648	162,0	
11	ГВ-05		40	Внутренний с пол. ппшамп	0,62	32,8	

териала в качестве несущей и ограждающей конструкции взамен трудоемкой кирпичной кладки и дефицитного кирпича. Причем эксперимент в данном случае не ставил себе целью сколько-нибудь значительного изменения конструкции дома, так как для перекрытий, лестниц, вентиляционных капалов, фундаментов и т. п. конструкций предполагается использовать типовые изделия, освоенные или осваиваемые промышленностью для обычных кирпичных домов с малометражными квартирами. Сложность задачи заключалась в разрезке стен здания на крупные блоки наибольшего возможного монтажного веса (для лучшего использования грузоподъемности монтажных механизмов — башенных кранов) в габаритах, допускаемых технологией изготовления блоков — запаркой в автоклавах диаметром 2 м (см. таблицу «Номенклатура основных блоков»).

Толщина наружных стен, с некоторым запасом теплоизоляции, была принята в 40 см из соображений хорошего отопления торцов железобетонных настилов перекрытий, опирающихся на наружные стены.

Разрезка наружных стен предусматривает сборку каждого этажа из двух рядов блоков; простеночных — между окнами и перемычечных и подоконных — в местах расположения окон (рис. 4). Четверти в проемах предусматриваются приставные, в виде обрамления оконного проема из железобетонных брусков, поэтому сечение блоков принято прямоугольное без четвертей.

Простеночные блоки запроектированы толщиной 40 см, высотой от перекрытия до перемычки — 2,52 м и шириной 1,4; 1,23; 1,0 и 0,9 м. На простеночные блоки заодлично с внутренней поверхностью стен укладываются железобетонные перемычки шириной 15 см, образующие при сварке выпусков арматуры и замоноличивании стыков сплошной железобетонный пояс, на который опираются настилы перекрытий (рис. 5). Вровень с наружной поверхностью стены на простеночные блоки укладываются армированные газобетонные перемычечные блоки толщиной 24 см, отопляющие перемычки и торцы настилов перекрытий. В оконных проемах устанавливаются подоконные блоки толщиной 30 см с пазами для приточных устройств вентиляции помещений.

Внутренняя продольная стена толщиной 30 см разрезана частично на блоки на всю высоту этажа, с размещением в этих блоках ниш для электросчетчиков и каналов для электропроводов, и на блоки, укладываемые в три ряда на этаж вперевязку между вертикальными блоками.

Поперечные внутренние стены образуются железобетонными панелями с вентиляционными капалами. Всего на дом требуется 1312 блоков 26 типоразмеров, общей кубатурой 760 кубометров.

Блоки наружных стен покрываются с наружной стороны фактурным слоем из цементного раствора для защиты газобетона от атмосферных воздействий.

Стеновые блоки данной разрезки размером  $1,4 \times 2,52 \times 0,4$  м и  $1,0 \times 2,52 \times 0,4$  м были изготовлены в натуральную величину



Рис. 4. Фрагмент разрезки наружной стены дома.

и испытаны в лаборатории Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций (ЦНИИСК—бывш. ЦНИИПС) в Москве (рис. 6) и показали следующие результаты:



Объемный вес в высушенном до постоянного веса состоянии . . . . . 730 кг/м<sup>3</sup>  
 Кубиковая прочность . . . . . 75 кг/см<sup>2</sup>  
 Появление первых трещин в блоках размером 0,99 × 0,40 × 2,52 м были зафиксированы под нагрузкой 66 т, а в блоке размером 1,39 × 0,4 × 2,52 м в 100 т.

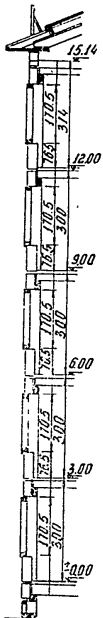


Рис. 5. Разрез наружной стены.

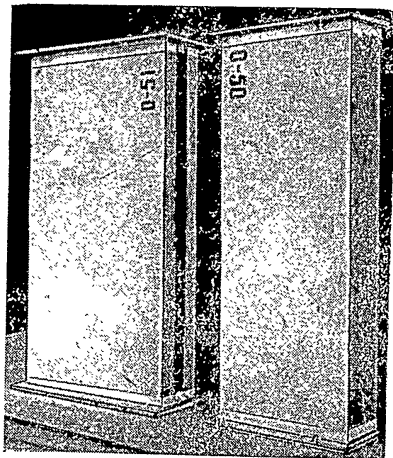


Рис. 6. Газобетонные блоки размером 1,4 × 2,52 × 0,40 м и 1,0 × 2,52 × 0,40 м перед испытанием.

Разрушающая нагрузка соответственно достигла 150 и 195 т, т. е. предел прочности блоков брутто составляет 35—38 кг/см<sup>2</sup>, а с учетом технологических отверстий — нетто 37,4—40 кг/см<sup>2</sup>.

Отслоение фактурного слоя было установлено при нагрузке 0,76 : 0,99 от разрушающей, т. е. при разрушении блока.

По заключению ЦНИИСК такие показатели являются хорошими и блоки могут найти широкое применение в строительстве. В настоящее время на экспериментальной установке, созданной трестом, уже закончено изготовление блоков на один дом.

Замена стен из кирпича газобетонными блоками дала заметный эффект в виде снижения веса стен более чем в два раза. Однако использование газобетона в качестве несущей конструкции не свойственно такому материалу, теплоизоляционные качества которого снижаются при повышении его прочности. Значительно большего эффекта в смысле снижения веса и повышения экономичности здания можно достигнуть, если передать несущие функции на более пригодные для этого конструкции, например, железобетонные, а за газобетоном оставить только ограждающие, теплоизоляционные.

Исходя из изложенного, а также имея в виду, что на строящемся в Автово заводе газобетонных блоков имеется большое количество форм размером 1,6 × 6,0 × 0,24 м, общим весом более 800 т, институтом «Лентпроект» совместно с авторами настоящей статьи, разработан вариант проекта дома с несущими поперечными конструкциями и навесными наружными стенами из газобетонных блоков объемного веса 700 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 24 см (по высоте имеющихся форм, рис. 7).

Пятиэтажный 50-квартирный жилой дом запроектирован в соответствии с рекомендациями Академии строительства и архитектуры СССР с квартирами для односемейного заселения, причем в каждой квартире помимо общей комнаты предусматривается отдельная спальня для каждого члена семьи, при сохранении общей площади квартир в пределах нормы на число живущих (рис. 8).

Глубина дома (ширина) — 8,0 м, вследствие чего в каждой квартире создаются гигиеничные условия жизни благодаря сквозному проветриванию.

Планировка дома позволяет размещать его на генплане с ориентировкой как на юг и север, так и на запад и восток.

Конструктивная схема дома представляет собою ряд поперечных многоярусных двухконсольных рам, установленных на фундаментные башмаки с шагом 5,6 и 2,4 м — рамы сборные из прямолинейных элементов прямоугольного сечения.

На ригели рам укладываются пустотные настилы перекрытий пролетом 5,6 и 2,4 м, толщиной 14 см, а также лестничные площадки и марши.

К настилам перекрытий и консольям рам навешиваются блоки наружных стен. Санитарные узлы запроектированы в виде пространственной кабины из армоцемента, полностью изготовленной на заводе. Перегородки в плоскости рам — гипсобетонные; межквартирные — двухслойные; межкомнатные — однослойные.

Такая конструктивная схема позволяет снизить более чем наполовину вес всех конструкций дома и довести его стоимость до 1000—1100 рублей за 1 м<sup>2</sup> жилплощади.

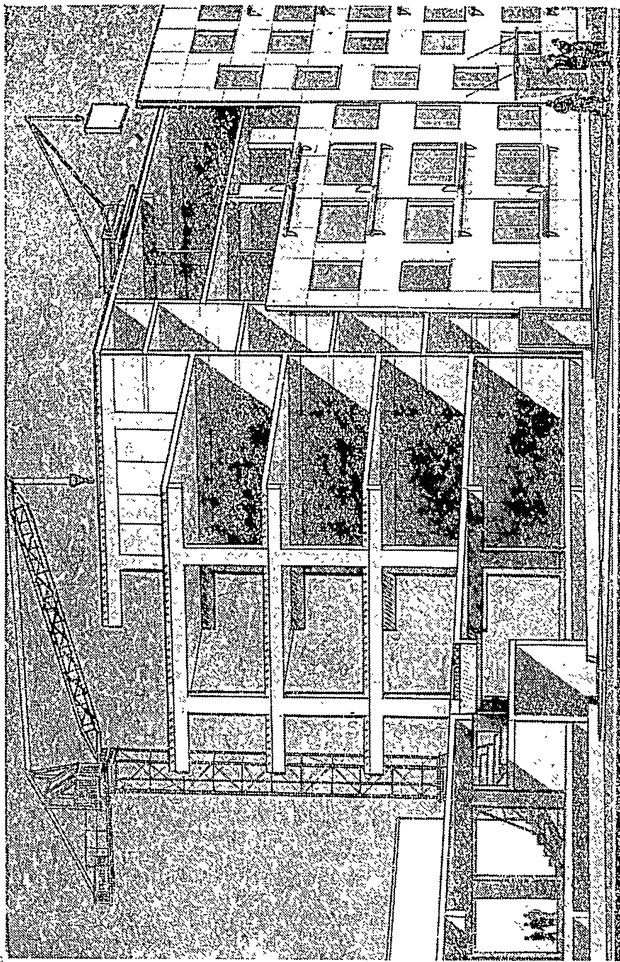


Рис 7. Конструктивная схема жилого дома с несущими поперечными конструкциями и навесными стенами из газобетонных блоков.

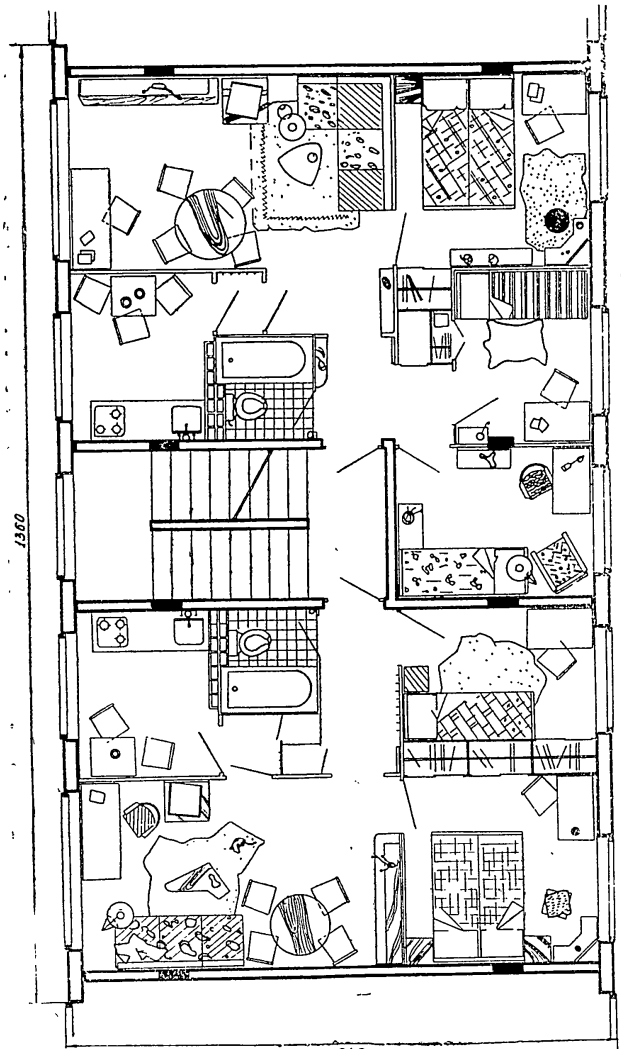


Рис 8. План рядовой секции жилого дома с поперечными несущими конструкциями.

Особо следует остановиться на разрезке стен на блоки. Проектировщики были поставлены перед фактом наличия большого парка форм определенного размера, поэтому задача выбора

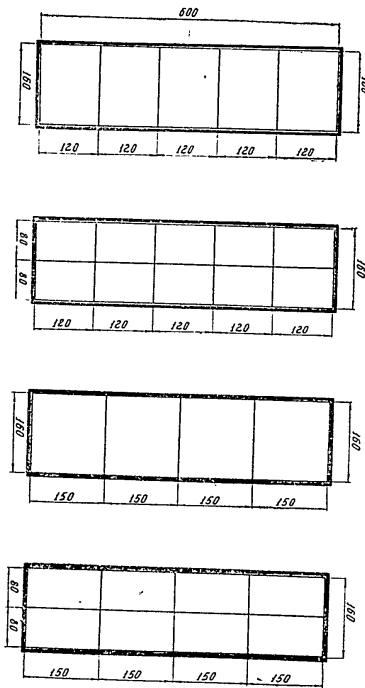


Рис. 9. Схема размещения блоков в имеющихся формах размером  $1,6 \times 6,0$  м.

размеров блоков диктовалась условиями разрезки фасада на блоки, которые можно выпротить в данных формах без отходов. Кроме того, блоки малой толщины при значительной их длине потребовали бы армирования и следовательно излишнего расхода стали (на изготовление пенобетонных панелей стен размером  $3,0 \times 2,8$  м, выпу-

скаемых в г. Первоуральске, расходуется до 9 кг стали на  $1 \text{ м}^2$  стен, т. е. больше, чем на несущие железобетонные конструкции).

Принятая в проекте двухрядная разрезка стен состоит из относительно небольших блоков четырех основных типоразмеров —  $1,6 \times 1,2$ ;  $0,8 \times 1,2$ ;  $1,6 \times 1,5$  и  $1,5 \times 0,8$  м при неизменной толщине 24 см. На блоки такого размера форма раскраивается без каких-либо отходов (рис. 9). Всего на дом расходуется 470 кубометров блоков.

В связи с тем, что вес блоков не превосходит 400 кг, возможно вести монтаж каркаса, перекрытий, сантехнических кабин и перегородок (элементов весом до двух тонн) обычным башенным краном типа БК-2, а монтаж стен производить легкими кранами типа «Пионер», устанавливаемыми на перекрытии 5-го этажа, что способствует лучшему использованию механизмов на строительстве жилых домов.

\* \* \*

В результате строительства экспериментальных домов следует отработать все особенности производства изделий для них и при сооружении зданий откорректировать проекты домов в направлении повышения их технологичности и экономичности и распространить опыт этого строительства и производства изделий на районы строительства других заводов ячеистого бетона.

Л и т е р а т у р а

1. Калнина Н. А. Автоклавный газосиликат на доломитовой извести «Строительная промышленность», № 4, 1958.
2. Новиков Б. А. О режимах автоклавной обработки изделий из ячеистых бетонов. «Строительная промышленность», № 5, 1958.
3. Миropов С. А., Баранов А. Т., Кривицкий М. Я., Розенфельд Л. М. Очередные задачи в области применения ячеистых бетонов. «Промышленное строительство», № 11, 1958.
4. Хворостаянская Е. М. Термозоляционные материалы. Сборник научных сообщений ЮжНИИ, 1953.
5. Горяинов К. Э., Ефимов А. Д., Аврутин М. Л., Якуб И. А. Газобетон на золе уноса ТЭЦ. Под ред. Скрятаева. Научное сообщение № 2 Всесоюзный НИИ по строительству, 1956.
6. Гегер В. Я. Использование золы-уноса ленинградских электростанций для изготовления крупноразмерных стеновых панелей. Бюллетень технической информации Главленинградстроя, № 8, 1956.

К. А. Глуховской, А. А. Кронрод, М. Л. Аврутин

Некоторые особенности производства крупных стеновых блоков из газобетона  
Редактор инж. П. В. Иванов-Скобликов Техн. редактор В. Л. Гвириц  
Ленинградский Дом научно-технической пропаганды (ЛДНТП), Невский пр., 58  
М-05367 Тип. ЛДНТП Зак. 393 Тир. 5200 Объем 1,25 п.л. Уч.-изд. л. 1,0 13-V-59 г.

Цена 50 коп.



ЛЕНИНГРАДСКИЙ  
*завод*  
**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ**  
*изделий*  
*им. 40 летия*  
*Комсомола*

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ЛЕНИНГРАДСКОГО  
ГОРОДСКОГО СОВЕТА ДЕПУТАТОВ ТРУДЯЩИХСЯ  
ГЛАВНОЕ ЛЕНИНГРАДСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЗАВОД  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ  
имени 40-летия КОМСОМОЛА

THE LENINGRAD PRECAST REINFORCED  
CONCRETE FACTORY NAMED AFTER THE 40-TH  
ANNIVERSARY OF KOMSOMOL

L'USINE DE LÉNINGRAD D'ÉLÉMENTS EN BÉTON  
ARMÉ, PORTANT LE NOM DE 40-ÈME  
ANNIVERSAIRE DU KOMSOMOL

ЛЕНИНГРАД — 1959

## ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИМЕНИ 40-ЛЕТИЯ КОМСОМОЛА

Строительство завода имени 40-летия Комсомола было начато в ноябре 1954 года. Предприятие вступило в эксплуатацию на полную мощность в июле 1958 года.

Площадь застройки — 15,5 га. Главный корпус имеет площадь застройки — 25 000 м<sup>2</sup> и объем 223 000 м<sup>3</sup>.

Строительные конструкции заводских корпусов решены в сборном железобетоне с применением напряженно армированных элементов.

При строительстве завода применены составные напряженные балки «НИИ-200» пролетом 15 м, решетчатые напряженные фермы пролетом 18 м, сборные напряженные своды-оболочки двойной кривизны размером 18 × 18 м, сборные предварительно напряженные железобетонные галереи без промежуточных опор пролетом 37 и 87 м, сборные железобетонные фонари и оконные переплеты и предварительно напряженные струнбетонные шпалы.

Стены корпуса сложены из крупноразмерных силикатных блоков. Все остальные конструкции — фундаменты, балки, колонны, плиты покрытий основных зданий выполнены из сборного железобетона.

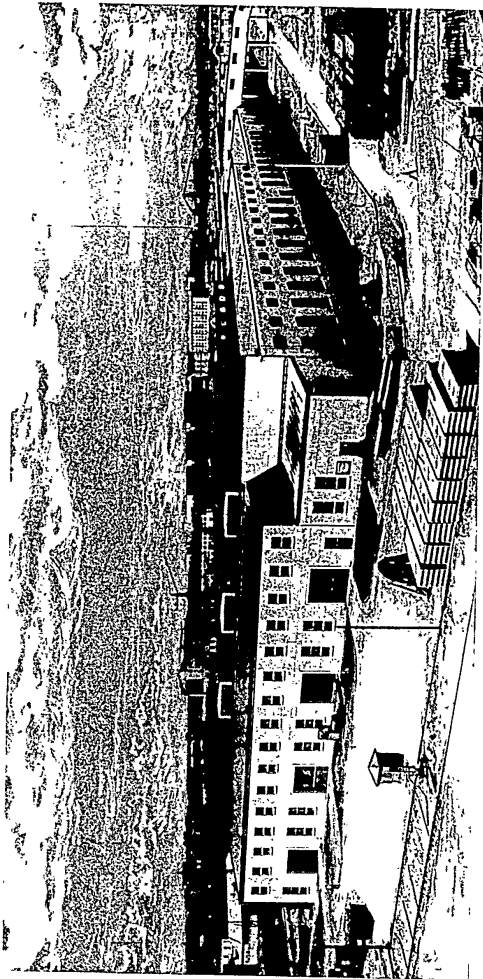
Применение сборных железобетонных конструкций дало возможность во время строительства предприятия сэкономить более 1000 т металла.

Предприятие выпускает железобетонные конструкции — многослойные настилы перекрытий, элементы лестниц — марши и площадки, плиты покрытий промышленных зданий.

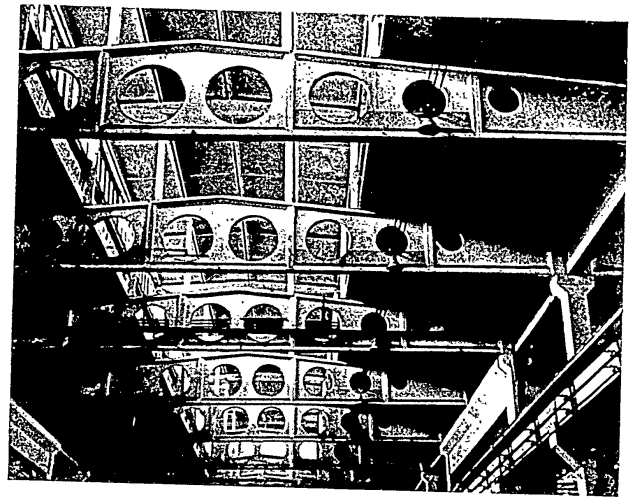
Многослойные настилы перекрытий выпускаются с предварительно напряженной арматурой методом навивки высокопрочной проволоки и электротермического напряжения стержневой арматуры из низколегированной стали.

В технологическую схему завода входят следующие цехи: склад песка, гравия и щебня, на который материалы подвозятся водным путем по реке Неве и по железной дороге.





Общий вид главного корпуса завода им. 40-летия Комсомола.



Сборные конструкции крыши (балки «НШН 200») завода им. 40-летия Комсомола.

Склад цемента емкостью 6000 т, состоящий из 4-х силосов, галерей разгрузки и подачи цемента.

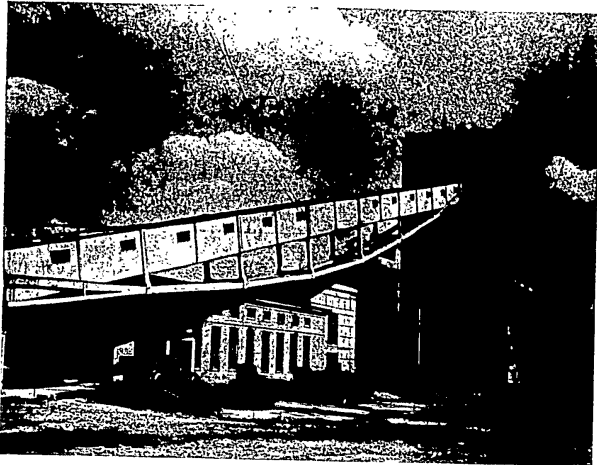
Бетоносмесительный цех с 6 бетономешалками по 1200 л каждая, с автоматическим управлением.

Арматурный цех оснащен автоматическими и полуавтоматическими электросварочными агрегатами.

Формовочный цех имеет 4 конвейерных линии, 8 туннельных камер твердения. Формовочные стены оснащены машинами, позволяющими изготовлять железобетонные изделия при немедленном освобождении их от форм.

На широких конвейерах одновременно выпускаются три трехпустотных настила размером  $5,86 \times 1,2 \times 0,22$  м каждый.

На узком конвейере выпускаются пятипустотные настилы размером  $6,26 \times 2,0 \times 0,22$  м.



Галерея из напряженно армированного бетона завода им. 40-летия Комсомола.

Заводу установлен план производства железобетонных изделий на 1959 год в объеме 227 000 м<sup>3</sup>. Выпуск предварительно-напряженных железобетонных изделий — 60 000 м<sup>3</sup>.  
Предприятие применяет марки бетона «200» и «300».

### THE LENINGRAD PRECAST REINFORCED CONCRETE FACTORY NAMED AFTER THE 40-TH ANNIVERSARY OF KOMSOVOL

The construction of the precast concrete factory named after the 40-th Anniversary of Komsomol was commenced in November 1954. The factory started to give its full rated output in July 1958. The area under structures covers 15.5 hectares.

The main building occupies an area of 25 thousand sq. metres and has a cubage space of 223 thousand cu. metres.

The factory buildings are constructed of precast reinforced concrete, employing pre-stressed structural elements.

The following units were used in the construction of the factory:

Precast pre-stressed beams «НИИ-200» with a span of 15 m (coupled together in situ).

Pre-stressed trusses with a 18 m span.

Unit precast pre-stressed double-curvature arches, 18 × 18 metres in size.

Unit precast pre-stressed reinforced concrete galleries of 37 and 87 metre spans (without intermediate supports).

Unit precast reinforced concrete skylights and window sashes.

Pre-tensioned wire-reinforced concrete sleepers.

The walls of the building are made of large — sized silicate blocks.

All other structures: foundations, beams, columns and roof slabs in main buildings are also made of unit precast reinforced concrete.

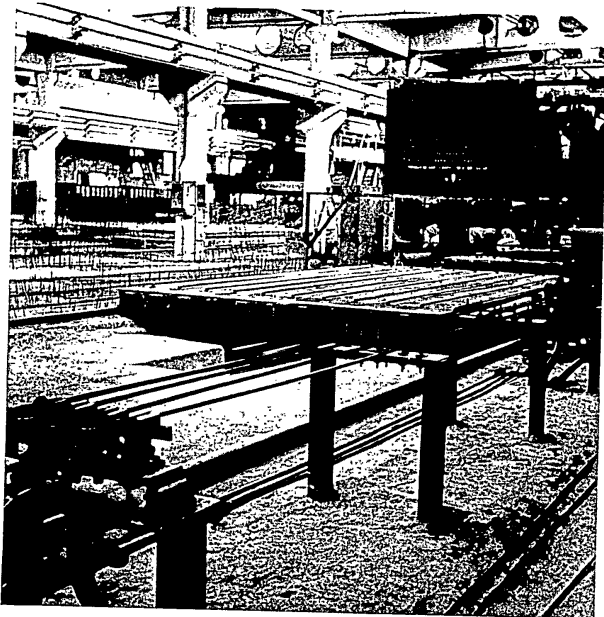
The use of unit precast reinforced concrete structures made it possible to save more than 1000 tons of metal.

The factory produces the following structural units of reinforced concrete:

Multi-cavity floor slabs (hollow tile floors);

Staircase members and landings;

Roof slabs for industrial buildings.



Натяжение стержней арматуры методом электронагрева.

Multi-cavity floor slabs are made with pre-stressed reinforcement which is of high strength wound wire and low alloy steel rods pre-stressed by electrical heating.

The technological circuit of the factory comprises the following shops:

1. Aggregate storage yard provided with facilities for handling materials arriving by water (on the Neva river) and by railway cars.
2. Cement storehouse, holding 6000 tons and consisting of 4 bunkers as well as galleries for unloading and delivery of cement.
3. Concrete mixing shop with a gang of 6 concrete mixers of 1200 litre capacity each, controlled automatically.

8

4. Steel reinforcement shop equipped with automatic and semi-automatic machinery.

5. Concrete forming shop having 4 conveyer lines, 8 tunnel-type curing chambers and equipped with special machines which permit to produce concrete units with immediate removal of forms after cast.

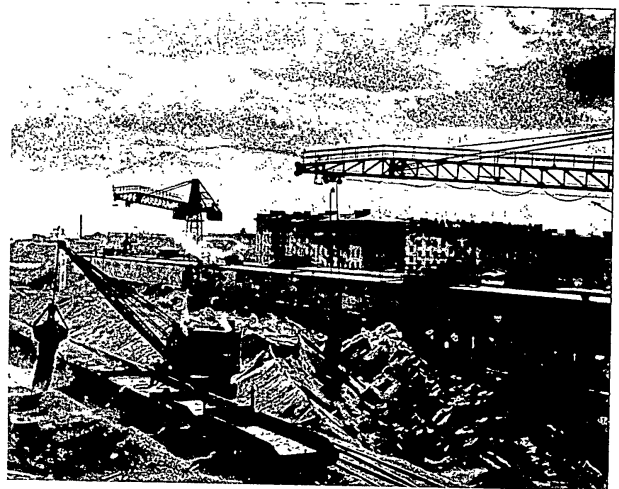
Three three-cavity floor slabs,  $5.86 \times 1.2 \times 0.22$  m in size, are produced simultaneously on the broad conveyers.

On the narrow conveyer five-cavity floor slabs,  $6.26 \times 2.0 \times 0.22$  m in size, are produced.

The output planned for 1959 totals 227 thousand  $m^3$ .

Volume of pre-stressed reinforced concrete production — 60 thousand  $m^3$ .

Concrete brands used — «200» and «300».



Склад заполнителей завода им. 40-летия Комсомола.

9

### L'USINE DE LÉNINGRAD D'ÉLÉMENTS EN BÉTON ARMÉ, PORTANT LE NOM DE 40-ÈME ANNIVERSAIRE DU KOMSOMOL

La construction de l'usine de 40-ème anniversaire du Komsomol fut commencée en November 1954. L'entreprise est entrée en exploitation à plein rendement en Juillet 1958.

Le domaine bâti est de 15,5 ha. Le bâtiment principal occupe une surface de 25 000 mètres carrés, son volume est de 223 000 mètres cubes bâtis.

Les constructions des bâtiments d'usine sont en béton armé préfabriqué avec l'utilisation des éléments en béton précontraint.

Pour la construction de l'usine on a employé:

- poutres composées précontraintes «НИИ—200» à une travée de 15 m;
- fermes en forme de treillis précontraintes à une travée de 18 m;
- voûtes préfabriquées assemblées par précontrainte, à double courbure (18 × 18 m);
- galeries préfabriquées assemblées par précontrainte, sans appuis intermédiaires, à travée de 37 et de 87 m;
- lanternes en béton armé préfabriquées, croisillons préfabriqués;
- traverses en béton armé à cordes précontraint.

Les murs de bâtiments sont en blocs de grandes dimensions de silicate.

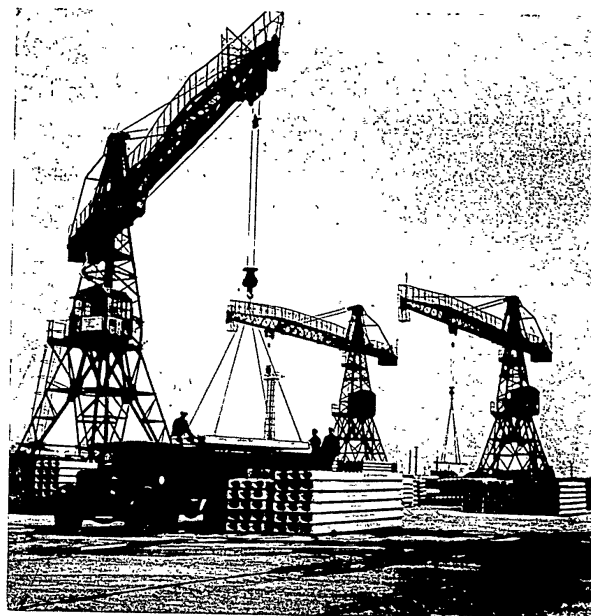
Toutes les autres constructions — fondations, poutres, colonnes, dalles de plancher de bâtiments principaux — sont en béton armé préfabriqué.

L'emploi de constructions en béton armé préfabriquées a permis d'économiser plus de 1000 tonnes de métal au cours de la construction de l'usine.

L'usine produit les constructions en béton armé suivantes:

- dalles de plancher à plusieurs creux;
- éléments des cages d'escalier et des paliers;
- dalles de toiture des bâtiments industriels.

Les dalles de plancher sont fabriquées par la méthode d'enrou-



Склад готовой продукции завода им. 40-летия Кomsomola.

lement d'un fil très robuste et par la méthode de la tension électrothermique des barres d'armature en acier de bas alliage.

Le schéma technologique de l'usine comprend les ateliers suivants:

— Un dépôt de sable, de gravier, de blocaille. Ces matériaux arrivent par la voie d'eau (la Néva) et par le chemin de fer.

— Un dépôt de ciment ayant une capacité de 6000 tonnes, comprenant une galerie pour déchargement et recevoir le ciment et 4 silos.

— Un atelier de malaxage du béton, contenant 6 malaxeurs de béton à 1200 litres chacun, avec un schéma automatique de fonctionnement.

— Un atelier d'armature équipé de groupes de soudage automatiques et semi-automatiques.

— Un atelier de moulage équipé de 4 lignes de convoyeur et de 8 chambres de durcissement en forme de tunnel. Les machines

à mouler permettent de fabriquer les éléments en béton armé à décoffrage immédiat.

Les convoyeurs larges produisent simultanément trois dalles de plancher à trois creux, de  $5,86 \times 1,2 \times 0,22$  m.

Le convoyeur étroit produit des dalles de plancher à cinq creux de la dimension de  $6,26 \times 2,0 \times 0,22$  m.

L'usine a reçu un plan de production suivant pour l'année 1959: 227 000  $m^3$  des éléments en béton armé.

La production des éléments préfabriqués en béton armé par précontrainte -- 60 000  $m^3$ .

Les marques de béton adoptées: 200 et 300.

---

Редактор П.К. ДОИЛЬНИЦИН.

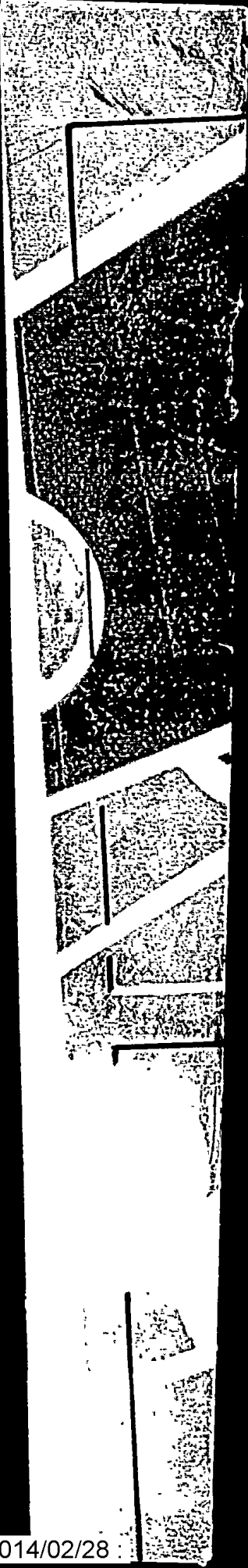
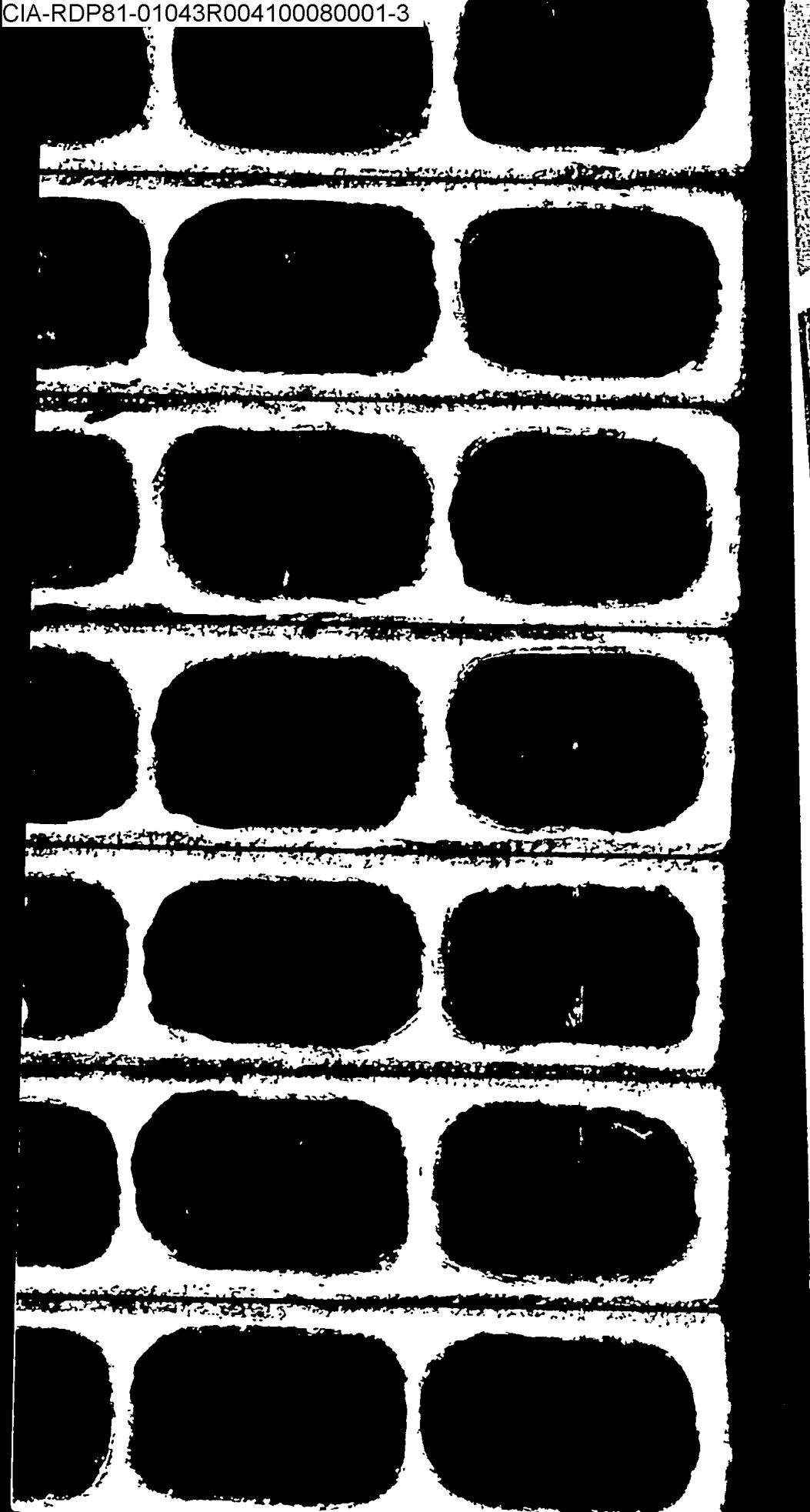
Издание отдела технической информации НИЛ Главленстройматериалов.  
Адрес: Ленинград, Герцена 35. Тел. А-5-46-05.

---

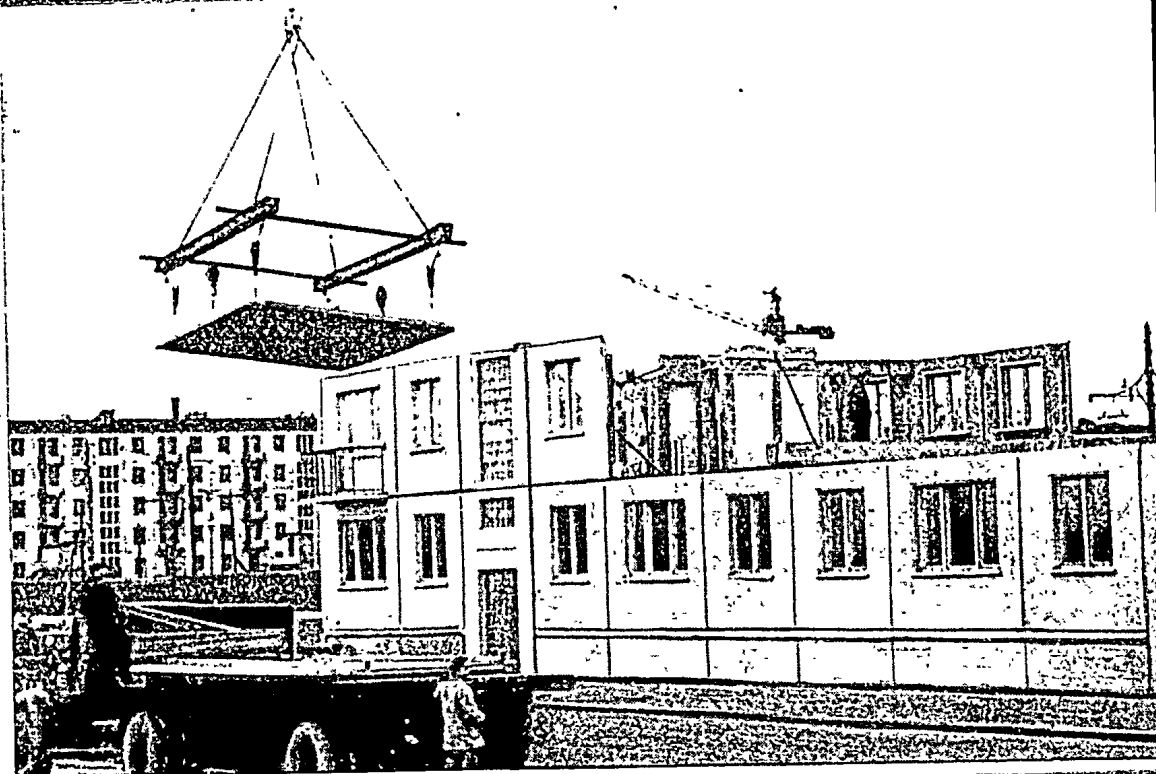
Слано в набор 22/V 1959 г. Подписано к печати 12/VI 1959 г. Печ. листов 0,75, уч. изд. 0,75.  
Заказ 400. Тираж 500. Бесплатно.

---

Типография № 2 им. Евг. Соколовой УПП Ленсовнархоза.  
Ленинград, Измайловский пр., 29.



ГЛАВЛЕНИНГРАДСТРОЙ при ЛЕНГОРИСПОЛКОМЕ



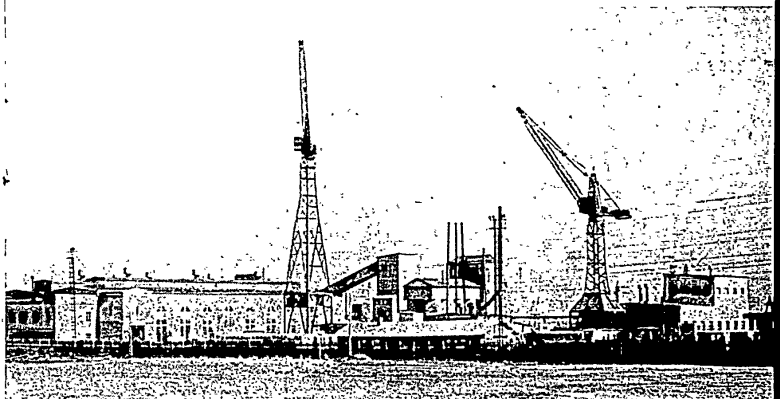
*Дошестроительной*  
*Комбинат*  
*Главленинградстрой*  
**В ПОЛЮСТРОВЕ**

1 9 5 9

Действующий с апреля 1959 года Домостроительный комбинат Главленинградстроя в Полустрове является первым в Ленинграде предприятием, осуществляющим в едином комплексе заводское, механизированное изготовление сборных элементов типовых домов и производство строительно-монтажных работ по возведению, оборудованию и отделке жилых зданий.

Комбинат ведет монтажные работы на территории застраиваемых кварталов с уже законченной инженерной подготовкой, на объектах с полностью завершённой подземной частью здания.

В функции Домостроительного комбината входит: совершенствование проекта и конструкций жилого дома, выпуск бетонных, железобетонных и пенобетонных деталей, поточ-



Общий вид комбината в Полустрове.

Отв. за выпуск *А. К. Иванова*

Издание редакции журнала  
«Бюллетень технической информации» Главленинградстроя  
Ленинград, Невский пр., 1

Подписано к печати 11/VI 1959 г. М-24254. Бумага 60×92/100 Печ. л. 0,75  
Тираж 2500 экз. Заказ № 973.

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза. Ленинград, Социалистическая, 14.



ный монтаж наземной части жилых домов на строитель-ных площадках, все послемотажные специальные и отде-лочные работы.

Конечной продукцией комбината является жилой дом, готовый к заселению.

Массовая порайонная застройка городов средствами домостроительных комбинатов — это организационная форма индустриального домостроения, отличающаяся высо-ким техническим уровнем и значительным экономическим эффектом.

Проект домов (типовая серия 1-335), принятый в про-изводство комбинатом в Полюстрове, разработан институ-том «Горстройпроект».

Конструктивная схема основана на применении тонко-стенных двухслойных несущих панелей наружных стен (ребристая железобетонная плита, заполненная ячеистым бетоном) и внутреннего каркаса, несущего перекрытия.

Внутренний каркас жилого дома состоит из одиночных железобетонных колонн, высотой равной этажу, распо-ложенных по средней продольной оси здания, с шагом, равным ширине комнаты.

По колоннам укладываются прогоны прямоугольного се-чения, опирающиеся на панели наружных стен.

Панели перекрытий состоят из плоских железобетонных плит размером на комнату, толщиной 8 и 10 см.

Кровля бесчердачная; собирается из тех же панелей



Внутренний вид главного корпуса.

Основные технико-экономические показатели 80-квартирного дома (тип 1) жилой площадью 2534 м<sup>2</sup> при двухслойных панелях наружных стен \*

Часть здания	На 1 м <sup>2</sup> жилой площади					Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	Стоимость (вклю-чая благоустрой-ство), руб
	тяжелого бетона, м <sup>3</sup>	утеплителя (пенобетон марки 10), м <sup>3</sup>	стали, кг	гипсопитло-ные раство-ры, м <sup>3</sup>	цемента, кг		
Наземная	0,33	0,09	20,5	0,105	об-щий	об-щий	общий
Подземная	0,07	—	1,7	—	об-щий		
Всего	0,40	0,09	22,2	0,105	151	1330	946

\* По данным ЛО института Горстройпроект.

перекрытия; уклон создается за счет повышения слоя утеплителя (пенобетона).

Все строительные конструкции дома собираются из эле-ментов 27 типов.

Производительность комбината определена в 60000 м<sup>2</sup> жилой площади в год, что составляет 24 пятиэтажных дома, или 1920 квартир со средней жилой площадью в 32 м<sup>2</sup>. Та-ким образом, производство рассчитано на ежемесячное из-готовление двух жилых домов, или 160 квартир.

Продолжительность изготовления, монтажа и всех после-мотажных и отделочных работ для одного дома опреде-ляется в 4,5 месяца.

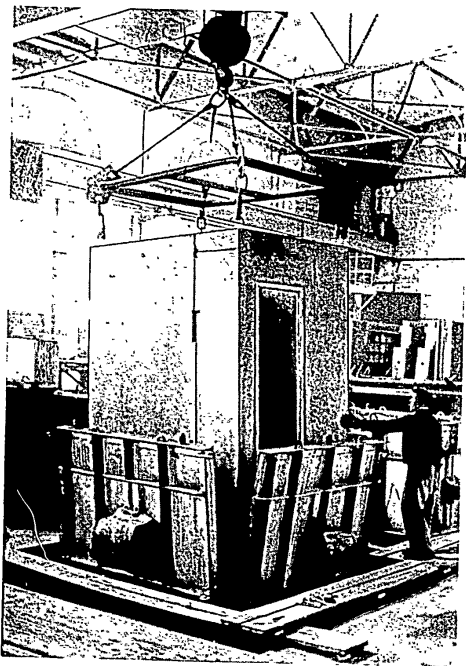
Под застройку крупнопанельными жилыми домами По-люстровскому комбинату отведены новые кварталы в Кали-нинском районе Ленинграда.

В ближайше семь лет силами комбината будет по-строено не менее 400 тыс. м<sup>2</sup> жилых зданий, или 12.700 квар-тир.

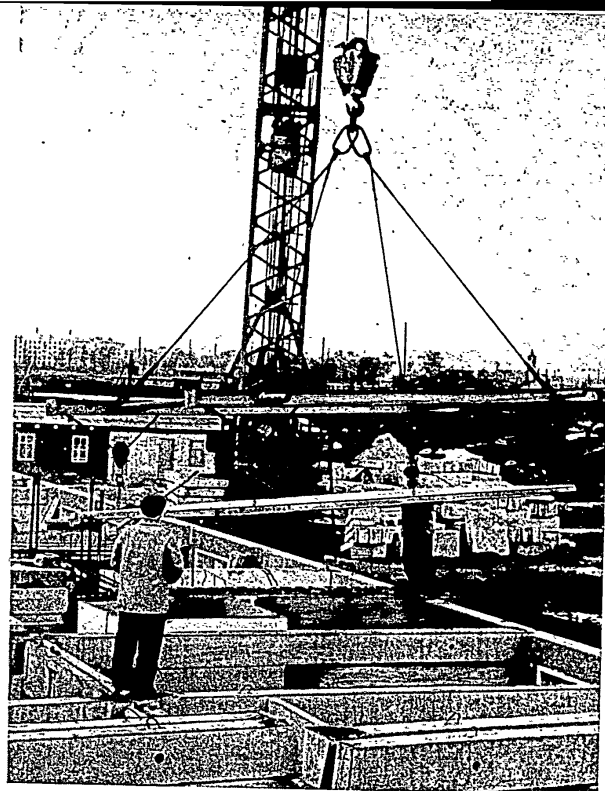
Общее руководство комбинатом осуществляется начальником, техническое — главным инженером (первым заместителем); руководство материально-техническим снабжением, транспортом и кадрами — вторым заместителем начальника.

Производство деталей обеспечивается цехами: формовочным, арматурным, бетоносмесительным, изготовления перегородок и приготовления пенобетона и раствора (возглавляется начальником производства). Производством монтажа зданий и всех послеоперационных работ ведаёт главный строитель (работы ведутся монтажными участками).

Технология производства основных конструкций и узлов зданий следующая.



Расналадка сантехкабины.

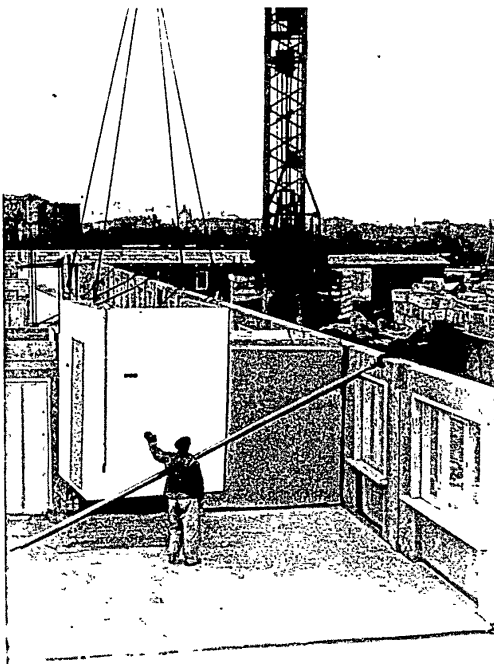


Монтаж 1-го этажа.

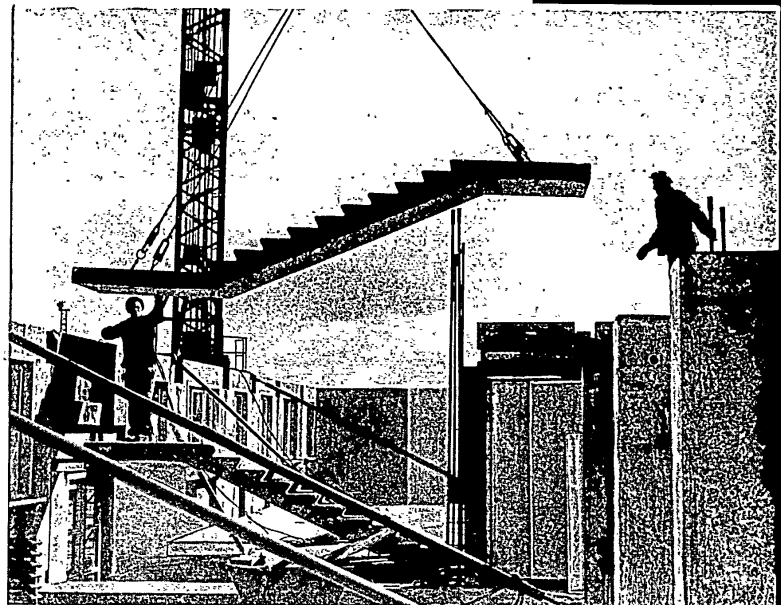
Стеновые панели изготавливаются на вибростоле с подачей бетона бетоноукладчиком. Отформованные панели с установленными оконными коробками направляются в формы в камеры термовлажностной обработки. Там же панели заливаются пенобетоном. По окончании термовлажностной обработки укладывается выравнивающий паронепроницаемый цементный штукатурный слой. Затем в вертикальных кассетах в панели устанавливаются окрашенные и остекленные переплеты и подоконные доски.

Санитарные кабины формируются и проходят термовлажностную обработку в разъемных стационарных металлических формах, установленных в заглубленные бетонные приямки. Готовые железобетонные кабины перемещаются по кольцевому пути, где пооперационно производится монтаж сантехнических устройств, электромонтажные и отделочные работы.

Дымоventилиационные блоки формируются в металлических стационарных формах, а лестничные марши с площадками и плиты балконов, кроме того, проходят термическую обработку в металлических кассетах.



Установка пространственной сантехкабины.



Монтаж лестничных маршей.

После завершения экспериментальных работ панели перекрытий будут изготавливаться на новом вертикальном формовочном агрегате, в количестве, соответствующем общей потребности комбината, а крупнопанельные гипсошлаковые перегородки — на вертикальном стенде (по окончании формования они в передвижных кассетах поступают в камеры воздушно-калориферной сушки).

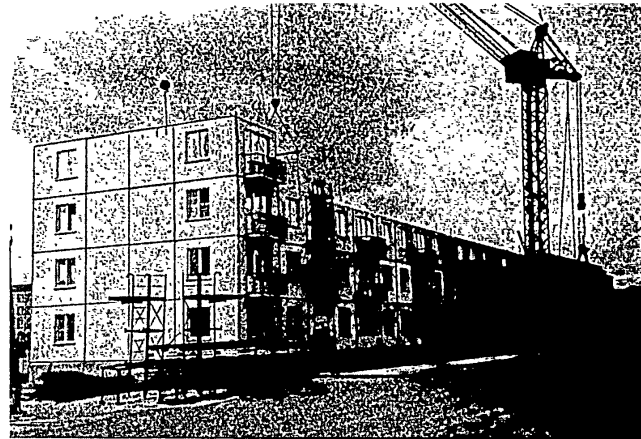
Изделия на полигонах формируются на вибростолах в металлических формах и проходят термовлажностную обработку в пропарочных камерах.

Детали, выпускаемые комбинатом, имеют высокую заводскую готовность, обеспечивающую минимум послеоперационных и отделочных работ.

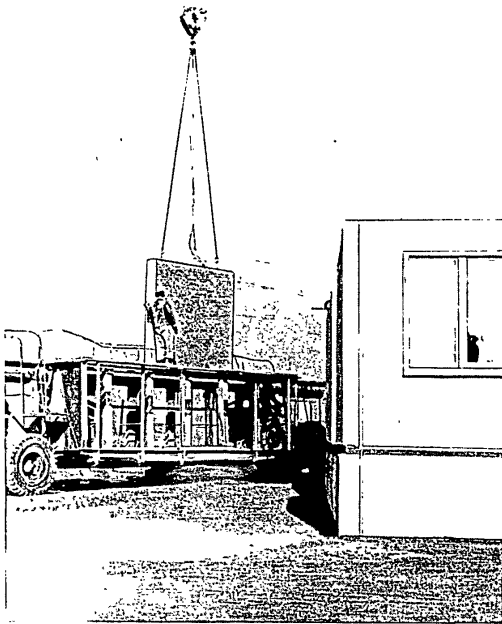
Столярные изделия, сантехнические и электротехнические заготовки, металлические решетки и др. поступают на комбинат с других предприятий на основе кооперирования.

На строительной площадке дома монтируются в три смены, непосредственно со специальных транспортных средств («с колес») одним монтажным башенным краном грузоподъемностью 5 т при вылете стрелы 22,7 м.

Монтаж и подача деталей производится по точно рассчитанному почасовому графику организации работ.



↑ Идет монтаж 4-го этажа.  
↓ Склад готовых изделий.



Монтаж элементов с транспортных средств.





ГЛАВЛЕНИНГРАДСТРОЙ при ЛЕНГОРИСПОЛКОМЕ



В А В Т О В Е  
1 9 5 9

омостроительные комбинаты, в том числе и комбинат Главленинградстроя в Автове, организованы как предприятия, совмещающие функции завода-изготовителя сборных элементов для домов одной или нескольких серий с осуществлением всего комплекса строительно-монтажных работ по возведению зданий. Комбинат ведет работы на территории с уже законченной инженерной подготовкой, на объектах с полностью завершенной подземной частью дома.

Помимо этого, в круг деятельности комбината входит совершенствование конструктивных решений, заложенных в проектах принятой серии, повышение технологичности отдельных конструкций и разработка поточных методов ведения монтажных работ.

Выполнение комбинатом всего комплекса работ по сооружению жилых домов, включая и отделочные работы, стимулирует максимальное повышение заводской готовности деталей, благоприятствуя тем самым дополнительному сокращению сроков строительства, повышению качества и дальнейшему снижению стоимости строительно-монтажных работ.

Конечная продукция комбината — готовый для заселения жилой дом.

Массовая порайонная застройка городов средствами домостроительных комбинатов — это организационная форма индустриального домостроения, отличающаяся высокими технико-экономическими показателями.

В строительстве производственных корпусов комбината в Автове в экспериментальных целях применены оригинальные предварительно-напряженные железобетонные конструкции:

решетчатые двухветвевые сборные железобетонные колонны;

решетчатые подкрановые балки;

сборные решетчатые фермы пролетом 30 м;

сборные преднапряженные своды-оболочки размером в плане 40 × 40 м.

По принципу конструктивного решения пространственное покрытие  $40 \times 40$  м представляет собой сферическую сборную оболочку, имеющую радиально-концентрическое расположение швов. Общее количество сборных элементов оболочки составляет 133, типоразмеров элементов — 16.

Для создания верхнего света в перекрываемых помещениях в плитах оставлены круглые отверстия, заполненные стеклблоками. В центре покрытия имеется круглый световой проем диаметром 5 м с 10 радиально расположенными ребрами. Свод-оболочка по периметру лежит на четырех сборных железобетонных фермах, опирающихся, в свою очередь, на 4 пустотелые колонны сечением  $70 \times 70$  см. Общий вес оболочки — 570 т.

В настоящее время изготавливаются тонкостенные сборные бочарные своды-оболочки двоякой кривизны пролетом 100 м. Этими оболочками покрывается один из цехов комбината размером в плане  $69 \times 100$  м. Отдельные арки, составляющие покрытие шириной 7,5 м, поставлены на расстоянии 2,5 м; промежутки между ними заполняются панелями из стеклблоков. Максимальная стрела подъема оболочки — 11,4 м, высота волны — 2,7 м.

В пролете свод усилен 12 поперечными диафрагмами толщиной 8 см. Каждый свод имеет по 2 затяжки, поддерживаемые подвесками.

Комбинату в Автове запланировано изготовление и монтаж всей номенклатуры сборных железобетонных деталей, несущих конструкций, а также стеновых блоков ограждающих конструкций из ячеистого бетона (газобетона) для типовых зданий в объеме, обеспечивающем ввод 220 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади в год.

Для выполнения указанной программы комбинат рассчитан на выпуск 140 тыс. м газобетонных стеновых конструкций и 125 тыс. м<sup>3</sup> сборных железобетонных элементов в год.

Половину проектной мощности комбината намечено ввести в эксплуатацию в текущем году с тем, чтобы в 1960 г. предприятие уже работало на полную мощность.

Приведенная полная годовая мощность комбината определена в 120 пятиэтажных пятидесятиквартирных жилых домов, что составляет 6 тыс. квартир. За семилетие Домостроительный комбинат в Автове даст до 40 тыс. квартир.

Технология изготовления газобетонных конструкций складывается из подготовки сырья — мокрого помола кварцевого песка, прокалки алюминиевой пудры и дозированной

ной подачи материалов пневмо- и гидротранспортом в мешалки.

После заливки массы в формы, вспучивания и схватывания материала производится разрезка на блоки и их автоклавная обработка.

Сборные железобетонные детали изготавливаются преимущественно из жестких бетонов. В зависимости от конструктивного характера деталей производится предварительное напряжение арматуры.

Производственную базу Домостроительного комбината в Автове составляют следующие основные группы сооружений и устройств:

комплекс сооружений для производства газобетона и изготовления из него укрупненных стеновых элементов;

сооружения для изготовления сборных железобетонных элементов в составе полностью механизированного арматурного цеха и цеха железобетонных деталей;

две бетоносмесительные линии с полным комплектом дробильно-сортировочных устройств, эстакадами для приема и галереями для подачи заполнителей в смесительные установки;

цементный склад на 4 силоса;

механизированный склад готовой продукции, а также специально-вспомогательные и энергетические сооружения и устройства.

Все железобетонные детали изготавливаются на специализированных поточных линиях с полной механизацией производственных процессов.

Типовой жилой дом, принятый в производство (серия 13-58 института Ленпроект), решен на основе несущего каркаса из поперечных сборных, железобетонных, консольных рам, связанных в продольном направлении железобетонными настилами перекрытий. Консоли рам несут навесные газобетонные конструкции наружных стен.

Внутренние железобетонные стеновые панели лестничных клеток обеспечивают поперечную и продольную жесткость сооружения. Кровля — совмещенная, с внутренними водостоками.

Вентиляционные и коммуникационные каналы — из сборных асбоцементных элементов.

Жилой дом разработан в шести вариантах для посемейного заселения и в одном варианте — гостиничного типа.

Под застройку домами принятой серии отведено два квартала в Автове (№№ 9а и 7—8), в составе 59 домов с общей жилой площадью 90,4 тыс. м<sup>2</sup>.



Для дальнейшей застройки подготавливаются проекты планировки кварталов в пос. Дачное, в объеме, соответствующем мощности комбината.

Согласно проекту организации работ, монтаж домов намечено производить по часовым графикам с транспортных средств («с колес») с помощью башенного крана СКБ-1 грузоподъемностью 3 т.

Для обеспечения номенклатуры изделий для жилого дома, не входящих в профиль производства комбината, последний кооперируется с другими специализированными трестами и предприятиями и получает готовые детали и полуфабрикаты (столярные изделия и погонаж, встроенную мебель, металлоизделия, сантехкабины, сантехоборудование кухни, электромонтажные заготовки и конструкции).

Домостроительный комбинат Главленинградстроя в Автостроительном районе, являясь одним из крупнейших предприятий Ленинграда, выпускает жилые дома с широким применением ячеистых бетонов.

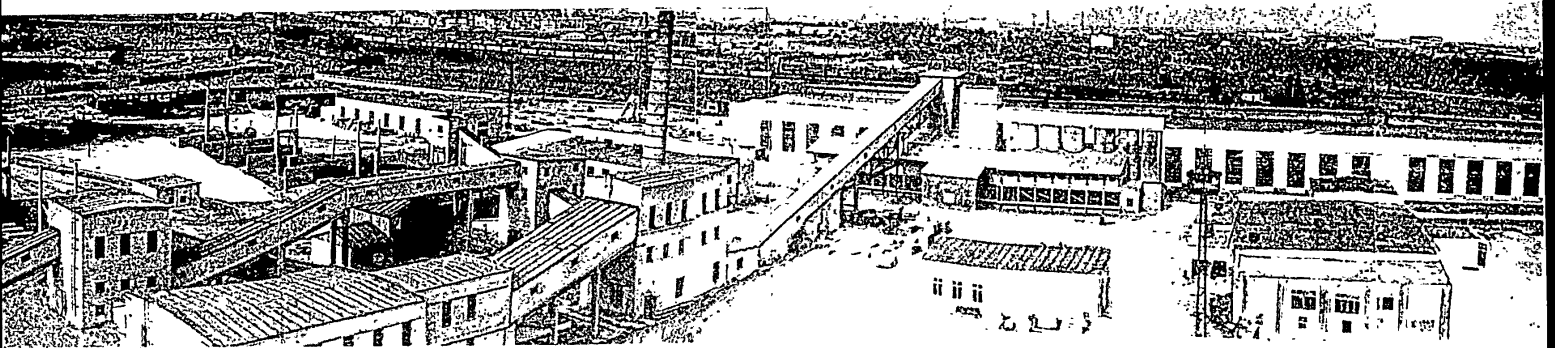
Отв. за выпуск *В. С. Болотин*

Издание редакции журнала  
«Бюллетень технической информации» Главленинградстроя  
Ленинград, Невский пр., 1

Подписано к печати 11/VI 1959 г. М-24253. Бумага 60×92/16. Печ. л. 0,5. Тираж 2500 экз.  
Заказ № 978.

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза. Ленинград, Социалистическая, 14

ГЛАВЛЕНИНГРАДСТРОЙ при ЛЕНГОРИСПОЛКОМЕ



В О Б У Х О В Е  
1 9 5 9

Комбинаты, в том числе и комбинат Главленинградстроя в Обухове, организованы как предприятия, совмещающие функции завода-изготовителя сборных элементов для домов одной или нескольких серий, с осуществлением всего комплекса строительно-монтажных работ по возведению зданий. Комбинат ведет работы на территории с уже законченной инженерной подготовкой, на объектах с полностью завершенной подземной частью дома.

Помимо этого, в круг деятельности комбината входит совершенствование конструктивных решений, заложенных в проекты принятой серии, повышение технологичности отдельных конструкций и разработка поточных методов ведения монтажных работ.

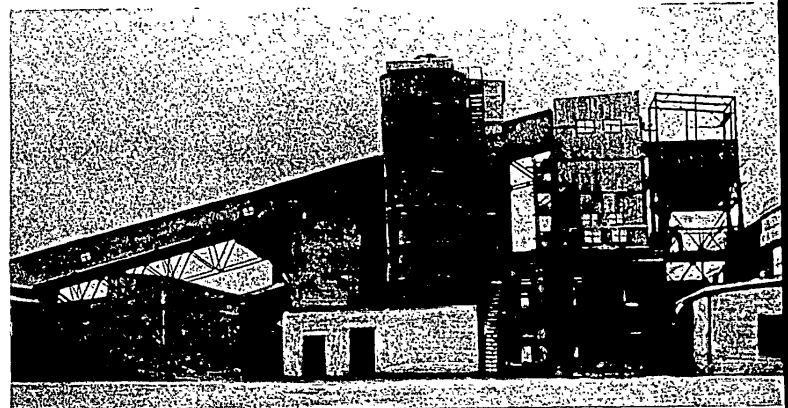
Конечная продукция комбината — готовый для заселения жилой дом.

Отв. за выпуск: *А. Г. Шляпникова*

Издание редакции журнала  
«Бюллетень технической информации» Главленинградстроя  
Ленинград, Невский пр., 1

Подписано к печати 11/VI 1959 г. М-24255. Бумага 60×92<sup>1/2</sup>. Печ. л. 0,5.  
Тираж 2500 экз. Заказ № 971.

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза, Ленинград, Социалистическая, 14.



Бетонно-растворный цех.

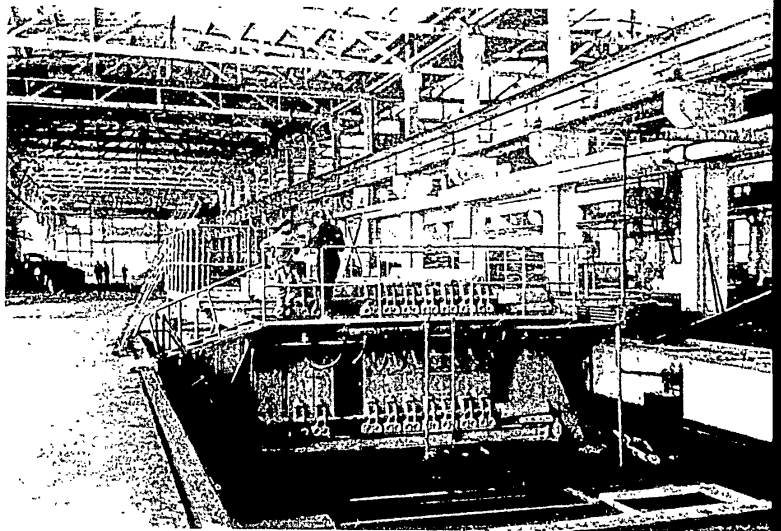
Массовая порайонная застройка городов средствами домостроительных комбинатов — это организационная форма индустриального домостроения, отличающаяся высокими технико-экономическими показателями.

Домостроительный комбинат в Обухове рассчитан на изготовление конструкций и возведение из них в год 96 жилых домов (по 60 квартир в каждом), или 170000 м<sup>2</sup> жилой площади. За семилетие комбинатом будет сооружено около 95 тыс. квартир со средней жилой площадью 30 м<sup>2</sup>.

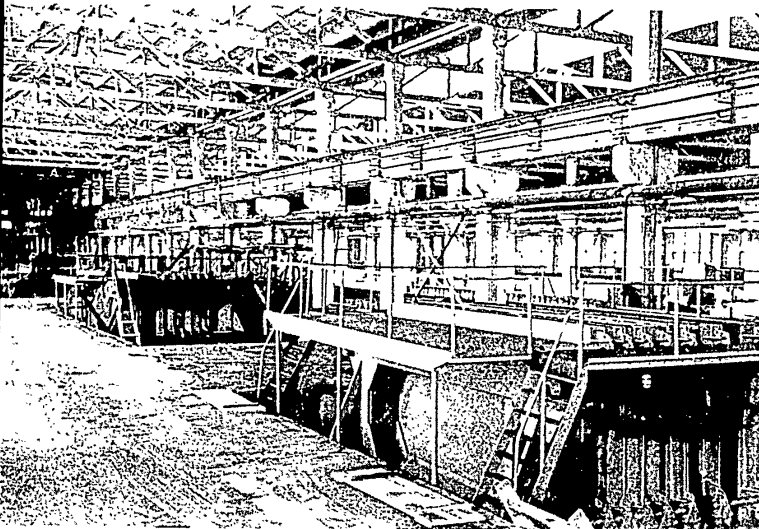
В состав комбината входят:  
бетонно-растворный цех производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup> в год с отделениями дробления и сортировки инертных материалов;

главный производственный корпус из трех пролетов по 18 м, производственной площадью 10000 м<sup>2</sup>;

наружный полигон с ямными камерами для термообработки, оборудованный башенным краном грузоподъемностью 5 т;



Установка для производства панелей перекрытия.



Машины для производства панелей.

комплекс вспомогательных зданий в составе ремонтно-механического цеха, административных, бытовых и других помещений;

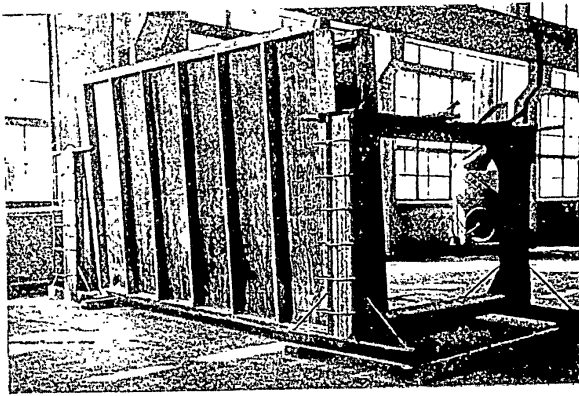
склад готовой продукции, оборудованный башенным и порталным кранами грузоподъемностью по 5 т.

Комбинат выпускает дома с поперечными несущими конструкциями и наружными навесными панелями. Несущие железобетонные элементы изготавливаются в кассетных установках в вертикальном положении. Один комплект из 7 машин УПП установлен в первом пролете главного корпуса, другой оборудуется во втором.

Третий пролет предназначен для производства панелей поколей наружных стен, фризов, стен фундаментов и других изделий в горизонтальных формах с термообработкой в ямных камерах.

В перспективе предусматривается изготовление наружных отделочных панелей из керамзитобетона в кассетных машинах.

В непосредственной близости от комбината сооружается цех для изготовления керамзита по мокрому способу. Методы производства керамзита предварительно отработаны на экспериментальной установке.



Панель перекрытия.

Фундаменты домов ленточные, состоят из сборных железобетонных подушек и бетонных панелей стен толщиной 25 см.

Несущими элементами являются поперечные железобетонные тонкостенные перегородки с ребрами по контуру, с шагом 3,2 м.

Наружные стены состоят из трехслойных навесных панелей толщиной 19 см. Основной размер 3,19 × 2,84 м. Панель образуется из наружной железобетонной скорлупы (3 см) с ребрами по контуру, утеплителя из газобетона (14 см) и 2-сантиметрового выравнивающего растворного слоя.

Перекрытия и крыши состоят из несущих ребристых железобетонных панелей 3,1 × 4,97 × 0,14 м.

Лестницы из сборных железобетонных элементов. Вентиляционные каналы из асбоцементных труб.

Каждая квартира оборудована санитарным узлом в виде пространственной кабины из асбошифера толщиной 10 мм. Полы из линолеума.

Поставка конструкций на строительные площадки предусматривается автотранспортом в специальных прицепах-корзинах.

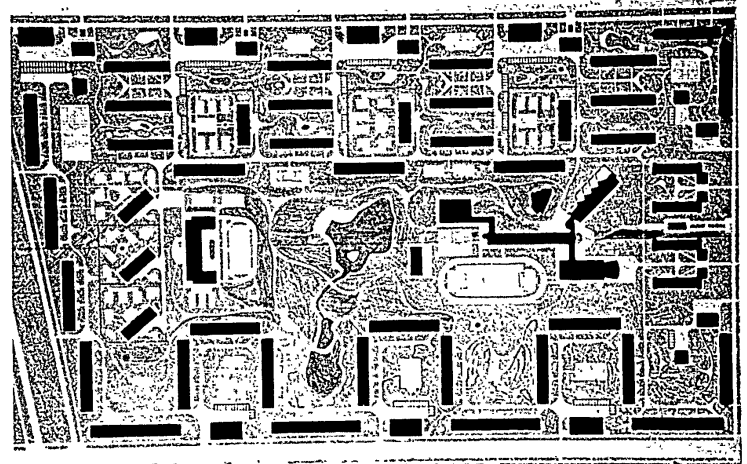
Комбинат в Обухове высокомеханизированное предприятие, где широко применены современные средства автоматизации приготовления растворов и бетонов, а также производства элементов и деталей зданий.

Первые 13 домов сооружаются в настоящее время в квартале 124 Невского района Ленинграда.

Характеристика жилого дома\*

Количество этажей . . . . .	5
» квартир . . . . .	60
Средняя жилая площадь одной квартиры . . . . .	29,6 м <sup>2</sup>
Жилая площадь дома . . . . .	1775 »
Расход бетона на 1 м <sup>2</sup> жилой площади . . . . .	0,39 м <sup>3</sup>
Расход арматурной стали на 1 м <sup>2</sup> жилой площади . . . . .	32 кг
Расход цемента на 1 м <sup>2</sup> жилой площади . . . . .	145 »
Вес 1 м <sup>2</sup> жилой площади (без фундамента) . . . . .	1060 »
Стоимость 1 м <sup>2</sup> жилой площади . . . . .	до 1016 руб
(кубажные работы)	

\* По данным института Ленпроект



Генеральный план экспериментальной застройки 124-го квартала в Невском районе.

117

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА  
И АРХИТЕКТУРЫ СССР  
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ФИЛИАЛ

ГОССТРОИЗДАТ · 1959

# Н О В Ы Е П Р О С Т Р А Н С Т В Е Н Н Ы Е С Т Р О И Т Е Л Ь Н Ы Е К О Н С Т Р У К Ц И И

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР  
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ФИЛИАЛ

---

Н О В Ы Е  
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СООБЩЕНИЙ

*Государственное издательство литературы  
по строительству, архитектуре  
и строительным материалам  
Ленинград \* Москва  
1959*

Под редакцией  
действительного члена  
Академии строительства и архитектуры СССР  
А. П. МОРОЗОВА

Научный редактор  
канд техн наук М. А. ПЛАКИДА

В сборнике дается анализ новых строительных, в том числе армированных, конструкций, разработанных и осуществленных на стройках Ленинграда, содержится технико-экономическая характеристика этих конструкций, приводятся рекомендации по их внедрению в строительную практику.

## ВВЕДЕНИЕ

В обращении участников Всесоюзного совещания строителей, архитекторов, работников промышленности строительных материалов, проектных и научно-исследовательских организаций ко всем работникам строительной индустрии подчеркивается необходимость быстрого внедрения новых эффективных материалов и конструкций, ликвидации отставания в производстве и применении в строительстве предварительно напряженных сборных железобетонных конструкций. В обращении указывается также на необходимость дальнейшей типизации строительства.

Важнейшей задачей является разработка и внедрение в строительство наиболее прогрессивных тонкостенных железобетонных конструкций, отличающихся выск и экономичностью.

Опыт строительства пространственных тонкостенных сооружений в Советском Союзе и за рубежом полностью подтвердил их экономические и технические преимущества. Тем не менее в отечественной строительной практике основной удельный вес по-прежнему продолжают занимать плоскостные конструктивные схемы, выполненные в сборном железобетоне, в том числе и типовые. Технико-экономический анализ этих конструкций указывает на их нерациональность по сравнению с пространственными.

В плоскостных конструктивных схемах материал в основном расходуется на изготовление ограждающих элементов, не принимающих непосредственного участия в общей работе сооружения. Это и предопределяет высокий расход бетона и стали. Характер конструкций, решенных по двух-, трехступенчатой схеме, не использует всех преимуществ железобетона, не учитывает его особенности и скорее копирует конструкции, выполненные в металле.

Так, например, приведенная толщина сборной железобетонной оболочки двойной кривизны размером 18×18 м, примененной при возведении одного из промышленных объектов Ленинграда, равняется 6,8 см, а покрытие, состоящее из крупнопанельного настила, по предварительно напряженным балкам НИИ-200 — 9 см. Расход стали, отнесенный на 1 м<sup>2</sup> покрытия в этих двух конструкциях, составляет соответственно 11,5 и 14 кг.

Такое же примерно соотношение в пользу пространственного решения можно наблюдать при сопоставлении показателей 40-метровой сборной сферической оболочки, спроектированной ленинградскими конструкторами и осуществленной в натуре, и по-



крытия из напряженно армированных ферм и крупнопанельных настилов. В этом случае приведенная толщина для пространственного и плоскостного решения составляет соответственно 11,5 и 13,8 см, а расход стали — 18,2 и 25,4 см.

Сравнительный анализ других пространственных сооружений, как, например, монолитных оболочек двойной кривизны размером 12×12 м, примененных на стройках Минска, Калинин, Вышнего Волочка, волнистого свода пролетом 24 м и в Киеве, цилиндрической оболочки 12×12 м в Днепротроивке и других, также выявила их несомненные преимущества.

Среди советских конструкторов и строителей растет интерес к пространственным конструкциям, которые начинают получать все большее распространение при возведении промышленных и гражданских сооружений. Однако опыт их внедрения пока еще недостаточен, и поэтому задачей проектировщиков и производственников является создание всех необходимых условий, чтобы эти конструкции, отличающиеся значительными технико-экономическими преимуществами, нашли широкое применение в различных областях строительства.

Неотложной является задача, связанная с разработкой и освоением практических методов расчета пространственных сооружений, — методов, доступных широкому кругу инженеров-проектировщиков.

Два последних международных конгресса (в 1952 и 1957 гг.), посвященных вопросам расчета, конструирования и строительства железобетонных оболочек, подтвердили со всей определенностью большое значение, которое придается внедрению пространственных сооружений в повседневную строительную практику во многих странах мира.

Способ напряженного армирования конструкций, нашедший за последние годы широкое применение, помимо экономического эффекта, позволил, как известно, широко раздвинуть рамки практического использования железобетона для покрытия больших пролетов, ранее осуществлявшихся исключительно в металле.

Использование этого способа при проектировании пространственных сооружений может безусловно обеспечить оптимальное, отвечающее высокому уровню строительной техники конструктивное решение.

Основной задачей научно-исследовательской работы, проводимой сектором новых железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий Ленинградского филиала Академии строительства и архитектуры СССР, является разработка и внедрение в строительную практику наиболее прогрессивных и экономичных пространственных конструкций, решенных в сборном железобетоне и армоцементе.

В сборнике содержатся статьи, обобщающие выполненные коллективом научных сотрудников работы, направленные к созданию новых экономичных конструкций и внедрению их в строительную практику, а также статьи, посвященные испытаниям, технико-экономическому анализу сборных типовых железобетонных унифицированных конструкций и т. д.

Чтобы оказывать на уровне новых задач, которые ставит перед учеными и инженерами строительная практика, необходимо усилить и углубить научно-исследовательскую работу по изучению и внедрению в строительную практику пространственных тонкостенных конструкций.

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ АРМОЦЕМЕНТА

А. И. МОРОЗОВ

действительный член Академии строительства и архитектуры СССР

В. Ф. МИНИН  
инженер

Инженерная мысль в Советском Союзе и за рубежом пылливо ищет новые, наиболее совершенные конструктивные решения и архитектурные формы, которые позволят с максимальной полнотой реализовать широкие возможности, скрытые в железобетоне.

Можно с уверенностью утверждать, что и сегодня далеко не все эти возможности учтены и использованы.

Путь развития строительных железобетонных конструкций неразрывно связан с появлением новых конструктивных решений и материалов: арматурных сталей высокой прочности, цементов с непрерывно повышающейся активностью, инертных заполнителей и, наконец, совершенствующейся с каждым днем технологией изготовления железобетонных конструкций и деталей.

Большим шагом вперед явилось внедрение способа напряженного армирования, что позволило раздвинуть рамки практического использования железобетонных конструкций для перекрытия больших пролетов взамен металлических.

Первыми железобетонными конструктивными элементами, как известно, были свободнолежащие плиты и балки. В дальнейшем в связи со стремлением увеличить перекрываемые пролеты стала применяться ребристая плита. Затем в целях дальнейшего повышения несущей способности балки и увеличения свободного пролета начали практиковать заземление балок на опорах путем жесткого соединения с вертикальными несущими элементами сооружения. В результате появилась железобетонная жесткая рамная конструкция, представлявшая систему стержневой, тесно связанных между собой путем распределения усилий и деформаций. Учитывая особенности железобетона, рамная конструкция явилась наиболее приемлемой, так как свойства материала позволяли создавать конструкции жестких соединений.

В дальнейшем инженерная мысль снова вернулась к плите, но не плоской, а криволинейной, к так называемой пространственной конструкции — тонкостенному куполу, своду, оболочке.

Эффективность этих конструкций в основном зависит от их формы и, следовательно, от способности конструкции в целом сопротивляться действующим усилиям, а не от концентрации сил в различных отдельных сечениях элементов, как это имеет место в обычных конструкциях, состоящих из главных и второстепенных элементов.

Покрывтия, решенные в виде тонкостенных пространственных конструкций, обладают большими преимуществами. В них нагрузка распределяется по всей поверхности. Материал, из которого выполнены эти конструкции, участвует в их работе. В этом основное и принципиальное отличие покрытий, решенных в виде тонкостенных оболочек, от конструкций, в которых ограждающие элементы сооружения воспринимают внешние нагрузки и вместе с собственным весом передают их на внутренний каркас.

Пространственные конструкции способны перекрывать большие площади без устройства внутренних промежуточных опор, причем собственный вес конструкций с увеличением пролетов возрастает незначительно.

В Советском Союзе тонкостенные железобетонные оболочки получают с каждым годом все большее распространение в виде типовых шедовых покрытий пехов предприятий легкой промышленности, а также в индивидуальных проектах сооружений больших пролетов и площадей.

Одной из наиболее актуальных проблем, связанных с дальнейшим совершенствованием и внедрением пространственных конструкций, является снижение их веса.

При проектировании тонкостенных железобетонных оболочек наиболее важными показателями являются приведенная толщина бетона, зависящая в основном от толщины скорлупы оболочки, и расход металла на  $1 \text{ м}^2$  перекрываемой площади.

Осуществленные за последние годы пространственные тонкостенные конструкции покрытий гражданских и промышленных зданий как в СССР, так и за рубежом имеют толщину стенки обычно в пределах 50—75 мм. В исключительных случаях эта величина может быть снижена до 30—35 мм.

Приведенная толщина сооружения с учетом затрат материала на бортовые элементы, ребра жесткости, контурные несущие конструкции и пр. колеблется, как минимум, в пределах 60—70 мм.

Дальнейшее облегчение веса пространственных конструкций за счет уменьшения толщины стенки при условии применения обычного железобетона является в большинстве случаев трудно разрешимой задачей. Единственный путь заключается в переходе от обычного железобетона со стержневой арматурой к армоцементу.

#### Преимущества армоцементной конструкции

Армоцементные конструкции изготавливаются из песчано-цементного раствора требуемой марки и армируются несколькими слоями тонкой металлической сетки. В некоторых случаях в арматуру включается небольшое число тонких стальных стержней

Арматурные сетки изготавливаются обычно из стальной проволоки диаметром от 0,5 до 1,5 мм с размером ячейки 10—15 мм. Вес таких сеток колеблется в пределах от 0,5 до 1,5 кг/м<sup>2</sup>. Раствор для армоцементных конструкций готовится из песка нормального гранулометрического состава, иногда с добавлением гравия мелкой и средней крупности и цемента соответствующей марки.

Количество арматурных сеток определяется в каждом отдельном случае путем расчета, а также конструктивными соображениями. Если толщина армоцементного элемента окажется недостаточной, между отдельными слоями проволоочной сетки прокладывается один или несколько слоев стальных арматурных стержней диаметром от 4 до 8 мм.

Толщина армоцементного элемента может быть доведена до 12 мм. При изготовлении армоцементных изделий уплотнение раствора на арматурных сетках можно производить при помощи вибрации. Для нанесения раствора могут быть использованы растворонасосы. В некоторых случаях применяется также метод торкретирования.

Имея в своем составе те же исходные материалы (цемент, заполнитель и сталь), армоцемент по своим физико-механическим свойствам резко отличается от обычного железобетона.

Механические свойства армоцемента более близки к свойствам однородных материалов. Наиболее ценным его качеством является большая упругость, превышающая упругость обычного железобетона, а также высокая сопротивляемость трещинообразованию, что достигается главным образом благодаря равномерному распределению арматуры в теле конструкции.

Железобетон был выдвинут на одно из первых мест среди эффективных строительных материалов благодаря сближению коэффициентов температурных расширений бетона и стали.

При повышении температуры одинаково увеличиваются в объеме как бетон, так и стальная арматура. При остывании, однако, можно наблюдать иное явление. В то время как стальные арматурные стержни сокращаются и возвращаются без каких-либо повреждений к своим первоначальным размерам, в бетоне нередко возникают трещины. Предотвратить их появления нельзя, но свести их отрицательное влияние до минимума путем рационального размещения арматуры можно.

В этом отношении хорошим конструктивным решением является, например, использование сетчатой арматуры в армоцементных конструкциях. Большие возможности, скрытые в армоцементе, как эффективным материале для возведения тонкостенных конструкций, в свое время были высоко оценены и удачно использованы известным итальянским конструктором профессором Лунджи Нерви.

Созданные им пространственные тонкостенные сооружения в сборных и сборно-монолитных армоцементных конструкциях с пролетами, достигающими 100 м, полностью подтверждают целесообразность использования этого материала в строительных целях

Можно также сделать и другой вывод: в деле создания предельно легкой пространственной конструкции, обладающей вместе с тем необходимой жесткостью, использование армоцемента может иметь иногда даже решающее значение.

#### Армоцементное покрытие торгового зала Московского рынка

Первым опытом применения в СССР армоцементных конструкций в пространственных сооружениях явились работы Ленинградского филиала Академии строительства и архитектуры в содружестве с Ленпроектм и трестом № 105 Главленинградстроя.

В свое время филиалом были разработаны новые конструктивные схемы и решения пространственных армоцементных покрытий промышленных и гражданских зданий. В этих конструкциях толщина несущих и ограждающих элементов доведена до предельного минимума.

К упомянутым конструкциям относятся армоцементные своды-оболочки двойкой кривизны, покрытия волнистого типа, сборные тонкостенные покрытия из унифицированных элементов и другие оригинальные конструктивные решения.

Эти конструкции обладают оптимальными показателями, в то же время высокими статическими свойствами, которым должно отвечать любое правильно спроектированное пространственное сооружение.

Некоторые конструкции вышли из стадии экспериментального изучения и внедрены в строительную практику, по остальным разработаны технические проекты и рабочие чертежи, часть конструкций находится в процессе изучения.

Первым пространственным армоцементным сооружением, осуществленным в Ленинграде, явилось покрытие торгового зала рынка Московского района г. Ленинграда<sup>1</sup>.

По первоначальному проекту покрытие здания предполагалось в виде сборных железобетонных арок, поставленных на расстоянии 6 м ось от оси, перекрытых типовыми двухпустотными настилами. Собственный вес конструкции составлял 273 кг/м<sup>2</sup>.

Новое решение предусматривало уменьшение собственной о веса покрытия до 73 кг/м<sup>2</sup>, т. е. этот вес почти в четыре раза меньше по сравнению с ранее запроектированной конструкцией.

Осуществленное в натуре покрытие торгового зала пролетом 15 м представляет собой тонкостенный армоцементный цилиндрический свод, имеющий в поперечном сечении волнообразное очертание. Все покрытие решено в виде сборной конструкции, состоящей из отдельных арок шири-

ной 150 см и длиной в горизонтальной проекции, равной перекрываемому пролету (рис. 1).

По первому варианту каждую арку предполагалось собирать из трех отдельных элементов. В дальнейшем, в процессе производства работ, было признано более рациональным укрупнить сборные элементы, отказаться от двух промежуточных стыков. Решено изготовлять арку на всю длину пролета в виде готовой монтажной единицы.

Каждый отдельный сборный элемент свода представляет собой геометрическую фигуру двойкой кривизны. В поперечном направлении ширина элемента, равная одной волне, составляет 150 см при высоте самой волны 50 см. Контур поперечного сечения складывается из криволинейных участков, очерченных по дуге круга с радиусом 35,5 см и прямых вставок. Отдельные волны стыкуются между собой в гребнях.

В направлении перекрываемого пролета элемент изогнут также по дуге круга с радиусом 1310 см. Таким образом, полная длина арки, считая по дуге окружности, составляет 1597 см, а стрела подъема — 236 см.

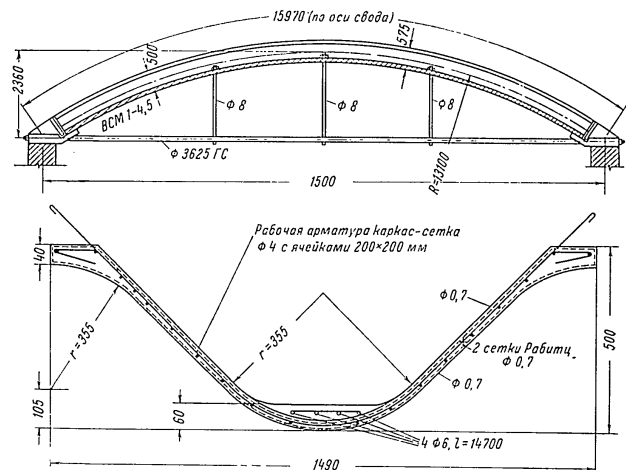


Рис 1 Армоцементное покрытие торгового зала рынка Московского района (Ленинград): арка с затяжкой и сборный армоцементный элемент (волна)

<sup>1</sup> Изготовление сборных армоцементных элементов покрытия рынка и их монтаж были осуществлены коллективом треста № 105 Главленинградстроя под руководством главного инженера А. Ф. Старова и главного технолога Т. С. Шифрина

Толщина стенки армоцементного элемента 20 мм. В гребнях волн, где располагаются стыки, толщина возрастает до 40 мм.

Для повышения жесткости конструкции в пониженных точках между волнами устраиваются ребра, бетонируемые одновременно с изготовлением самого элемента.

Арматура элемента состоит из двух слоев стальной сетки, сплетенной из проволоки диаметром 0,7 мм, с размерами ячеек 12×12 мм, а также из круглых стержней диаметром 6 мм, расположенных между рядами сеток в продольном и поперечном направлениях на взаимном расстоянии 20 см. Помимо этого, в ребрах жесткости во впадинах между волнами укладывается рабочая арматура (по четыре стержня диаметром 6 мм на каждое место).

Покрытие в целом работает как двухшарнирная арка с большим моментом инерции поперечного сечения. Распор воспринимается затяжками из круглой стали диаметром 36 мм, расположенными на взаимном расстоянии 6 м в направлении продольной оси свода. Каждая затяжка состоит из трех отдельных секций, соединенных натяжными муфтами. Во избежание провисания в пролете предусмотрены три подвески из стали диаметром 8 мм.

Затяжка с упорами и подвесками представляет собой самостоятельную конструкцию и монтируется одновременно с элементами свода. В соответствии с принятым шагом затяжки устанавливаются через каждые четыре сборных элемента.

Основные технико-экономические показатели армоцементного покрытия торгового зала, а также некоторые сравнительные данные приведены в табл. 1

Таблица 1

Основные показатели	Осуществленный вариант (армоцементные арки)	Первоначальный вариант (железобетонные арки и пустотные настилы)
Объем армоцементного элемента в м <sup>3</sup>	0,615	—
Вес армоцементного элемента (приблизительно) в кг	1610,0	—
Расход металла на один элемент в кг	80,2	—
Расход металла на 1 м <sup>2</sup> перекрываемой площади в кг	4,10	10,4
Приведенная толщина армоцемента-бетона в см	3,98	10,9
Расход цемента на 1 м <sup>2</sup> перекрываемой площади в кг	21,0	26,4

Армоцементные элементы покрытия изготовлялись на полигоне, находившемся на территории строительной площадки в радиусе действия

башенного крана. Бетонирование производилось на уровне земли в деревянной односторонней опалубке, собранной из реек сечением 20×50 мм. Рейки нашивались на дощатые кружала, изготовленные в соответствии с кривизной поперечного сечения элемента (рис. 2).

Весь этот процесс начинался с подготовки опалубки, поверхность которой смазывалась отработанным машинным маслом и покрывалась затем оберточной бумагой в один слой. После этого производилось натяжение нижней слоя арматурной сетки. Создание необходимого защитного слоя обеспечивалось установкой растворных маяков нужной толщины. Для предупреждения отслаивания при нанесении раствора сетка прикреплялась в нескольких местах к опалубке тонкими стальными шпильками. Поверх первого слоя сетки укладывалась стержневая арматура, а по ней — второй слой проволоочной сетки.

Для приготовления раствора был использован цемент марки 400 и песок средней крупности. Состав раствора был принят 1 : 1,3. В результате прочность кубика в 28-дневном возрасте равнялась 300—350 кг/см<sup>2</sup>.

Цементный раствор укладывался в подготовленную опалубку при помощи инструмента, обычно применяемого для каменных и штукатурных работ. Для выравнивания криволинейной поверхности применялись фигурные деревянные шаблоны. В процессе нанесения раствора глубина слоя проверялась при помощи специальной плиты, что было необходимо для точного соблюдения проектной толщины стенки элемента.

Изготовление сборных деталей велось комплекс-

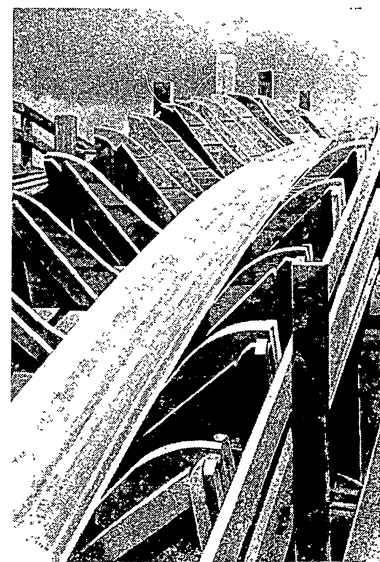


Рис 2 Опалубка, предна-значенная для изготовления армоцементных арок, в процессе сборки

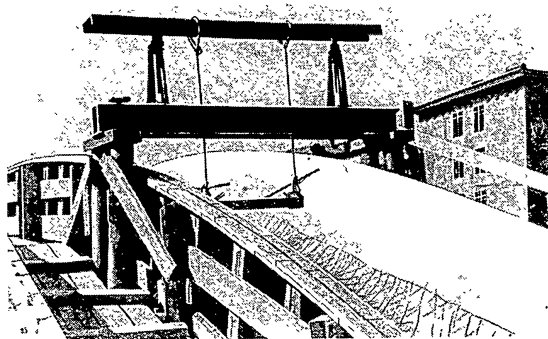


Рис. 3 Съем готовых армоцементных элементов

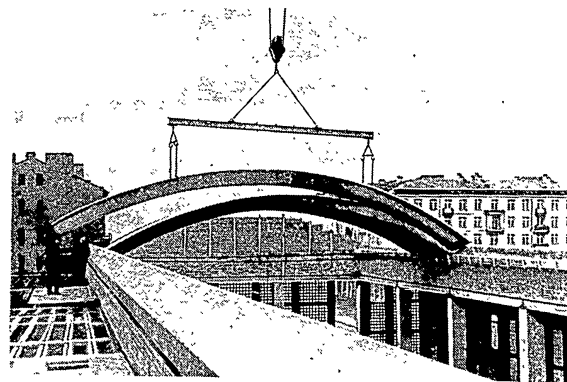


Рис. 4 Установка армоцементных арок в проектное положение

но. Этим делом были заняты звенья из двух бетонщиков V разряда и двух арматурщиков IV и V разрядов. Фронтом работы звена являлся один элемент размером в плане  $15 \times 1,5$  м.

Твердение забетонированных деталей происходило на открытом полигоне без применения какого-либо способа, обеспечивавшего активизацию процесса. Съем изделий с опалубки производился по достижении контрольными кубиками прочности  $200 \text{ кг/см}^2$ .

Съем осуществлялся с помощью четырех винтовых домкратов, установленных в третях пролета. Ступенчатое повреждение элементов в процессе съема не наблюдалось (рис. 3).

Монтажные операции по подъему и установке элементов в проектное положение выполнялись при помощи башенного крана грузоподъемностью  $1,5-3$  т.

Строповка производилась за закладные петли (их насчитывалось четыре) посредством металлической траверсы с двумя парами подвесок, поставленных одна от другой на расстоянии  $689 \text{ см}$  (рис. 4).

В покрытии торгового зала сборные арки, согласно проекту, опираются на железобетонную обвязку, выполненную из монолитного железобетона поверх кирпичной кладки.

Монтаж покрытия был осуществлен следующим образом. До начала работ на железобетонных обвязках была произведена разметка, точно фиксирующая положение каждого отдельного сборного армоцементного элемента, а также положение стальных затяжек

Нижние поверхности снятых с опалубки деталей очищались от бумаги и путем затирки и грунтовки подготавливались под окраску.

Элементы (арки) устанавливались в проектное положение в двух направлениях — от середины здания к торцам одновременно с установкой затяжек, причем они опережали армоцементные элементы на один шаг. Подвески, поддерживающие затяжки, заводились в швы между двумя смежными элементами и закреплялись выпусками арматуры из ребер арок.

Швы между арками замоноличивались цементным раствором марки 200. До этого элементы скреплялись между собой путем скрутки концов арматурных выпусков.

Термоизоляция покрытия была запроектирована в виде пенобетонных плит с объемным весом  $500 \text{ кг/м}^3$  и толщиной  $120 \text{ мм}$ . Поверх теплоизоляционного слоя была положена асфальтовая стяжка толщиной  $20 \text{ мм}$  и по ней рулонное покрытие, состоящее из двух слоев рубероида на битуме.

Все монтажные операции выполнялись бригадой из четырех монтажников и двух подсобных рабочих. До начала монтажа на полигоне производились испытания готовых армоцементных элементов<sup>1</sup> с доведением нагрузки до разрушения испытуемого элемента

<sup>1</sup> Испытания конструкций выполнялись канд. техн. наук С. А. Душечкиным и инж. Н. Ф. Свириным (Ленинградский инженерно-строительный институт).

Было установлено, что фактический запас прочности несколько превышает нормативный.

#### Кровельное армированное покрытие жилого здания

В дальнейшем Ленфилиалом в содружестве с Ленпроектм и трестом № 105 Главленинградстроя была разработана оригинальная армированная конструкция кровельного покрытия жилого дома.

До настоящего времени в гражданском и жилищном строительстве используются покрытия, имеющие более чем вековую давность. Металлические кровли по деревянным брусковым обрешеткам и наслонным стропилам как в конструктивном отношении, так и с точки зрения применяемых для их изготовления материалов не отвечают требованиям индустриализации строительства.

Древесина и кровельная сталь под влиянием атмосферных воздействий, в особенности в условиях северо-запада, подвергаются гниению и коррозии.

Срок службы металлических кровель, по имеющимся данным, не превышает 5—6 лет. Так, например, металлические кровли жилых домов, построенных пять лет назад в районе Песчаной улицы в Москве, в настоящее время требуют замены.

Применение оцинкованной кровельной стали не изменило положения. Необходимо также иметь в виду, что выпадение конденсата на охлажденную поверхность кровли разрушает ее не только с наружной, но и с внутренней стороны.

Появившиеся сравнительно недавно сборные железобетонные стропила, конструктивное решение которых в точности копировало традиционные наслонные деревянные стропильные системы, широкого распространения не получили.

Прогрессивные, в большей степени использующие свойства железобетона решения, применяемые в крупноэлементном домостроении, в том числе в Ленинграде, обеспечили создание рациональных кровельных покрытий жилых зданий.

В настоящее время крыши монтируются из сборных ребристых панелей площадью около  $11 \text{ м}^2$  (в дальнейшем  $22 \text{ м}^2$ ). Кровельные панели опираются на наружные стены и среднюю линию опор, состоящую из стеновых элементов и железобетонных прогонов. Поверх панелей наклеивается ковер рулонного покрытия (два слоя рубероида на пергамине).

Толщина плиты между ребрами составляет 3 см, а общая приведенная толщина элемента 5,8 см при расходе 6 кг металла на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной проекции<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> По данным строительства крупнопанельных зданий в 122-м квартале Щемлюпока (Ленинград)

Несмотря на очевидные преимущества по сравнению с прежними системами кровельных покрытий, это решение нельзя все же считать вполне удовлетворительным, так как в кровле не используются полностью все конструктивные возможности, заложенные в железобетоне. Имеет место также высокий расход бетона и металла на  $1 \text{ м}^2$ .

С нашей точки зрения, всякая кровля, решенная в железобетоне, должна обладать достаточной водонепроницаемостью, не требовать дополнительной защиты в виде рулонной кровли.

В основу нового конструктивного решения кровельного покрытия жилого дома, разработанного Ленинградским филиалом АСИА, положен принцип максимального использования всех преимуществ тонкостенной пространственной армированной конструкции.

Многократно и ритмично повторяющаяся волна является, как известно, простейшей и в то же время одной из наиболее рациональных форм, обеспечивающей жесткость тонкостенного элемента. Эта конструктивная схема и была использована для покрытия построенного в Ленинграде жилого дома по Лиговскому проспекту, 168. Толщина армированной стенки покрытия доведена в этой конструкции до 15 мм.

Покрытие скомпоновано по наслонной системе. Сборные элементы представляют собой тонкостенные армированные панели шириной 160 см. Длина элемента соответствует расстоянию между наружной и внутренней стенами типового дома с учетом наклонного положения и достигает 650 см. Каждая панель состоит из двух волн. Высота их 30 см, а длина 80 см. Высота снижается по концам элемента и в местах опирания переходит в плоскую, несколько утолщенную по сравнению с пролетом плиту. Здесь толщина элемента достигает 6 см. Некоторое утолщение стенок допущено в пониженных точках волн — местах укладки рабочей арматуры, в их гребнях (рис. 5).

Арматура панели, как и в покрытии торгового зала рынка Московского района, состоит из двух слоев стальной сетки. Дополнительная стержневая арматура, связанная в виде сетки при расстоянии между стержнями 20 см, имеет диаметр 4 мм. Помимо этого, по дну каждой волны уложено по два стержня диаметром 6 мм.

Для восприятия скалывающих напряжений на опорах панелей применено дополнительное армирование из шести коротышей диаметром 6 мм и длиной 1 м. Со стороны, обращенной внутрь здания, стержни имеют выпуски, предназначенные для устройства стыков между двумя встречными панелями на средней опоре.

Приведенная толщина панелей армированного покрытия 2,7 см.

Изготовление сборных элементов армированной кровли было организовано на открытом полигоне треста № 105 Главленинградстроя по технологии, аналогичной производству армированных арок (рис. 6).

Состав цементного раствора и марка цемента были приняты те же, что и в первом опыте. Прочность раствора в 28-дневном возрасте составляла  $300 \text{ кг/см}^2$ .

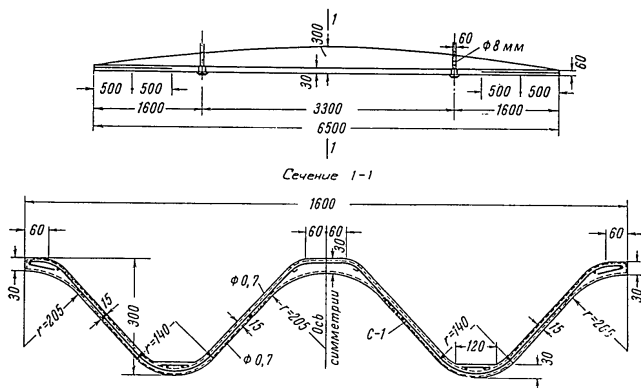


Рис 5 Армоцементная панель кровельного покрытия жилого дома

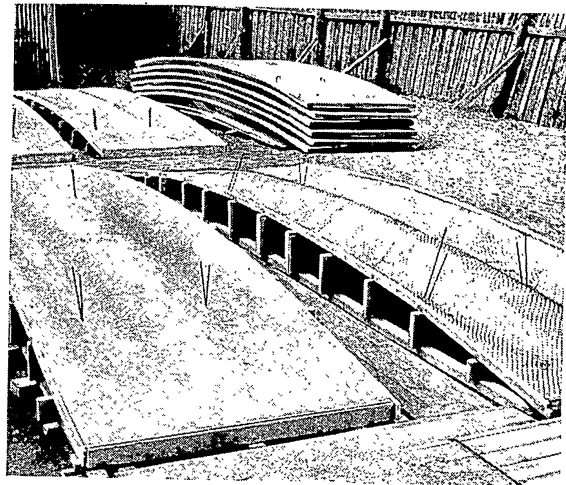


Рис 6 Изготовление армоцементных кровельных панелей на полигоне

Звено из трех бетонщиков затрачивало 1,5 часа на изготовление одного элемента. Этот процесс складывался из подготовки опалубки, натяжения стальных сеток, укладки арматурного стержневого каркаса, который заготавливался заранее, нанесения раствора и окончательной обработки поверхности.

Съем готовых изделий производился по достижении контрольными образцами прочности  $150 \text{ кг/см}^2$ . Отрыв панели от опалубки происходил совершенно свободно и не требовал принятия предварительных мер. Строповка элемента за закладные монтажные петли производилась при помощи обычной тросовой стропы, без участия траверсы.

Панели весом 700 кг поднимались и устанавливались в проектное положение на крыше дома при помощи башенного крана грузоподъемностью 1,5—3 т. Стыкование осуществлялось путем заполнения швов быстротвердеющим цементным раствором.

Изготовленные элементы до начала монтажа подвергались испытанию. Так же, как и в предыдущем случае, испытываемая панель доводилась до разрушения. Результаты показали, что данная конструкция по несущей способности вполне отвечает своему назначению.

Ниже приводится сравнительная таблица основных технико-экономических показателей различных конструктивных решений кровельных покрытий жилых зданий.

Таблица 2

Типы кровельных покрытий	Расход древесины на $1 \text{ м}^2$ в $\text{м}^3$	Расход металла на $1 \text{ м}^2$ в кг		Приведенная толщина конструкции в см
		арматурная сталь и проволока	кровельная листовая сталь	
Стандартное кровельное покрытие из оцинкованной стали по деревянной обрешетке и дощатым стропилам наслонной системы	0,02	—	5,9	—
Железобетонная кровля из ребристых панелей (конструкция, принятая в крупнопанельном строительстве)	—	6,0	—	5,8
Тонкостенное армоцементное кровельное покрытие из волнообразных панелей	—	4,7	—	2,7

## Новые решения армоцементных покрытий

Таблица 3

Помимо приведенных выше конструкций, уже осуществленных и внедренных в строительную практику, сектором новых железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий Ленинградского филиала АСИА разработаны другие проекты покрытий. Главным их отличительным признаком является использование тонкостенной армоцементной оболочки в качестве основного несущего и ограждающего элемента

Из законченных работ, доведенных до стадии рабочих чертежей, следует в первую очередь отметить волнообразную армоцементную свод-оболочку пролетом 24 м для покрытия типовой секции одноэтажного промышленного здания.

Данная конструкция разработана как типовое решение

Первоначально покрытие цеха было запроектировано в типовых железобетонных конструкциях, в состав которых входили: сборная решетчатая ферма пролетом 24 м с напряженно армированным нижним поясом и железобетонные настилы.

Новая пространственная тонкостенная конструкция представляет собой армоцементную свод-оболочку, аналогичную покрытию торгового зала рынка Московского района. Она состоит из унифицированных волнообразных тонкостенных арок с радиусом кривизны 18,5 м и шириной 2 м. Высота волны 50 см, толщина стенки колеблется в пределах от 20 до 30 мм. Армирование из двух стальных сеток и каркаса из проволоки диаметром 3 мм повторяет принятое в ранее осуществленных конструкциях. Помимо этого, в пониженных и повышенных участках волн закладывается дополнительная рабочая арматура из стержней диаметром 10 мм.

На одну двухметровую секцию расходуются восемь стержней. Цементный раствор для оболочек запроектирован марки 200.

В процессе монтажа элементы покрытия устанавливаются на обвязочные балки. Распор свода погашается стальными затяжками, расположенными с шагом 6 м.

Технология изготовления отмеченных унифицированных элементов разработана с учетом использования ранее забетонированных самих деталей в качестве матриц для бетонирования последующих элементов, что в значительной степени должно снизить окончательную стоимость изделий. Для уплотнения цементного раствора и выравнивания поверхности элементов предполагается использование виброшаблонов.

Технико-экономические показатели первоначального варианта покрытия в железобетонных сборных конструкциях и вновь разработанных армоцементного варианта приведены в табл. 3.

Ленинградским филиалом АСИА и Ленпроектм запроектировано также покрытие зимнего плавательного бассейна на Крестовском острове. Этот бассейн с ванной размером 50×21 м и трибунами на 1000 мест будет самым большим в Ленинграде.

Типы покрытия	Расход металла на 1 м <sup>2</sup> покрытия в кг	Приведенная толщина конструкции в см	Максимальный монтажный вес в т
Покрытие из сборных железобетонных деталей	9,49	9,55	9,2
Тонкостенное армоцементное покрытие из унифицированных деталей	6,73	3,67	3,6

На рис. 7 приведена схема покрытия бассейна пролетом 36 м, решеного в виде волнистого свода-оболочки двойной кривизны, собираемого из унифицированных армоцементных элементов размером 1,5 × 6 м и толщиной стенки 30 мм.

Армоцементные сборные элементы покрытия синусоидального в поперечном сечении очертания высотой 50 см изготавливаются заранее в гипсовых формах с помощью подвижного металлического виброшаблона.

Конструктивная арматура армоцементных элементов состоит из сварных сеток с выпусками по торцам и примыкающим граням. При сборке сетки соединяются. Рабочая арматура, укладываемая в процессе сборки покрытия в пониженные участки волн, состоит из 3—4 стержней диаметром 12 мм. Это дополнительное армирование предназначается для вос-

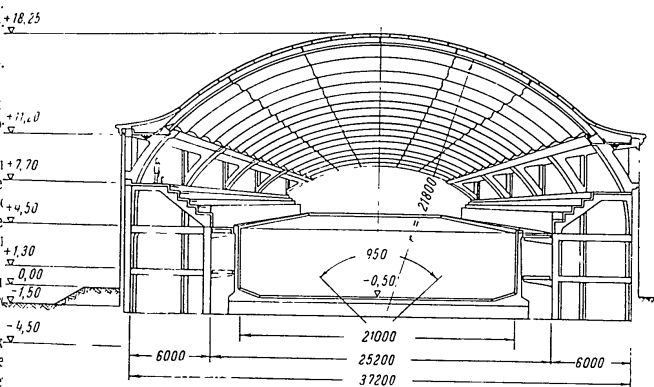


Рис 7 Проект плавательного бассейна (поперечный разрез)



принятия изгибающих моментов от неравномерного нагружения конструкции, а также для предупреждения возможных деформаций.

Основные показатели покрытия: расход металла на  $1 \text{ м}^2$  перекрываваемой площади  $5 \text{ кг}$ , приведенная толщина  $5 \text{ см}$ .

В настоящее время разрабатывается проект покрытия спортивного зала при гостинице в Кавголово (Всеволожский район Ленинградской области) пролетом  $18 \text{ м}$ . Это сооружение также будет осуществлено в тонкостенных пространственных армоцементных конструкциях.

В текущем году армоцементные покрытия найдут широкое применение и на других объектах промышленного назначения. В частности, в настоящее время изготавливаются армоцементные панели для сборного покрытия одного из строящихся зданий экспериментальной базы Академии строительства и архитектуры. Означенное покрытие собирается из тонкостенных элементов размерами в плане  $12 \times 3 \text{ м}$ .

Каждая панель толщиной  $20 \text{ мм}$  состоит из четырех поверхностей. В нижнем поясе элемента имеется ребро шириной  $20 \text{ мм}$  переменной высоты. Армирование панелей выполняется аналогично ранее осуществленным армоцементным конструкциям.

Напряженная рабочая арматура, расположенная в нижнем ребре запроектирована в двух вариантах: в виде арматурного пучка из высокопрочной проволоки с последующим его натяжением или в виде отдельных струн, натягиваемых до бетонирования панели.

Для изготовления панелей уже частично использованы промышленные методы. Нанесение раствора производится не вручную, а при помощи растворонасоса. Одновременно ЦКБ Главленинградстроя разрабатывает агрегат, который даст возможность частично механизировать процесс изготовления армоцементных панелей независимо от их габаритов и геометрических форм. В комплекс операций, выполняемых установкой помимо нанесения раствора, войдет также его разравнивание и соответствию с проектной поверхностью и уплотнение. Изготовление элементов будет осуществляться в железобетонных матрицах с внутренним прогревом.

Надо полагать, что освоение промышленных методов изготовления армоцементных тонкостенных панелей даст возможность широко использовать эти конструкции в строительной практике.

Дальнейшая работа по исследованию физико-механических свойств армоцемента, которая проводится в настоящее время Ленфилиалом АСИА позволит создать новые, высокоэффективные тонкостенные пространственные армоцементные конструкции для промышленного и гражданского строительства.

## ИСПЫТАНИЕ АРМОЦЕМЕНТНЫХ СБОРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДВОЙКОЙ КРИВИЗНЫ

*С. А. ДУШЕЧКИН*  
канд. техн. наук

*Н. Ф. СВИРИН*  
инженер

В августе — октябре 1957 г. на основе договора, заключенного Ленинградским филиалом АСИА с научно-исследовательским сектором Ленинградского инженерно-строительного института, были проведены испытания армоцементных сборных покрытий двойкой кривизны.

Предусматривалось провести полевые испытания статической нагрузкой элементов сборного армоцементного свода двойкой кривизны пролетом  $15 \text{ м}$ , изучить поведение отдельной волны шириной  $1,5 \text{ м}$  под расчетной равномерно распределенной и односторонней (по отношению к продольной оси симметрии волны) нагрузкой, а также замкнутой секции из четырех волн под расчетной нагрузкой.

Затем производились испытания отдельной волны до разрушения армоцементный свод двойкой кривизны, спроектированный для перекрытия торгового зала Московского колхозного рынка, испытывался на месте строительства.

Следующим этапом явились испытания на полигоне треста № 105 Главленинградстроя пробной нагрузкой армоцементной сборной кровельной оболочки, предназначенной для покрытия жилых домов.

Образцы материалов испытывались в механической лаборатории ЛИСИ.

Все испытания выполнялись инженерами Н. Ф. Свириным и В. Г. Годюновым при постоянной консультации канд. техн. наук доцента С. А. Душечкина. Программа испытаний согласовывалась с Ленинградским филиалом АСИА.

### Краткая характеристика примененных материалов и армоцемента

Армирование оболочки состояло из двух слоев сетки Рабица с ячейками  $12 \times 12 \text{ мм}$ . Между сетками помещалась арматура, связанная из проволоки диаметром  $4 \text{ мм}$  (от  $3,75$  до  $4,25 \text{ мм}$ ) с ячейками размером около  $20 \times 20 \text{ см}$ .

Кроме того, в середине и по краям волны укладывалась арматура диаметром 6 мм (по два стержня у краев и по три в середине). В среднем расход арматуры составил 150 кг/м<sup>2</sup>.

Испытаниями в лабораторных условиях было установлено, что миллиметровая проволока имеет средний предел прочности 5 920 кг/см<sup>2</sup> и неясно выраженный предел текучести, приблизительно равный 4 220 кг/см<sup>2</sup>.

Арматура диаметром 4 и 6 мм была подвергнута отжигу и протяжке в процессе ее выпрямления. Предел прочности ее в среднем равен соответственно 3 710 и 4 040 кг/см<sup>2</sup>, а неясно выраженный предел текучести — 2 360 и 2 320 кг/см<sup>2</sup>.

Марка раствора к моменту испытания колебалась в пределах от 180 до 260 кг/см<sup>2</sup>; марка раствора контрольных призм составляла 180 кг/см<sup>2</sup>, изменяясь от 165 до 200 кг/см<sup>2</sup>.

С целью определения модуля упругости армоцемента и предела прочности были изготовлены три призмы размером 15×15×45 см; последние были армированы плоскими сетками Рабица с ячейками 12×12 мм из проволоки диаметром 1 мм и сетками из проволоки диаметром 4 мм (два вертикальных и три горизонтальных стержня).

В толще призм сетки были расположены равномерно так, что каждая из них, выполненная из проволоки диаметром 4 мм, находилась между сетками Рабица.

Всего в каждой призме насчитывалось шесть и пять сеток, выполненных из проволоки диаметром 4 мм. Процент армирования при этом был близок к действительному, имевшему место в испытанных конструкциях сводов и кровельных оболочек.

Испытание призм производилось на 150-тонной испытательной машине Деформации измерялись зеркальным прибором Мартенса с базой 200 мм.

Оказалось, что модуль упругости армоцемента составляет в среднем 230 000 кг/см<sup>2</sup>, изменяясь от 203 000 до 265 000 кг/см<sup>2</sup>.

Характерно, что зависимость между напряжениями и деформациями в пределах от 0 до нагрузки, соответствовавшей 2/3 разрушающей, оказалась практически прямолинейной. Стабилизация отсчетов при повторных нагружениях происходила довольно быстро.

Интересно, что призмная прочность армоцемента более чем в два раза (2,66) оказалась выше марки раствора. Это, очевидно, произошло потому, что арматура препятствует разрушению раствора от растяжения в поперечном направлении и сдвигу.

Модуль упругости армоцемента получается близким к модулю упругости бетона той же марки, что и раствор.

#### Испытание армоцементного свода двойной кривизны

Проектом предусматривалась сборка свода из отдельных волн шириной 1,5 м, устанавливаемых рядом на опорные железобетонные балки

последующим замоноличиванием швов. В опорных балках через каждые четыре волны (6 м) устанавливаются затяжки из круглой стали диаметром 35 мм. Поэтому для испытаний на строительной площадке была смонтирована испытательная установка. Она представляла собой участок свода из четырех волн, поставленных на железобетонные сборные балки, концы которых были соединены затяжками. Внизу находились леса, а по торцам и поверху были устроены ходовые трапы из досок. Общий вид испытательной установки показан на рис. 1.

В процессе испытаний требовалось определить деформации и напряжения в элементах свода при разных комбинациях загрузки расчетной нагрузкой. Необходимо было также установить запас прочности и устойчивости конструкции путем загрузки одной отдельной волны свода до разрушения. При этом нужно было уловить степень погрешности при испытании только части, а не целой конструкции свода, когда условия работы отдельных элементов могли несколько улучшиться. Приблизительно можно было найти эти данные при сопоставлении результатов испытаний отдельной волны и замоноличенной секции из четырех волн при тех же комбинациях приложения нагрузки.

Кроме того, нужно было изучить работу отдельной волны в момент приложения нагрузки только на один ее борт, что может практически иметь место, например, при разреженной постановке волн в своде с межволновыми вставками в виде плит или в других сооружениях, когда такая волна может быть использована как самостоятельная несущая конструкция.

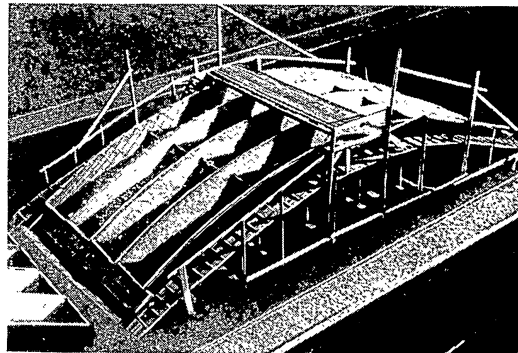


Рис 1 Общий вид испытательной установки

Исходя из поставленных задач, последовательно испытывались:

- волна свода на расчетную нагрузку;
- секция свода из четырех замкнувшихся волн при тех же комбинациях нагрузок;
- волна свода на расчетную нагрузку, приложенную к одному ее борту;
- волна свода на разрушение.

Были приняты следующие схемы загрузки и их последовательность при испытании на расчетные нагрузки как отдельной волны, так и целой секции свода:

- постоянная нагрузка по всему пролету;
- постоянная и временная нагрузка по всему пролету;
- постоянная нагрузка левой половины пролета, постоянная и временная нагрузка на правой половине пролета и наоборот;
- постоянная нагрузка по всему пролету.

Конструкция выдерживалась под расчетной нагрузкой и после загрузки в течение полутора суток. За это время периодически брались отсчеты по приборам. При затухании деформаций раньше указанного срока время выдерживания соответственно сокращалось.

Величины расчетных нагрузок на 1 м проекции волны с учетом коэффициентов перегрузки были определены следующие:

постоянная нагрузка	.....	175 кг/м
временная "	.....	135 "

Материалом для загрузки служил кирпич весом 3,5 кг. Всего считывалось девять ступеней приложения нагрузки, из них пять соответствовали постоянной и остальные — временной нагрузкам.

При полном загрузке постоянной и временной нагрузками на одну волну приходилось 1 350 шт., или 4 725 кг кирпича; последний укладывался на доски столбиками через 0,5 м.

Общие деформации конструкций (прогибы, осадка опор и распор) замерялись прогибомерами системы проф. Н. Н. Анстова и мессурами; фибровые деформации для определения напряжений измерялись тензодатчиками с базой, равной 200 мм.

Для испытаний были взяты четыре первые волны, осуществленные на стройке в тот период, когда еще не было опыта их изготовления, и поэтому качество этих конструкций было невысоким.

Испытание отдельной волны. Для приближения условий испытаний к действительной работе волны в своде, когда ее борта закреплены с целью предохранения от горизонтальных перемещений соседними волнами свода и конструкцией утепленной кровли, было сделано следующее. Борта элемента были скреплены стяжками из круглой арматурной стали диаметром 10 мм, установленными через 0,5 м. Концы стяжек загибались на бортах в виде крючков и были замощены цементным раствором. На стяжки были поставлены деформации сечения волны.

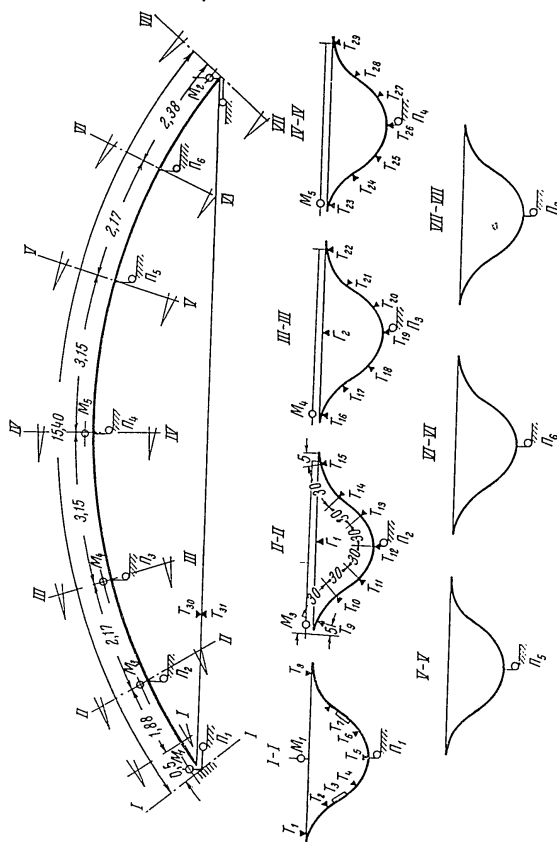


Рис. 2 Схема установки приборов при испытании волны свода на расчетную нагрузку.

Однако эти деформации и усилия в стяжках при испытании оказались настолько малы, что уловить их приборами было невозможно.

Схемы установки прогибмеров, мессур и тензометров показаны на рис. 2.

Результаты испытаний отдельной волны свода на расчетные нагрузки приведены в табл. 1 и 2 и на графиках (рис. 3, 4 и 5), из которых видно следующее.

При расчетной равномерно распределенной нагрузке в 315 кг/м максимальный прогиб 4,63 мм наблюдался в шельге волны свода и составил 1 : 3260 пролета. Характер кривых прогиба указывает на упругую работу конструкции под нагрузкой. Остаточный прогиб после разгрузки — 0,85 мм — составил всего 18% от полного прогиба под расчетной нагрузкой с учетом коэффициента перегрузки. Максимальные напряжения в бетоне наблюдались при одностороннем нагружении временной нагрузкой примерно в четвертях пролета и достигли в нижней части сечения — 7 кг/см<sup>2</sup> и в верхней до +34 кг/см<sup>2</sup>.

Появления трещины отмечено не было. Заметим, что наибольший прогиб при одностороннем нагружении временной нагрузкой также наблюдался в шельге волны и был равен 3,78 мм, т. е. меньше, чем при полном нагружении временной нагрузкой, что объясняется большой высотой сечения волны, равной 1 : 30 части пролета, т. е. большой ее жесткостью.

Несмотря на то, что опорные балки опытного участка свода опирались на грунт, они не препятствовали деформациям. Об этом свидетельствует близкое совпадение опытных и теоретических значений величины усилий в стяжках (их расхождения не превышали 5%). Это, по-видимому, объясняется податливостью влажного грунта и наличием вибрации от механизмов, работавших поблизости от места испытаний, а также малыми размерами величины деформаций распора.

Испытание секции свода. В эту секцию, кроме испытанной волны, входили три другие волны, отличающиеся от первой меньшей прочностью раствора (в среднем 200 против 265 кг/см<sup>2</sup>) и тем, что обе сетки Рабица имели ячейки размером 12×12 мм. Подготовка секции к испытаниям заключалась в следующем. Все три шва между волнами были замоноличены путем соединения выпусков арматуры и заполнения выпусков цементным раствором. Через каждые 20 см

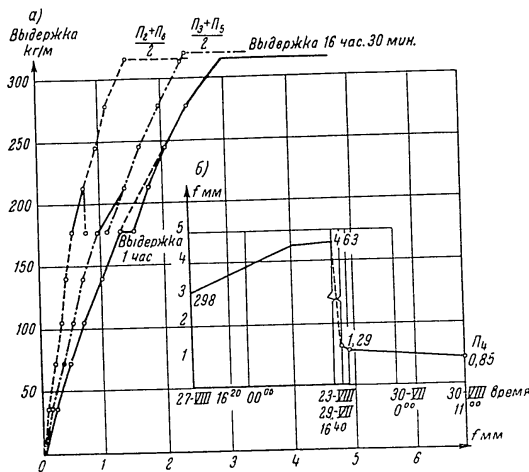


Рис 3 График прогибов отдельной волны свода под расчетной нагрузкой  
а — при нагружении расчетной нагрузкой, б — при выдержке под расчетной нагрузкой и после разгрузки

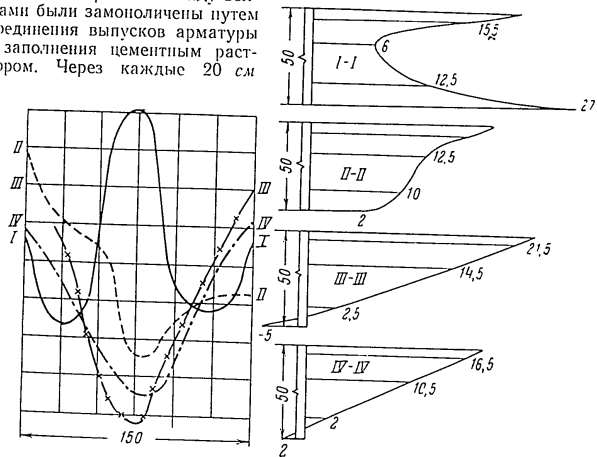


Рис 4 График фибровых деформаций волны свода под расчетной нагрузкой (в микронах по высоте и ширине сечения)

Таблица 1

Испытание отдельной волны свода  
 Результаты измерения прогибов и расхождения опорных точек при загрузке равномерно распределенной нагрузкой

Дата и время испытания	№ при-боров	Прогибы в мм						Расхождение опорных точек в мм			
		P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	$\frac{P_2 + P_6}{2}$		P <sub>1</sub>	P <sub>7</sub>	Сумма P <sub>1</sub> + P
27/VIII											
11 <sup>30</sup>	35	0,06	0,14	0,15	0,12	0,11	0,09	0,13	0,02	0,02	0,04
12 <sup>00</sup>	70	0,18	0,39	0,44	0,29	0,23	0,22	0,34	0,08	0,02	0,10
12 <sup>30</sup>	105	0,31	0,62	0,70	0,52	0,36	0,33	0,57	0,12	0,07	0,19
14 <sup>00</sup>	140	0,41	0,78	1,07	0,67	0,48	0,44	0,72	0,22	0,10	0,32
14 <sup>30</sup>	175	0,58	1,03	1,32	0,92	0,60	0,59	0,98	0,23	0,13	0,36
15 <sup>10</sup>	175	0,62	1,03	1,50	1,12	0,70	0,66	1,08	0,25	0,17	0,42
15 <sup>30</sup>	210	0,79	1,36	1,80	1,42	0,78	0,79	1,39	0,29	0,19	0,48
15 <sup>55</sup>	245	0,97	1,59	2,07	1,71	0,98	0,98	1,65	0,30	0,17	0,47
15 <sup>50</sup>	280	1,14	1,91	2,43	1,98	1,06	1,10	1,95	0,35	0,28	0,63
16 <sup>20</sup>	315	1,34	2,26	2,98	2,36	1,55	1,45	2,30	0,50	0,39	0,89
28/VIII											
9 <sup>30</sup>	315	2,46	2,84	4,63	3,55	2,39	2,43	3,19	0,75	0,62	1,37
29/VIII											
11 <sup>00</sup>	315	2,38	2,61	4,38	3,26	2,19	2,29	2,93	0,76	0,61	1,37
11 <sup>50</sup>	315/175	2,68	2,84	3,96	2,56	1,68	—	—	0,78	0,57	1,4
13 <sup>30</sup>	315/175	2,49	2,47	3,61	2,29	1,50	—	—	0,81	0,61	1,4
14 <sup>10</sup>	315	2,32	2,26	3,74	2,83	0,93	—	—	0,84	0,71	1,5
14 <sup>30</sup>	175/315	1,90	1,66	3,77	3,27	1,33	—	—	0,84	0,75	1,5
15 <sup>40</sup>	175/315	1,89	1,66	3,78	3,37	1,41	—	—	0,84	0,78	1,5
16 <sup>10</sup>	175	2,28	1,94	3,58	2,75	0,83	—	—	0,84	0,75	1,5
16 <sup>40</sup>	0,00	1,36	0,42	1,29	0,86	-0,54	—	—	0,49	0,61	1,1
17 <sup>40</sup>	0,00	1,19	0,23	1,05	0,74	-0,56	—	—	0,47	0,64	1,1
30/VIII											
9 <sup>00</sup>	0,00	1,07	0,68	1,58	1,23	-0,24	—	—	0,13	0,53	0,6
11 <sup>00</sup>	0,00	0,62	-0,02	0,85	0,62	-0,69	—	—	0,13	0,51	0,6
13 <sup>00</sup>	0,00	0,50	-0,41	0,41	0,25	-0,90	—	—	0,12	0,50	0,6

Таблица 2

Испытание отдельной волны свода  
 Результаты измерения местных деформаций тензотрами при испытании на расчетную нагрузку

Дата и время испытания	Нагрузка в кг/м	Сечение I—I						Сечение II—II							
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>
		27/VIII													
11 <sup>30</sup>	35	1	1	1	0	-1	-2	1	0	0	-1	0	0	0	0
13 <sup>30</sup>	105	2	3	5	5	3	0	6	4	3	0	2	2	2	2
15 <sup>20</sup>	210	7	9	12	10	6	2	13	19	7	2	4	4	4	4
17 <sup>00</sup>	315	7	11	16	13	9	3	18	12	9	3	6	6	7	7
28/VIII															
17 <sup>30</sup>	315	7	5	15	22	12	1	19	14	12	5	8	6	6	6
29/VIII															
13 <sup>30</sup>	315/175	16	5	14	24	10	15	24	16	15	2	6	5	5	5
15 <sup>40</sup>	175/315	18	15	19	27	14	14	17	16	19	10	11	8	8	8
17 <sup>40</sup>	0	24	18	18	22	8	17	20	17	15	7	9	9	9	9
30/VIII															
13 <sup>00</sup>	0	24	14	15	17	3	11	15	14	12	6	8	5	5	5
Продолжение															
1,37															
Дата и время испытания	Нагрузка в кг/м	Сечение III—III						Сечение IV—IV							
		T <sub>16</sub>	T <sub>17</sub>	T <sub>18</sub>	T <sub>19</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>23</sub>	T <sub>24</sub>	T <sub>25</sub>	T <sub>26</sub>	T <sub>27</sub>	T <sub>28</sub>	T <sub>29</sub>
1,37															
27/VIII															
11 <sup>30</sup>	35	1	1	0	0	0	1	1	2	2	1	0	0	1	2
13 <sup>30</sup>	105	4	6	4	1	0	2	3	4	7	5	2	0	1	4
15 <sup>20</sup>	210	6	12	8	4	3	4	8	12	12	8	3	1	3	9
17 <sup>00</sup>	315	9	16	10	5	5	7	11	19	16	10	4	0	2	12
28/VIII															
13 <sup>30</sup>	315	14	19	12	7	5	8	14	20	20	11	2	-3	-2	11
15 <sup>40</sup>	175/315	12	22	13	1	-5	4	11	20	16	9	2	-2	1	11
17 <sup>40</sup>	0	8	15	10	10	7	8	14	25	12	10	4	-1	1	13
30/VIII															
9 <sup>00</sup>	0	11	14	9	9	4	3	14	23	4	9	4	2	5	11
13 <sup>00</sup>	0	11	8	3	4	2	2	10	15	2	4	4	2	3	7

были заделаны торчашие из раствора гвозди для удержания от скольжения досок настила с нагрузкой, что могло привести к нарушению принятой схемы нагружения. Настилы через каждый метр крайних волн имели упор для восприятия продольного распора от четырех волн; остальные доски настила лежали свободно.

Установка приборов на крайней волне осталась прежней. На других волнах в тех же сечениях замерялись только общие деформации (прогиб по распору). Загружение производилось в том же порядке, размерах и последовательности, что и при испытании отдельной волны.

Несмотря на то, что отдельная волна свода в предыдущих испытаниях находилась в несколько худших условиях, чем вся секция из четырех волн, деформации ее были большими. Например, прогиб в шельге оказался равным 5,57 мм у средней и 4,97 мм у крайней волны; последнее объясняется тем, что прочность раствора и армирование были немного ниже остальных трех волн. Это указывает на то, что разница в условиях работы отдельной волны, секции из четырех волн, а также, вероятно, и целого свода при испытании является незначительной.

Испытания отдельной волны свода на расчетную нагрузку, приложенную к одному ее борту. Схемы нагружения и установки приборов показаны на рис. 6. Там же приведены графики вертикальных и горизонтальных деформаций сечений волны под нагрузкой. Волна при этом была отсоединена от остальных волн секции свободно стояла на опорах.

Тензометры были оставлены на тех же местах, как это показано на рис. 2. В остальном методика испытаний не подвергалась изменениям.

Средний прогиб по вертикали в шельге волны, определенный как по сумма прогибов ее бортов, был равен  $(-0,87 + 7,92) : 2 = 3,52$  мм.

Горизонтальное смещение в сторону эксцентриситета приложения нагрузки в том же сечении достигало 10,55 мм, из которых 3,17 оказались упругими деформациями.

Малая величина вертикального прогиба среднего сечения (3,52 мм) объясняется тем, что конструкция была уже обжата в результате предыдущих испытаний; поэтому и прогиб почти полностью оказался упругим. Остаточные деформации при этом составили всего 0,22 мм, или 6,25% полного прогиба. Малая кривизна линий графика прогибов указывает на упругий характер работы конструкции. Максимальные напряжения обоих наков наблюдались в сечении около опоры и носили характер напряжений от внецентренного сжатия (один борт сжат, другой растянут).

Появления трещин при этих испытаниях также не наблюдалось.

Испытание отдельной волны свода на разрушение. Установка самой волны и приборов были такими же, как и в предыдущих испытаниях. Загружение производилось также кирпичом равномерно по всему пролету до 630 кг/м (двойная расчетная нагрузка). После выдержки в течение 22 час. все приборы были сняты. Прогибы замерялись некоторого расстояния инвентаром по специальным рейкам, установленным в середине и четвертях пролета волны. Дальше загружалась только равная половина пролета до 1 610 кг/м. Здесь были замечены первые видимые глазом трещины снизу правой половины волны. Прогибы при этом достигли 30 мм, или  $1/300$  пролета.

Ввиду возникших затруднений с размещением нагрузки и угрозы обрыва затыжки нагружение в дальнейшем производилось с помощью баенного крана контейнерами с кирпичом весом по 1 т и железобетонными элементами при еще более невыгодной схеме только в третьей четверти пролета до нагрузки 2 630 кг/м, когда произошло разрушение. К этому моменту отдельные трещины снизу правой четверти пролета раскрылись на 5 мм, что указывает на текучесть арматуры; прогибы в этом месте достигли 60 мм.

Разрушение произошло в течение 5—6 сек., причем страховые леса или почти полностью разрушены, поэтому наблюдать последовательность процесса разрушения не удалось. Такой быстрый характер разрушения указывает на то, что прочность материала к моменту разрушения была полностью исчерпана.

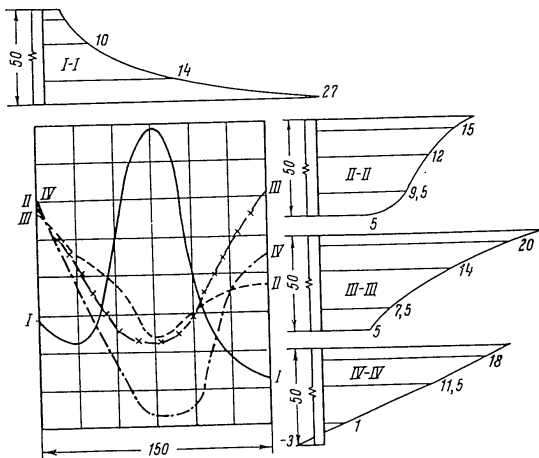
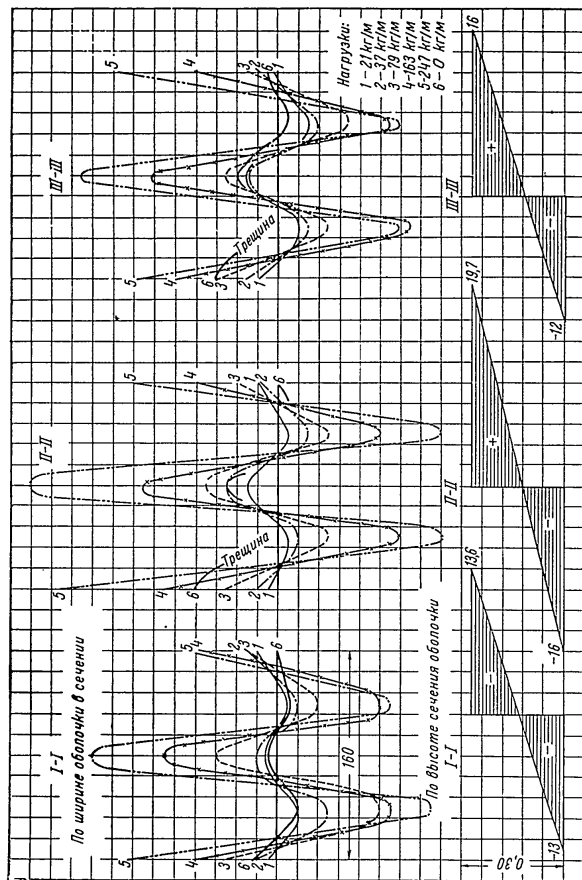


Рис. 5. График фибровых деформаций волны при несимметричной нагрузке (в микронах по высоте и ширине сечения)





В отношении трещиностойкости испытанная оболочка показала хорошие результаты. Первые волосные трещины, видимые только через лупу, появились лишь при последней ступени загрузки расчетной нагрузкой, определенной с учетом коэффициента перегрузки, равного 1,4. Характерно, что эти трещины были равномерно распределены почти по всей нижней поверхности оболочки, в отличие от обычных изгибаемых железобетонных элементов, у которых первые трещины появляются значительно раньше и расположены они в самом опасном среднем сечении. При дальнейшем нагружении число трещин увеличивалось при одновременном возрастании ширины их раскрытия. Такой характер появления трещин объясняется влиянием переменной высоты сечения по длине оболочки.

Наибольшие напряжения в бетоне были обнаружены в верхней и нижней частях поперечного сечения, расположенного в середине пролета. Они соответственно составили  $+22,7$  и  $-18,4$  кг/см<sup>2</sup>. Напряжения в сечениях, расположенных в четвертях пролета, в среднем оказались равны  $+17,0$  и  $-14,4$  кг/см<sup>2</sup>.

Разрушение оболочки произошло от разрыва арматуры в нижней части среднего сечения при нагрузке 488 кг/м (без учета нагрузки от собственного веса, равной 100 кг/м).

Запас прочности при расчете по стадии разрушения при этом имел величину:

$$\frac{488 + 100}{17,6 \cdot 1,1 + 224 \cdot 1,4 + 100} = \frac{588}{276} = 2,13.$$

Чтобы устранить сомнения в отношении прочности оболочки на срезах опор, в месте минимальной высоты сечения испытания были продолжены. В среднем, разрушенном сечении оболочка была разрезана на две части. Под свободный конец подвели опору, и половину оболочки вновь нагрузили равномерно по всему трехметровому пролету до разрушения. Разрушение и в этом случае произошло от изгиба в середине пролета при нагрузке 1380 кг/м. Никаких признаков разрушения на скалывание у опор замечено не было.

Результаты подтвердили целесообразность принятой формы, размеров и армирования оболочки.

#### Выводы

Проведенные испытания армоцементных образцов (призм) и элементов конструкций в виде сводов двойной кривизны показали высокую эффективность и целесообразность применения нового прогрессивного материала.

Оказалось, что зависимость между напряжениями и деформациями в пределах до  $\frac{2}{3}$  от разрушающей нагрузки остается практически линейной.



Прочность армоцемента в призме при имевшем место насыщении арматурой выше марки раствора более чем в два раза объясняется, очевидно, тем, что арматура препятствует разрушению раствора от растяжения в поперечном направлении.

Модуль упругости армоцемента близок к модулю упругости раствора. Материал оказывается в высокой степени трещиностойчивым.

Испытание оболочек двойной кривизны показало, что, несмотря на минимально возможную толщину оболочки, причиной разрушения оказывается исчерпание прочности материала, а не потеря устойчивости конструкции, что объясняется целесообразной формой оболочки.

## О ПОТЕРЯХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

А Я ФРИДКИН  
инженер

Ю А. ЕЛИСЕЕВ  
инженер

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях имеют место потери напряжений как в арматуре, так и в бетоне. Одной из причин, вызывающей изменение напряжений в натянутой арматуре, являются силы трения, возникающие между поверхностями натягиваемых стержней и поверхностью каналов. Особенно велики эти силы на закругленных участках каналов, т. е. в местах изменения их направления, но они имеют место и на прямолинейных участках, вследствие того что теоретически прямолинейные каналы в действительности не являются таковыми и при натяжении арматуры в них возникают силы трения.

Необходимо отметить, что недоучет влияния сил трения на величину предварительного натяжения, имевший место в ряде случаев проектирования и возведения предварительно напряженных железобетонных конструкций, привел к раннему раскрытию трещин со всеми вытекающими отсюда последствиями. Вместе с тем необходимо указать, что вопрос о силах трения и их влиянии на величину потерь напряжений мало изучен, хотя этот вопрос находится в центре внимания специалистов многих стран.

Существенные изменения напряжений в предварительно напряженных железобетонных конструкциях с последующим натяжением арматуры возникают и от упругого обжатия бетона при последовательном — одновременном натяжении пучков или стержней.

По данным шжж. Маньеля (Бельгия), эти изменения напряжений колеблются от 1,6 до 3,2%; однако теоретические вычисления, произведенные для ряда конструкций, показывают, что они достигают значительных величин. Вместе с тем необходимо указать, что в настоящее время отсутствуют какие-либо удовлетворительные рекомендации по определению этих изменений напряжений, в особенности при наличии криволинейных стержней или пучков.

**I. ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИИ ОТ ТРЕНИЯ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

**Трение в конструкциях с последующим натяжением арматуры и причины, его вызывающие**

При относительном перемещении двух прижатых друг к другу тел и поверхности их возникают силы трения. Это явление схематически можно представить следующим образом.

Поверхности трущихся тел не являются идеально гладкими, а это означает, что на них имеются шероховатости, которые можно себе представить в виде шипов; при соприкосновении их под давлением шипы одной поверхности вклиниваются в промежутки между шипами другой; глубина заклинивания зависит от давления, которому подвергнуты тела (рис. 1).

При перемещении одного тела по другому шипы частично истираются и частично начинают деформироваться и сопротивляться взаимному смещению поверхностей, вызывая тем самым возникновение сил трения (рис. 2, а).

При дальнейшем перемещении деформации шипов и силы их сопротивления (силы трения) растут, достигая своего максимального значения (рис. 2, б). Таким образом, можно полагать, что силы трения достигают своего максимума не сразу, а после определенного сдвига, величина которого зависит от материалов трущихся тел и обработки их поверхностей. Конечно, рассмотренная схема возникновения сил трения является условной, далеко не в полной мере отражающей физическую сторону явления (отклоняются из вертикального положения в наклонное и их сопротивление во-первых, потому, что не учтены молекулярные силы взаимодействия (силы трения) определяется их деформацией, показанной на рис. 3. При натяжении же стержня с другого конца «шипы» отклоняются из вертикального положения в другое, как показано на рис. 4. Деформации при смещении трущихся поверхностей частично истираются и ослабляются и, следовательно, изменение усилий в них больше, чем в первом случае, поэтому силы трения и потери напряжений в этом случае больше, чем в первоначальном.

Таким образом, развитие сил трения, возникающих между двумя взаимно смещающимися поверхностями, имеет как бы три фазы, а именно: фаза 1 — силы трения при данном нормальном давлении растут до нуля до максимального значения;

фаза 2 — силы трения достигают своего максимума и сохраняют его на известном этапе;

фаза 3 — сопротивляющиеся неровности частично истираются, поверхности становятся более гладкими, в соответствии с этим коэффициент трения несколько уменьшается.

Каждой фазе при данном давлении соответствует определенная величина взаимного смещения трущихся поверхностей. С этой точки зрения надо полагать, что фаза 1, возникающая на начальной стадии явления сопровождается весьма незначительным смещением трущихся поверхностей; фаза 2 является как бы конечным этапом фазы 1. Силы трения, в

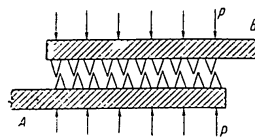


Рис. 1 Условная механическая схема поверхностей прижатых друг к другу тел

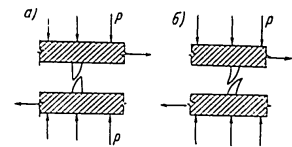


Рис. 2 Условная механическая схема поверхностей прижатых друг к другу тел при частичном перемещении одного тела к другому

никающие в фазах 1 и 2, некоторые специалисты называют силами трения «покоя». Этот термин является неудачным, ибо при покое, т. е. при отсутствии сдвига, хотя бы и весьма малого, силы трения не могут возникнуть. Наибольшие смещения трущихся поверхностей происходят при

Небезынтересно отметить, что указанная условная механическая схема (физической природы сил трения объясняет следующее важное явление: если стержень, натянутый с одного конца, подвергнуть дополнительному натяжению с другого, то потери напряжений в этой стадии оказываются большими, нежели те, которые имели место при первоначальном натяжении стержня с одного конца.

Действительно, в первом случае так называемые «шипы» переходят (отклоняются) из вертикального положения в наклонное и их сопротивление (силы трения) определяется их деформацией, показанной на рис. 3. При натяжении же стержня с другого конца «шипы» отклоняются из вертикального положения в другое, как показано на рис. 4. Деформации при смещении трущихся поверхностей частично истираются и ослабляются и, следовательно, изменение усилий в них больше, чем в первом случае, поэтому силы трения и потери напряжений в этом случае больше, чем в первоначальном.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях с помощью последующим натяжением арматуры силы трения вызывают значительные потери напряжений по длине стержня и, следовательно, неравномерное его натяжение.

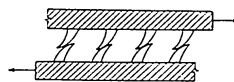


Рис. 3 Условная механическая схема поверхностей прижатых друг к другу тел при натяжении с одного конца

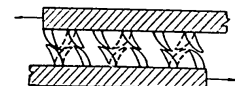


Рис. 4 Условная механическая схема поверхностей прижатых друг к другу тел при последующем натяжении с другого конца

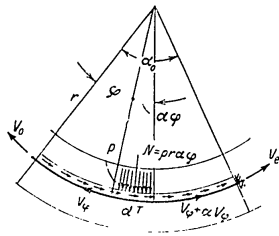


Рис 5. Усилия, действующие на пучок на криволинейных участках

Как известно, величина этих потерь на криволинейных участках определяется по следующим соображениям. Когда возникает трение, оно обусловливается качеством производства работ. Например, в плохо изготовленном защитном кожухе для арматуры могут возникнуть неплотности стыков или иные повреждения цементного молока при затирании.

Пусть пучок, изображенный на рис. 5, натягивается с одной стороны силой  $V_0 = F_a \sigma_0$ . Однако эти потери могут быть устранены или значительно уменьшены путем применения специальных мероприятий.

Усилия, возникающие при натяжении пучка, обозначим:  $V$  — усилие в натянуемом стержне;  $T$  — сила трения;  $\mu$  — коэффициент трения;  $dN$  — равнодействующая сил трения, возникающая на рассматриваемом участке.

Из условия равенства нулю суммы проекций всех сил, приложенных к элементарному участку пучка с центральным углом  $d\phi$ , получим (рис. 5):  

$$dN = V_\phi d\phi,$$

$$dV_\phi = -dT = -\mu dN = -\mu V_\phi d\phi.$$
 Интегрируя обе части равенства и учитывая начальные условия, получим  

$$\ln V_\phi - \ln V_0 = -\mu \phi,$$
 откуда  

$$V_\phi = V_0 e^{-\mu \phi}.$$
 Потери усилия натяжения от трения на участке пучка, соответствующем углу  $\phi$ , будут равны  

$$T_\phi = V_0 - V_0 e^{-\mu \phi} = V_0 (1 - e^{-\mu \phi}),$$
 и соответственно напряжения будут  

$$\sigma_\phi = \sigma_0 e^{-\mu \phi}.$$
 Потери напряжений от трения составляют значительную долю общих потерь предварительного натяжения. Если все другие потери, вместе взятые, составляют около 15% от первоначального усилия натяжения, то потери от трения нередко достигают 30% и более. Иногда случается, особенно в крупнопролетных неразрезных конструкциях, что эти потери напряжений достигают таких значений, при которых получение заданной величины предварительного натяжения невозможно без устройства промежуточных пунктов натяжения или каких-либо других вспомогательных мероприятий. Недооценка потерь напряжений, вызванных трением, нередко приводит к преждевременному появлению в конструкции трещин, вредно отражающихся на ее состоянии.

Кроме описанной выше причины, вызывающей появление сил трения, иногда возникает трение из-за некачественного производства работ. Например, в плохо изготовленном защитном кожухе для арматуры могут возникнуть неплотности стыков или иные повреждения цементного молока при затирании. Однако эти потери могут быть устранены или значительно уменьшены путем применения специальных мероприятий.

Таким образом, основной причиной, вызывающей возникновение сил трения, является, как указывалось выше, отклонение пучка или стержня от прямолинейного направления.

По своему характеру отклонения пучков или стержней от прямолинейного направления различаются между собой: так, например, имеют место отклонения арматуры, необходимые для лучшего использования ее в различных зонах балочной конструкции (восприятие главных растягивающих напряжений в районе опор, восприятие отрицательных моментов на опорах неразрезных балок); отклонения, вызванные формой конструкции (резервуары); отклонения, вызванные изменением направления проволоки анкеровных деталей и т. д.

Помимо этого, в практике имеют место и не предусмотренные проектом отклонения арматуры на прямолинейных участках, получающиеся в результате собственного провисания стержня (если опоры, поддерживающие стержень, расположены редко), нарушения его положения в процессе укладки бетона и вибрирования. Вызванный этими обстоятельствами изгиб пучка зависит от правильной расстановки и жесткости опор, поддерживающих пучок, его типа, жесткости самого пучка и защитного кожуха, качества производства работ и при тщательном соблюдении технических условий изготовления конструкций может быть значительно уменьшен или устранен вовсе.

Практически, в условиях строительной площадки, трудно избежать отклонения пучка от проектного положения, поэтому эти отклонения учитываются некоторым «фиктивным углом» (измеряемым в радианах), отнесенным к метру его длины. Суммарный угол отклонения пучка или стержня от прямолинейного направления выразится формулой:

$$\alpha_{расч} = \sum \alpha_0 + \alpha_\phi l,$$

$\sum \alpha_0$  — сумма углов изменения направления стержня, предусмотренных проектом (в радианах);

$\alpha_\phi$  — фиктивный угол, выражающий отклонение стержня на 1 м его длины;

$l$  — длина стержня.

Напряжение в любой точке стержня с учетом потерь напряжений на криволинейных и прямолинейных участках выразится формулой:

$$\sigma_s = \sigma_0 e^{-\mu(\sum \alpha_0 + \alpha_\phi l)}. \quad (6)$$

**Коэффициент трения и причины, влияющие на его величину**

Как сказано выше, при натяжении стержня и перемещении его стенок канала возникают силы трения, обусловленные наличием нормального давления между трущимися поверхностями стержня и канала. Величина этих сил, как известно, зависит от коэффициента трения  $\mu$  и силы нормального давления  $P$ .

Коэффициент трения может изменяться в очень широких пределах. Он зависит от многих факторов, главными из которых являются:

- а) материал трущихся поверхностей: сталь по стали, сталь по бетону, сталь по металлу;
- б) вид и состояние поверхности арматуры (рифленая, гладкая, оцинкованная), а также канала, по которому скользит арматура (гладкая, рифленая и т. д.);
- в) наличие и вид смазки: масляно-графитовая, тавот, парафин и т. д.;
- г) способ натяжения арматуры;
- д) величина нормального давления.

Вопросу определения коэффициента трения и его зависимости от различных факторов уделяется большое внимание как у нас, так и за рубежом.

Известный интерес в этом отношении представляют исследования проведенные английским обществом цемента и бетона<sup>1</sup> по определению коэффициентов трения как на прямых, так и на изогнутых участках. Приводим некоторые данные из этих исследований.

Важное значение имеют опыты Леонгардта по определению зависимости коэффициента трения от типа натягиваемой арматуры и характера канала. Данные его исследований приведены в табл. 2.

**Коэффициенты трения по исследованиям Ф. Леонгардта**

Таблица 2

Тип пучка	Поверхность скольжения	$\mu$
Арматурная проволока диаметром 5 мм	1. Гладкая бетонная поверхность	0,29—0,31
	2. Шероховатый бетон	0,35—0,44
	3. Листовая черная сталь	0,16—0,22
Плетеная проволока диаметром 2 мм	1. Гладкий бетон	0,38—0,40
	2. Шероховатый бетон	0,40—0,46
	3. Листовая черная сталь	0,19—0,22
Плетеная проволока диаметром 2,5 мм	1. Листовая черная сталь	0,20—0,25
	2. Парафиновая смазка при давлении 1,9 кг/см <sup>2</sup>	0,10
	3. Парафиновая смазка при давлении 45 кг/см <sup>2</sup>	0,02—0,025
Большой многопроволочный пучок	1. Листовая черная сталь	0,40—0,45
	2. Канал из полосовой стали марки Ст 100 до Ст 140	0,30—0,35
	3. Канал из закаленной стали при отсутствии возможности бокового заклинивания	0,25—0,30
	4. Канал из черного листового железа при одностороннем расположении покрытых парафином листов для облегчения скольжения	0,20—0,25
	5. Канал из черного листового железа при трехстороннем расположении покрытых парафином листов для облегчения скольжения	0,10—0,20

Таблица

**Значения коэффициента трения  $\mu$  и величины  $k$  по данным английских исследований**

Тип поверхности скольжения	Система Фрейссне		Система Маньяля		Система Лн-Мак-И	
	$\mu$	$k$	$\mu$	$k$	$\mu$	$k$
Канал образован при помощи протаскивания стальной трубы или стержня	0,55	0,0	0,30	0,0033	0,55	0,0
Канал образован при помощи резинового шланга	0,55	0,0066	0,30	0,0016	0,55	0,0
Канал образован резиновым шлангом с жестким стержнем	0,55	0,0016	0,30	0,0016	0,55	0,0
Металлический кожух	0,35	0,0033	0,30	0,0016	0,30	0,0

Большой интерес представляет рекомендуемая Леонгардтом парафиновая смазка.

Как видно из таблицы, коэффициент трения в этом случае имеет большое значение и становится еще меньше при возрастании нормального давления. Имея в виду, что парафин безвреден для бетона и нагнетаемого канала цементного раствора и может наноситься в разогретом состоянии слоем равномерной толщины, его следует предпочесть другим смазочным материалам.

Ценные исследования по определению коэффициента  $K$ , учитывающего

Примечание.  $k$  — эмпирический коэффициент, учитывающий потери напряжения на 1 м стержня ( $k = \mu \alpha_f$ ).

<sup>1</sup> Journal of the structural Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1952, v. 82, № 6, p. 1107

потери напряжения на прямых участках, были проведены Кулл (Coole) в Англии для пучков системы Фрейсние и Ли-Мак-Колла<sup>1</sup>.  
Данные этих исследований приведены в табл. 3.

**Коэффициент трения и значения  $K$  для пучков Фрейсние**

Вид канала для пучка	$\mu$	$K(10^{-4})$ на 1 м			
		без вибратора	легкий вибратор	средний вибратор	тяжелый вибратор
Толстостенная трубка из листовой стали	0,35	15	15	15	15
Тонкостенная трубка из листовой стали	0,35	30	50	100	150
Гибкая трубка из оцинкованной листовой стали	0,25	15	15	30	30
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб»	0,55	65	65	80	80
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб» с жестким стержнем	0,35	30	30	50	50
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб» со стальными кольцами	0,55	15	15	30	30
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб» с пластинчатой фольгой	0,25	50	50	65	65
Канал образован стальной трубкой или стержнем с последующим его удалением	0,55	0	0	0	0

Таблица 3. Коэффициент трения и значения  $K$  для пучков Фрейсние

Как видно из табл. 1, 3, 4, величины  $K$  могут колебаться в значительных пределах и главным образом определяются жесткостью элементов, использованных для образования каналов, способом вибрирования, типом вибратора и величиной зазора между стержнем и стенкой канала.

Как известно, в обычных случаях силы трения зависят от нормального давления и коэффициента трения; при этом коэффициент трения является постоянным и зависит только от материала и характера трущихся поверхностей. Между тем при больших нормальных давлениях, имеющих место при натяжении стержней или пучков в предварительно напряженных конструкциях, эта зависимость нарушается, коэффициент трения перестает быть постоянным и начинает меняться в зависимости от способа натяжения и величины нормального давления. Это обстоятельство подтверждается исследованиями, проведенными на отдельных стройках. Так, например, при строительстве железнодорожного моста в Грифте (ФРГ) замечались потери напряжений от трения при различных способах натяжения стержней.

При этом оказалось, что при прямом натяжении стержня с одного конца коэффициент трения был равен  $\mu = 0,326$ , а при поочередном ступенчатом натяжении снизился до значения  $\mu = 0,146$ .

Нормы, принятые в Германии, регламентируют значения коэффициента трения в зависимости от радиусов закругления, иначе говоря, в зависимости от нормального давления. При больших радиусах, т. е. при малой интенсивности давления, коэффициент трения снижается.

Кроме того, как показывают исследования, значение коэффициента трения  $\mu$  при спуске больше, чем при прямом натяжении.

Для предварительных расчетов при радиусах закруглений, превышающих 6 м, Герберг (ГДР) рекомендует принимать значение коэффициента трения  $\mu'$  при спуске натяжения равным 1,5  $\mu$ , где  $\mu$  — коэффициент трения при прямом натяжении.

Эта рекомендация была подтверждена опытами, проведенными лабораторией Калифорнийского университета над предварительно напряженной железобетонной балкой пролетом  $L = 6,0$  м, армированной пучками из 6 проволок диаметром 6,4 мм.

Этими же исследованиями была проверена зависимость потерь напряжений на прямолинейных участках от величины свободного зазора между пучками и стенками канала (табл. 4).

**Зависимость коэффициента  $K$  от величины свободного зазора между пучками и стенками канала**

Вид канала для пучка	$\mu$	$K(10^{-4})$ на 1 м при свободном зазоре между пучками и стенками канала		
		3 мм	6 мм	12 мм
Гибкая трубка из оцинкованной листовой стали	0,30	30	15	0
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб»	0,55	50	30	15
Канал образован при помощи трубы «Дактьюб» со стальными кольцами	0,55	30	15	0
Канал образован при помощи стальной трубы или круглого стержня	0,55	30	15	0

Таблица 4. Зависимость коэффициента  $K$  от величины свободного зазора между пучками и стенками канала

Арматурный пучок был смазан мастикой, обмотан бумагой, изогнут под центральным углом, равным 0,21 радиана, и натянут с одного конца усилием 7360 кг; усилие на другом конце пучка оказалось равным 810 кг; следовательно, потери усилия натяжения составляли 7,5%. Коэффициент трения был равен  $\mu = 0,26$  (значение  $\mu$  вычислялось по формуле  $\mu = \mu' - \frac{kL}{a_n}$  при  $k = 0,0033$ ). Через две минуты усилие на домкрате было понижено до 6135 кг, а усилие на другом конце снизилось до 748 кг; таким образом, потери после спуска, уже в другом направлении, составили 9,1%, а коэффициент трения —  $\mu' = 0,34$ , т. е.  $\mu' = 1,31 \mu$ .

Кроме отмеченной выше зависимости между коэффициентами трения при натяжении и при спуске, необходимо отметить еще зависимость коэф-

<sup>1</sup> W. Herberg, «Spannbeetonbau», Teil I, 1958

коэффициента трения от того, является ли натяжение прямым или обратным к другому концу.

При строительстве моста Ewreka американцами были проведены опыты по определению коэффициента трения при натяжении прядей Roebling.

Пряди были заключены в тонкие металлические гофрированные трубки, которые поддерживались подставками, находившимися друг от друга на расстоянии около 60 см. При укладке бетона были применены вибраторы. Проведенные исследования подтвердили, что коэффициент трения при прямом натяжении меньше, чем при обратном. Некоторые данные этих исследований помещены в табл. 5.

Таблица  
Коэффициенты трения для прядей Roebling при строительстве моста Ewreka

Номера групп	Номера прядей	Изгиб в радианах	$F_1$ в кг	$F_2$ в кг	$\frac{F_1 - F_2}{F_1}$	$\mu$	$F_3$ в кг	$F_4$ в кг	$\frac{F_3 - F_4}{F_3}$
А	14	0,23	26 590	20 860	0,21	0,30	47 850	37 220	0,22
Б	14	0,20	27 010	22 500	0,17	0,15	48 570	38 450	0,21
Г	14	0,17	26 180	22 090	0,16	0,12	47 440	38 450	0,19
Д	14	0,01	26 590	22 900	0,14	—	46 630	40 080	0,14

Здесь  $F_1$  — усилие натяжения с одного конца, соответствующее половине расчетного натяжения,  
 $F_2$  — усилие на противоположном конце,  
 $F_3$  — усилие натяжения второго конца до полной величины предварительно натяжения,  
 $F_4$  — усилие на первом конце стержня после натяжения второго конца до величины  $F_3$ .

Коэффициенты трения в этом случае были определены, исходя из следующих соображений: балки моста имели длину  $L=32$  м; некоторые пряди (например, группа прядей Д) имели очень малое отклонение от прямой, благодаря чему все потери напряжений в этой группе были квалифицированы как потери, вызванные непредусмотренным изменением направления и деформациями трубок от давления бетонной смеси.

По общей величине потерь на длине 32 м, равной 14%, определяются величины  $kL=0,14$  и  $k=\frac{0,14}{32}=0,0044$ .

Значения  $k$  принимались постоянными для всех групп прядей, и коэффициенты трения вычислялись по формулам:

$$\mu = \frac{F_1 - F_2 - kL}{F_1 \sum \alpha_0}; \quad \mu_1 = \frac{F_3 - F_4 - kL}{F_3 \sum \alpha_0}.$$

Следует отметить, что при использовании вместо прядей отдельных стержней из высокопрочной стали диаметром 28,6 мм коэффициент трения для них оказался ниже, чем для прядей.

Приведенные данные, а также ряд других, не помещенных в настоящей статье экспериментальных материалов по вопросу о потерях напряжений от сил трения, возникающих при натяжении арматуры, являются достаточно ясными и не позволяют дать какие-либо рекомендации по выбору материала и состоянию поверхности канала для уменьшения сил трения, необходимые для предварительного напряженных железобетонных конструкций.

## II. НЕКОТОРЫЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ТРЕНИЯ

Из сказанного ранее видно, что трение, возникающее между арматурой и стенками каналов, достаточно велико и приводит к значительным потерям напряжений при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций.

В связи с этим перед строителями возникла необходимость в разработке различных мероприятий по уменьшению сил трения. В настоящее время известно несколько способов снижения сил трения, применение которых может привести к значительному уменьшению указанных потерь напряжений.

Рассмотрим некоторые из них.

### Снижение потерь напряжений от трения путем уменьшения коэффициента трения

Силы трения могут быть уменьшены путем снижения коэффициента трения. Известно, например, что с этой точки зрения применение круглой стержней предпочтительнее, чем стержней периодического профиля. Важное значение имеет материал и состояние поверхности канала, по которой скользит натягиваемая арматура. Так, например, при бетонной поверхности канала коэффициент трения больше, чем при металлической. Эффективной мерой по снижению коэффициента трения является применение всевозможных смазок. Смазочные материалы, как, например, отработанное масло, битум, тавот, масляно-графитовая смазка, значительно снижают коэффициент трения и могут быть широко применены в конструкциях с последующим натяжением арматуры. При использовании маловязких смазочных материалов, не растворимых в воде, для обеспечения лучшего сцепления арматуры с раствором перед нагнетанием его необходимо тщательно очистить канал от масла. Это можно выполнить с помощью промывки его раствором трихлорэтилена<sup>1</sup>, остатки которого после промывки канала быстро испаряются и не оказывают вредного действия на цементный раствор.

В качестве смазки, резко уменьшающей коэффициент трения, может

<sup>1</sup> Ф. Леонгардт, Напряженно армированный железобетон, 1957

быть с успехом применен парафин. Он обладает ценным свойством, заключающимся в том, что с увеличением нормального давления коэффициент трения не только не увеличивается, а, наоборот, снижается.

**Снижение потерь  
путем применения различных способов натяжения**

Для иллюстрации влияния способа натяжения на величину потерь напряжений рассмотрим некоторые случаи предварительного натяжения арматуры.

На рис. 6, а показана эпюра напряжений в стержне при натяжении с одного конца с усилием, превышающим номинальное на величину потерь, соответствующую полному углу  $\alpha_0$ . Как видно из рис. 6, а, распределение напряжения по длине стержня получается в этом случае крайне неравномерным. Значительно меньшая неравномерность напряжения наблюдается при натяжении стержня с двух концов усилием, превышающим номинальное на величину потерь, соответствующую половине угла закругления, т. е.  $\frac{\alpha_0}{2}$  (рис. 6, б).

Если натяжение стержня производится усилием, соответствующим углу  $\frac{\alpha_0}{2}$ , только с одного конца, то во второй половине балки сила предварительного натяжения окажется недостаточной (рис. 6, б).

Еще меньшая неравномерность натяжения по длине стержня получается, если после натяжения по схеме рис. 6, в произвести спуск натяжения по концам натягиваемого стержня до величины  $\sigma_0$  (рис. 6, в).

Как видно из рис. 6, наиболее эффективным является натяжение стержня с двух сторон, приводящее к снижению потерь напряжений примерно в два раза.

Снижения потерь напряжения можно также добиться путем натяжения арматуры до усилия, увеличенного на ожидаемое сопротивление трения, и последующего спуска его до номинального значения.

Этот способ особенно эффективен при коротких балках и небольших потерях от трения, т. е. тогда, когда необходимое для преодоления потерь натяжение не превышает 75—80% предельной прочности арматуры.

Натяжение стержня с усилием, превышающим указанную величину, может быть осуществлено, так как при этом нарушается упругая работа стали, а также происходит нарушение линейной зависимости между напряжениями и деформациями. Кроме того, при натяжении арматуры на концах временной пружиной, увеличивающей продольный импульс у места анкерки могут оборваться раньше, чем необходимая сила натяжения достигнет середины элемента.

Из сказанного следует, что этот способ натяжения арматуры при больших потерях не оказывает надлежащего эффекта, но вместе с тем благоприятными может дать положительные результаты.

Значительное снижение потерь напряжений может быть достигнуто также путем последовательного чередования натяжения и спуска.

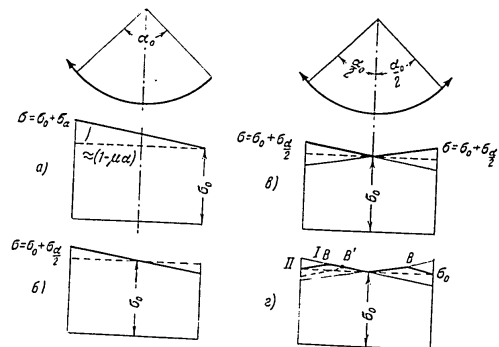


Рис 6 Виды натяжений  
а и б — натяжение слева, а — натяжение слева и справа, в — натяжение  
слева и справа с последующим спуском

Так, при лабораторном исследовании потерь напряжений в 6-метровой предварительно напряженной балке в Калифорнийском университете было установлено, что при первом натяжении пучка потери напряжений составляли 7,2%, что соответствовало коэффициенту трения  $\mu = 0,25$ ; после того как усилие было полностью спущено, а затем вновь достигнуто, потери на ненапрягиваемом конце составляли уже только 6%, а средние значения в четырех балках, — 5%, что соответствовало коэффициенту трения  $\mu = 0,14$ . Таким образом, попеременные натяжения — спуски и вторичное натяжение пучка — позволили снизить коэффициент трения на 44%.

Во многих случаях, как показывают исследования<sup>1</sup>, потери напряжений могут быть существенно снижены путем применения различных механических воздействий на натянутый стержень. В упомянутых исследованиях изучалось воздействие ударов на концы натянутого стержня, снабженного временной пружиной, увеличивающей продольный импульс пучков до 30 м и изгибе их каналов с центральным углом до 50° между арматурой и стенками каналов. Исследования показали, что при длине натягиваемых стержней 3 м или даже более устранено. Этими же экспериментами было установлено, что применение отмеченного способа при обычной анкерке без потерь пружины не является эффективным.

<sup>1</sup> «Concrete and Constructional Engineering». № 3, 1957

**Влияние условий производства работ**

Большое значение в рассматриваемом вопросе имеет качество производства работ. При несоблюдении основных правил изготовления конструкций силы трения могут достигнуть больших значений. Для иллюстрации этого приводим следующий пример. При строительстве резервуара в городе Ричмонд (США) диаметром 61,5 м и высотой 13,3 м в 1951 г. пучки Фрейсине длиной, равной четверти окружности, натягивались с концов. Пучки располагались в металлических кожухах. Ввиду того, что с начала установки пучков до момента их натяжения прошел месяц, талл покрылся ржавчиной и силы трения оказались весьма значительными.

Данные о значении коэффициентов трения при натяжении этих пучков даны в табл. 6.

Номера групп	Номера пучков	Значения коэффициента трения		
		$\mu_{max}$	$\mu_{min}$	$\mu_{средн}$
А	34	0,72	0,38	0,55
Б	18	0,63	0,16	0,50
В	20	0,66	0,20	0,44

Так как потери напряжений оказались очень большими, то спустя несколько месяцев была предпринята подтяжка пучков, однако большое число проволок в пучках оборвалось в результате их коррозии. Пучки были заменены новыми, а для того чтобы очистить канал от ржавчины, стальные кожухи были промыты чистой водой под давлением.

Это мероприятие привело к значительному снижению коэффициента трения, что видно из сопоставления данных табл. 6 с данными табл. 7, в которой приведены коэффициенты трения для замененных пучков в мытых каналах.

Номера групп	Номера пучков	Значения коэффициента трения		
		$\mu_{max}$	$\mu_{min}$	$\mu_{средн}$
Г	12	0,43	0,16	0,28
Д	13	0,43	0,15	0,26
Е	16	0,45	0,15	0,29

Примечание. В табл. 6 и 7 значение коэффициента трения определяется по формуле  $\mu = \mu_1 - \frac{kL}{\sigma_0}$  при  $k = 0,0049$

**Некоторые выводы**

Изложенные выше результаты различных исследований по определению потерь напряжений от трения арматуры о стенки каналов позволяют сделать следующие выводы.

1. Силы трения между арматурными стержнями и стенками каналов, возникающие в период их натяжения, колеблются в широких пределах, во многих случаях достигают значительных величин и приводят к большим потерям напряжений.

2. Силы трения, возникающие при натяжении арматуры, зависят не только от коэффициента трения между трущимися поверхностями и порогового давления между ними, но и от условий изготовления конструкции (способа натяжения, качества работ и т. д.).

3. Коэффициент трения для поверхностей, находящихся под значительным нормальным давлением, какое имеет место в каналах предварительно напряженных конструкций, не является постоянной величиной и зависит от интенсивности указанного давления.

4. Большое значение для практики изготовления предварительно напряженных конструкций имеют профилактические мероприятия по уменьшению сил трения. Мероприятия эти могут быть разными по своим направлениям: одни направлены на уменьшение коэффициента трения, например, различные смазки трущихся поверхностей; другие же направлены на уменьшение сил трения путем применения различных способов натяжения механических воздействий, как, например, ударов по одному из концов натянутого стержня, вибрирования стержня после его натяжения и др.

5. Следует отметить, что если сам факт влияния этих мероприятий на величину потерь напряжений в предварительно напряженных конструкциях от упругого обжатия бетона при последовательном — неодновременном натяжении пучков или стержней в предварительно напряженных железобетонных конструкциях с поперечным сечением (стержни или пучки) натягивается неодновременно. Это происходит в том случае, когда обжатие бетона вдоль трасс ранее натянутых стержней происходит одновременно с деформацией бетона ранее натянутых стержней. Одновременное обжатие бетона ранее натянутых стержней также получает название «одновременного обжатия» и в соответствии с этим —

следует отметить, что приращение напряжений при неодновременном обжатии стержней достигает во многих случаях значительных величин, поэтому этому вопросу имеются отдельные рекомендации, позволяющие

**Табл. 6**  
**ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ УПРУГОГО ОБЖАТИЯ БЕТОНА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ — НЕОДНОВРЕМЕННОМ НАТЯЖЕНИИ ПУЧКОВ ИЛИ СТЕРЖНЕЙ**

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях с поперечным сечением (стержни или пучки) натягивается неодновременно. Это происходит в том случае, когда обжатие бетона вдоль трасс ранее натянутых стержней происходит одновременно с деформацией бетона ранее натянутых стержней. Одновременное обжатие бетона ранее натянутых стержней также получает название «одновременного обжатия» и в соответствии с этим —

следует отметить, что приращение напряжений при неодновременном обжатии стержней достигает во многих случаях значительных величин, поэтому этому вопросу имеются отдельные рекомендации, позволяющие



приближенно определять эти потери. Так, в сообщении № 20 Центрального научно-исследовательского института Министерства путей сообщения (автор — Е. А. Тронский) дано указание об учете потерь напряжений в арматуре при последовательном натяжении ее для случая, когда все пучки прямолинейны, параллельны линии центров тяжести и расположены в одной зоне.

Аналогичная рекомендация имеется в инструкции по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций по предельным состояниям (СН-10-57). Потери напряжения рекомендуется определять по формуле:

$$\sigma_n = n \Delta \sigma_6,$$

где  $n$  — отношение модуля упругости арматуры к модулю упругости бетона;

$\Delta \sigma_6$  — среднее напряжение в бетоне (на участке длины рассматриваемой группы арматуры, натянутой ранее, на уровне ее центра тяжести) от силы натяжения группы арматуры, натянутой позднее при этом напряжении в арматуре принимают за вычетом потерь происходящих до обжатия бетона.

Указанная формула является приближенной и применима только к прямолинейной арматуре, расположенной параллельно оси балки. В же случаях, когда балка армируется криволинейными пучками, она не применима.

Ниже приводится составленная нами методика определения потерь напряжений при одновременном натяжении арматуры в общем случае, т. е. при любом расположении и форме арматурных стержней.

Рассмотрим балку, показанную на рис. 7.

Сечение балки имеет одну вертикальную ось симметрии. В период натяжения арматуры сцепление между пучками и телом бетона отсутствует.

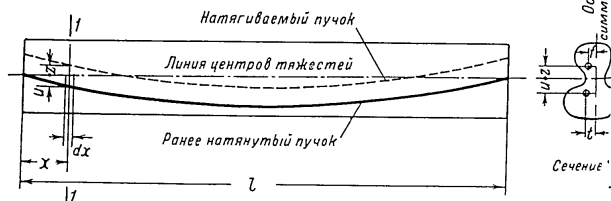


Рис. 7. Схема балки для определения напряжений при одновременном натяжении стержней

От натяжения пучка  $i$  длина линии трассы  $ab$  расположения пучка  $k$  изменится, и естественно, что и напряжения в нем изменятся. Приращение напряжения в пучке  $k$  определяется по закону Гука:

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta l}{l} E_a. \quad (a)$$

Изменение длины трассы  $ab$  происходит потому, что от натяжения пучка  $i$  в бетонных волокнах этой линии возникают напряжения  $\sigma_6$ . Удлинение этой трассы будет равно

$$\Delta l = \int \frac{\sigma_6}{E_6} ds. \quad (b)$$

Усилие натяжения пучка  $i$  равно

$$N_i = F_{ai} \sigma_{ai},$$

где  $F_{ai}$  и  $\sigma_{ai}$  — площадь сечения и напряжение в натягиваемом пучке  $i$ . Усилия, возникающие в сечении балки на расстоянии  $x$  от конца, будут:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= N_i z \cos \varphi = F_{ai} \sigma_{ai} z \cos \varphi, \\ M_y &= N_i t \cos \varphi = F_{ai} \sigma_{ai} t \cos \varphi, \\ N_x &= N_i \cos \varphi = F_{ai} \sigma_{ai} \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (в)$$

Напряжение в бетоне на уровне пучка  $k$  равно:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_6 &= \frac{N_x}{F_{6(i-1)}} + \frac{M_x u}{I_{x(i-1)}} + \frac{M_y f}{I_{y(i-1)}}, \\ \sigma_6 &= \frac{F_{ai} \sigma_{ai} \cos \varphi}{F_{6(i-1)}} + \frac{F_{ai} \sigma_{ai} z u \cos \varphi}{F_{6(i-1)} r_{x(i-1)}^2} + \frac{F_{ai} \sigma_{ai} t f \cos \varphi}{F_{6(i-1)} r_{y(i-1)}^2}, \\ \sigma_6 &= \frac{F_{ai} \sigma_{ai} \cos \varphi}{F_{6(i-1)}} \left( 1, 0 + \frac{z u}{r_{x(i-1)}^2} + \frac{t f}{r_{y(i-1)}^2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (г)$$

Удлинение бесконечно малого участка  $d$  ( $ds$ ) равно:

$$d(ds) = \frac{\sigma_6}{E_6} ds = \frac{\sigma_6}{E_6} \frac{dx}{\cos \alpha} = \frac{F_{ai} \sigma_{ai}}{F_{6(i-1)} E_6} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \alpha} \left( 1, 0 + \frac{z u}{r_{x(i-1)}^2} + \frac{t f}{r_{y(i-1)}^2} \right) dx.$$

где  $\alpha$  — углы наклона касательных к осям пучков  $i$  и  $k$  в рассматриваемом сечении.

Полное удлинение волокна по трассе пучка  $k$  равно:

$$\Delta l = \int_0^l \frac{\sigma_0}{E_0} ds = \frac{F_{ai}\sigma_{ai}}{F_{0(i-1)}E_{0i}} \int_0^l \left( 1,0 + \frac{zu}{r_{x(i-1)}^2} + \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} \right) dx.$$

При выводе формулы (д), в связи с относительно малыми угламиклонения пучков от горизонтального направления, сделаны следующие допущения:

а) относительное удлинение в данной точке в направлении пучка,клонного под малым углом ( $\alpha$ ) к оси балки, такое же, как в направлении нормальном к ее сечению;

б) отношение  $\frac{\cos \varphi}{\cos \alpha}$  принято равным единице.

Вставляя выражение (д) в формулу (а), получаем искомое приращение напряжений в пучке  $k$  или, что то же самое, — потерю напряжений пучке  $k$  от натяжения пучка  $i$ :

$$\sigma_n = \Delta \sigma_a = \frac{\Delta l}{l} E_a = \frac{F_{ai}\sigma_{ai}}{F_{0(i-1)}l} \frac{E_a}{E_0} \int_0^l \left( 1,0 + \frac{zu}{r_{x(i-1)}^2} + \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} \right) dx,$$

или

$$\sigma_n = \frac{F_{ai}\sigma_{ai}}{F_{0(i-1)}l} \frac{E_a}{E_0} \left[ l \left( 1,0 + \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} + \frac{1}{r_{x(i-1)}^2} \int_0^l zudx \right) \right].$$

Обозначив

$$\frac{F_{ai}\sigma_{ai}}{F_{0(i-1)}} = a_{0i}, \quad \frac{E_a}{E_0} = n,$$

получим.

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} \left( 1 + \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} \right) + \frac{n\sigma_{0i}}{lr_{x(i-1)}^2} \int_0^l zudx,$$

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} + n\sigma_{0i} \frac{\int_0^l zudx}{lr_{x(i-1)}^2}.$$

Формула (1) и есть выражение потерь напряжений в общем случае при этом первый член выражает потери напряжений, происходящие центрального обжатия балки, второй — от изгиба балки в горизонтальной плоскости, а третий — от изгиба балки в вертикальной плоскости.

*Частный случай 1.* Один из пучков лежит на вертикальной оси симметрии. В этом случае второй член формулы (1) обратится в нуль и формула примет вид:

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{\int_0^l zudx}{lr_{x(i-1)}^2}. \quad (2)$$

*Частный случай 2.* Один из пучков прямолинейный и параллельный оси балки. В этом случае величина  $z$  или  $u$  постоянна. Пусть, например, пучок  $k$  прямолинейный; тогда величина  $u$  постоянна и

$$\int_0^l zudx = u \int_0^l zdx = u\Omega_i,$$

где  $\Omega_i$  — площадь, ограниченная осью пучка  $i$  и линией центров тяжести. Потеря напряжений выразится по следующей формуле:

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} + n\sigma_{0i} \frac{u\Omega_i}{lr_{x(i-1)}^2} \dots \quad (3a)$$

если пучок  $i$  прямолинейный и параллельный оси балки, то  $z$  постоянна и

$$\int_0^l zudx = z \int_0^l udx = z\Omega_k,$$

где  $\Omega_k$  — площадь, ограниченная осью пучка  $k$  и линией центров тяжести. В этом случае формула (1) примет вид:

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} + n\sigma_{0i} \frac{z\Omega_k}{lr_{x(i-1)}^2}. \quad (3б)$$

*Частный случай 3.* Оба пучка прямолинейны и параллельны оси балки, т. е.  $z$  и  $u$  — постоянные величины.

В этом случае  $\int_0^l zudx = zul$ , и формула (1) примет вид:

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{tf}{r_{y(i-1)}^2} + n\sigma_{0i} \frac{zu}{r_{x(i-1)}^2}. \quad (4)$$

*Частный случай 4.* Один из пучков лежит на вертикальной оси симметрии и, кроме того, один из них прямолинейный и параллельный оси балки, например пучок  $k$ . Тогда

$$\sigma_n = n\sigma_{0i} + n\sigma_{0i} \frac{u\Omega_i}{lr_{x(i-1)}^2}. \quad (5a)$$

Если пучок  $i$  прямоугольный и параллельный оси балки, то

$$\sigma_n = n\sigma_{\sigma_0} + n\sigma_{\sigma_0} \frac{z^2 l_k}{r^2 x(i-1)}.$$

*Частный случай б.* Один из пучков лежит на вертикальной оси симметрии, и, кроме того, оба пучка прямолинейны и параллельны оси балки. В этом случае

$$\sigma_n = n\sigma_{\sigma_0} + n\sigma_{\sigma_0} \frac{zu}{r^2 x(i-1)}.$$

Вычисление интеграла  $\int_0^l zudx$ . Пусть криволинейные участки пучков имеют вид, показанный на рис. 8. Заменяя эти кривые парабол

$$u = \frac{(b_2 - b_1)}{l^2} x^2 + b_1; \quad z = \frac{(a_2 - a_1)}{l^2} x^2 + a_1,$$

получим:

$$\int_0^l zudx = l \left( \frac{8}{15} a_1 b_1 + \frac{1}{5} a_2 b_2 + \frac{2}{15} a_2 b_1 + \frac{2}{15} a_1 b_2 \right).$$

Если криволинейные участки заменить прямыми (рис. 9)

$$u = \frac{b_2 - b_1}{l} x + b_1; \quad z = \frac{a_2 - a_1}{l} x + a_1,$$

то

$$\int_0^l uzdx = l \left( \frac{1}{3} a_2 b_2 + \frac{1}{6} a_2 b_1 + \frac{1}{6} a_1 b_2 + \frac{1}{3} a_1 b_1 \right).$$

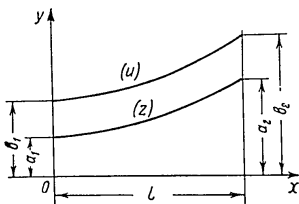


Рис. 8. Схема при криволинейных стержнях

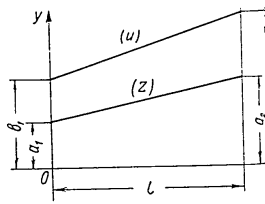


Рис. 9. Схема при прямолинейных наклонных стержнях

Величины  $u$  и  $z$  представляют собой переменные расстояния от осей тягиваемых стержней до линии центров тяжести сечения.

При наклонном расположении пучков линия центров тяжести на этих участках также становится наклонной, поскольку она определяется с учетом ранее натянутой арматуры. Положение этой прямой легко определяется по центрам тяжести сечения у начала и конца наклонного участка пучка. Величины  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  и  $b_2$ , с помощью которых вычисляется значение  $zdx$ , должны измеряться до действительной линии центров тяжести.

Величину  $r_{xi}^2$  выражения (1) рекомендуется определять по формуле:

$$r_{xi}^2 = \frac{F_{\sigma(i-1)} (r_{\sigma(i-1)}^2 + C_i^2)}{F_{\sigma(i-1)} + nF_{\sigma i}} + \frac{nF_{\sigma i} (C_{\sigma i} - C_i)^2}{F_{\sigma(i-1)} + nF_{\sigma i}},$$

$r_{\sigma(i-1)}$  — радиус инерции железобетонного сечения с учетом  $(i-1)$  пучков;

$r_{\sigma i}$  — радиус инерции железобетонного сечения с учетом пучка  $i$ ;

$F_{\sigma(i-1)}$  — приведенная площадь железобетонного сечения с учетом  $(i-1)$  пучков;

$F_{\sigma i}$  — площадь сечения пучка  $i$ ;

$C_{\sigma i}$  — расстояние от центра тяжести пучка  $i$  до центра тяжести железобетонного сечения;

$C_i$  — расстояние между центрами тяжести железобетонных сечений  $F_{\sigma(i-1)}$  и  $F_{\sigma i}$ .

В некоторых случаях допустимо вычисление величины  $r_{xi}^2$  производить приближенной формуле:

$$r_{xi}^2 = r_{\sigma(i-1)}^2 + C_{\sigma i}^2 \frac{nF_{\sigma i}}{F_{\sigma(i-1)}}.$$

Полученные формулы составлены в соответствии с основными положениями строительной механики и могут быть рекомендованы для определения потерь напряжений от упругого обжатия бетона при неодновременном натяжении стержней.

Выполненные теоретические подсчеты потерь напряжений от последовательного неодновременного натяжения пучков показали, что во многих случаях они достигают значительных величин (15% и более), и учет их проектировании предварительно напряженных конструкций с последующим натяжением арматуры является обязательным. В дальнейшем соответствие выведенных формул действительной величине потерь будет проверено экспериментально.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(ПО МАТЕРИАЛАМ II МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА,  
ПОСВЯЩЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ ОБОЛОЧКАМ)

*А Д ЕФИМОВ*  
член-корреспондент Академии строительства и архитектуры СССР

*М А ПЛАКИДА*  
канд. техн. наук

1

Во многих странах мира среди ученых и инженеров-строителей растет интерес к пространственным железобетонным тонкостенным конструкциям. Пространственные конструкции, отличаясь оригинальностью и нестандартными решениями, обладая многими преимуществами, начинают получать все большее применение в отечественной строительной практике.

Ученым, проектировщикам и производственникам придется еще немало потрудиться над дальнейшим совершенствованием этих конструкций. Необходимо улучшить их технико-экономические показатели, повысить эффективность способов расчета, разработать прогрессивные методы изготовления и монтажа.

В этой связи важное значение приобретает работа II Международного конгресса по железобетонным оболочкам, состоявшегося в 1957 г. в Осло. В докладах и сообщениях, а также в процессе дискуссии затронуты вопросы, проливающие свет на многие области, связанные с проектированием и применением пространственных тонкостенных железобетонных конструкций.

Принципиальное различие в развитии вопросов проектирования тонкостенных оболочек наблюдается в ряде западных стран и США — в Великобритании и странах народной демократии.

В Англии, например, существует мнение о нерентабельности возведения оболочек в связи с большими расходами на устройство опалубки, доставку материалов, приобретение кранового оборудования и пр. В то же время английские строители считают, что типизация и унификация конструкций оболочек — дело неосуществимое из-за отсутствия координации между многочисленными фирмами, занимающимися проектированием и возведением различных инженерных сооружений. Эта точка зрения не получила подтверждения в весьма незначительном удельном весе пространственных конструкций в общем объеме строительства, осуществляемом в Англии.

Необходимо, однако, отметить, что существующее в Англии направление было бы правильнее объяснить не технико-экономической оценкой или других типов пространственных конструкций, а скорее конъюнктурными условиями.

В то же время в Советском Союзе, а также в ряде стран народной демократии ведется планомерное изучение пространственных тонкостенных конструкций. Проводится работа по их типизации и унификации, широко дается принцип сборности и индустриальности строительства.

В Советском Союзе в настоящее время особый интерес проявляется борным предварительно напряженным оболочкам двоякой кривизны. В области теории и конструирования ведется большая исследовательская работа, целью которой является как обобщение опыта, так и упрощение рационализация трудоемкой вычислительной работы, связанной с проектированием оболочек.

В докладах, посвященных проектированию оболочек, наибольшее внимание было обращено на развитие эффективных методов расчета цилиндрических и логоческих оболочек двоякой кривизны, наиболее часто применяемых в качестве покрытий промышленных и гражданских зданий.

Должное внимание было уделено также вопросам устойчивости, прочности и стремление максимально уменьшить приведенную толщину покрытий.

Исследования советских ученых нашли широкое отражение в работах зарубежных исследователей. Большую известность, например, приобрели работы проф. В. З. Власова. Как показал конгресс, наша страна занимает передовые позиции в творческом соревновании в данной области строительной техники.

Выявилось также стремление исследователей различных стран найти доступные методы решения задач статической устойчивости оболочек. Использование существующих теорий расчета оболочек инженерами-проектировщиками в данное время несколько затруднено, так как для этого требуется специальная математическая обработка.

Это подтверждает необходимость скорейшей разработки практических методов по расчетам оболочек, снабженных расчетными таблицами, графиками и графиками. Отсутствие таких пособий до некоторой степени является помехой на пути широкого внедрения прогрессивных конструкций в строительство.

Необходимо отметить, что начало разработки пособий уже положено в Советском Союзе. В некоторых странах народной демократии за последние годы уделяется внимание разработке типовых графиков и расчетных схем, облегчающих работу проектировщика. Большой интерес вызвал обзор наиболее интересных конструктивных решений различных тонкостенных оболочек, осуществленных в различных странах, сделанный в докладах и сообщениях участников конгресса.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(ПО МАТЕРИАЛАМ И МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА,  
ПОСВЯЩЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ ОБОЛОЧКАМ)

*А. Д. ЕФИМОВ*  
*член-корреспондент Академии строительства и архитектуры СССР*

*М. А. ПЛАКИДА*  
*канд. техн. наук*

I

Во многих странах мира среди ученых и инженеров-строителей растет интерес к пространственным железобетонным тонкостенным конструкциям. Пространственные конструкции, отличающиеся оригинальностью и новизной решения, обладая многими преимуществами, начинают получать все большее применение в отечественной строительной практике.

Ученым, проектировщикам и производственникам придется еще мало потрудиться над дальнейшим совершенствованием этих конструкций. Необходимо улучшить их технико-экономические показатели, наиболее эффективные способы расчета, разработать прогрессивную технологию их изготовления и монтажа.

В этой связи важное значение приобретает работа II Международного конгресса по железобетонным оболочкам, состоявшегося в 1957 г. Осло. В докладах и сообщениях, а также в процессе дискуссии затронуты вопросы, проливающие свет на многие области, связанные с проектированием и применением пространственных тонкостенных железобетонных конструкций.

Принципиальное различие в развитии вопросов проектирования и мнения оболочек наблюдается в ряде западных стран и США — в Советском Союзе и странах народной демократии.

В Англии, например, существует мнение о нерентабельности возведения оболочек в связи с большими расходами на устройство опалубки, подъемов подмостей, приобретение кранового оборудования и пр. В то же время английские строители считают, что типизация и унификация конструкций оболочек — дело неосуществимое из-за отсутствия координации между многочисленными фирмами, занимающимися проектированием, возведением различных инженерных сооружений. Эта точка зрения не имеет подтверждения в весьма незначительном удельном весе пространственных конструкций в общем объеме строительства, осуществляемом в Англии.

Необходимо, однако, отметить, что существующее в Англии направление было бы правильнее объяснить не технико-экономической оценкой или других типов пространственных конструкций, а скорее конъюнктурными условиями.

В то же время в Советском Союзе, а также в ряде стран народной демократии ведется планомерное изучение пространственных тонкостенных конструкций. Проводится работа по их типизации и унификации, широко применяется принцип сборности и индустриальности строительства.

В Советском Союзе в настоящее время особый интерес проявляется сборным предварительно напряженным оболочкам двоякой кривизны. области теории и конструирования ведется большая исследовательская работа, целью которой является как обобщение опыта, так и упрощение рационализация трудоемкой вычислительной работы, связанной с проектированием оболочек.

В докладах, посвященных проектированию оболочек, наибольшее внимание было обращено на развитие эффективных методов расчета цилиндрических и пологих оболочек двоякой кривизны, наиболее часто применяемых в качестве покрытий промышленных и гражданских зданий.

Должное внимание было уделено также вопросам устойчивости, приносящей особую актуальность в связи с внедрением напряженного покрытия и стремление максимально уменьшить приведенную толщину покрытий.

Исследования советских ученых нашли широкое отражение в работах зарубежных исследователей. Большую известность, например, приобрели работы проф. В. З. Власова. Как показал конгресс, наша страна занимает передовые позиции в творческом соревновании в данной области строительной техники.

Выявилось также стремление исследователей различных стран найти усовершенствованные, практически доступные методы решения задач устойчивости оболочек. Использование существующих теорий расчета оболочек в широких кругах инженеров-проектировщиков в данное время несколько затруднено, так как для этого требуется специальная математическая подготовка.

Это подтверждает необходимость скорейшей разработки практических руководств по расчетам оболочек, снабженных расчетными таблицами, графами и графиками. Отсутствие таких пособий до некоторой степени является помехой на пути широкого внедрения прогрессивных конструкций в строительство.

Необходимо отметить, что начало разработки пособий уже положено в Советском Союзе. В некоторых странах народной демократии за последние годы также уделяется внимание разработке типовых графиков и расчетных схем, облегчающих работу проектировщика.

Большой интерес вызвал обзор наиболее интересных конструктивных решений различных тонкостенных оболочек, осуществленных в различных странах, сделанный в докладах и сообщениях участников конгресса.

II

В Советском Союзе тонкостенные железобетонные оболочки применяются в виде типовых конструктивных решений, а также в индивидуальных сооружениях для покрытия больших пролетов и площадей.

В нашей стране оболочки в основном используются для покрытия мышленных зданий. Оболочки шедового типа, в частности, нашли широкое применение при возведении одноэтажных корпусов предприятий стилистой промышленности. Точки опор покрытий этих зданий располагаются в сетке с размером сторон  $12 \times 21$  м (меньшая сторона в направлении меридиана). Оболочки имеют форму трехосного эллипсоида, толщина стенок 5 см (рис. 1).

Остекление, как и во всяком шедовом покрытии, делается с трех сторон. С южной и северной сторон оболочки поддерживаются рагмами, состоящими из балок переменного сечения, подвешенных к эллиптической арке сечением  $25 \times 50$  см. Нижняя часть контура балки делается пересечением этой балки со скорлупой оболочки.

Высота балки переменная — 2,4 м на опорах и 60 см в середине пролета при ширине 25 см. В верхней части расположена затяжка, выполняющая распор арки. С северной стороны оболочка принимает криволинейное очертание арки диафрагмы, а с южной — к нижнему контуру балки.

Оболочки возводятся монолитные. Их бетонирование осуществляется с помощью металлической инвентарной опалубки и катучих лесов.

Ивентарный комплекс состоит из поставленного на колеса поддерживающего леса и опалубку; последняя может наклоняться вращаясь вокруг горизонтальной оси, укрепленной на шасси.

Для распалубки забетонированной оболочки вначале слегка наклоняется верхняя часть опалубки. Шасси в это время откатывается в противоположном направлении на незначительное расстояние. Вслед за этим опалубка опускается до уровня, позволяющего пройти под затяжкой ранее возведенной оболочки, шасси вместе со всей надстройкой перемещается

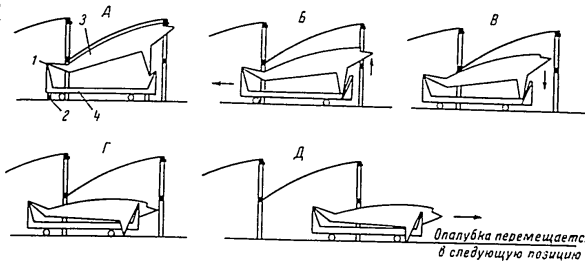


Рис 2 Схема работы передвижной механизированной опалубки — шарнир, 2 — песочные домкраты, 3 — верхнее строение (опалубка); 4 — база агрегата

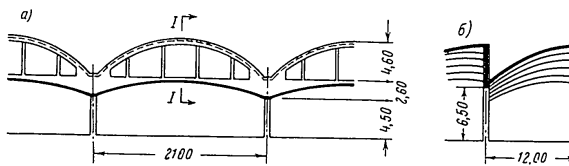


Рис. 1. Схема шедового покрытия текстильной фабрики (СССР)  
а — продольный разрез; б — поперечный разрез

к новому бетонированию; опалубка поднимается в проектное положение (рис. 2). Вся эта операция не представляет трудностей и, как показала практика, осуществляется в кратчайший срок.

Рассмотренное покрытие трудно поддается точному теоретическому расчету. Выполненные расчеты носили приближенный характер. В связи с этим до начала строительства объекта было произведено испытание экспериментальных оболочек, изготовленных в натуральную величину с доведением нагрузки до разрушения конструкции.

Первая трещина появилась при нагрузке  $670 \text{ кг/м}^2$  (включая собственный вес конструкции), а разрушающие нагрузки составили для первой и второй оболочек соответственно  $1030$  и  $1120 \text{ кг/м}^2$ .

Результаты испытаний позволили облегчить запроектированную конструкцию, что дало ощутимую экономию материала и снижение денежных затрат.

Отмеченные покрытия с эллипсоидальными оболочками были использованы при строительстве нескольких больших текстильных фабрик. Общая площадь уже осуществленных покрытий данного типа превышает 20 тыс.  $\text{м}^2$ . В настоящее время в стадии строительства находится еще одна фабрика площадью свыше 20 тыс.  $\text{м}^2$ .

Другой тип сферических оболочек, осуществленных за последние годы в Советском Союзе, характеризуется значительно большими пролетами, а также сборной конструкцией с применением напряженного армирования. Первые сферические оболочки были сооружены при строительстве одного из ленинградских заводов железобетонных изделий. Полносборные конструкции монтировались из элементов заводского изготовления. Различия в плане  $18 \times 18$  м. Сборная скорлупа оболочки состояла из 25 плит волнистой поверхности толщиной 3,5 см. Опорой служили сборные

контурные напряженно армированные фермы. Вся конструкция собралась на уровне земли на инвентарных металлических подмостях, а при помощи траверс и двух монтажных мачт поднималась и устанавливалась в проектное положение с передачей всей нагрузки на четыре ранее установленные железобетонные колонны.

Приведенная толщина бетона покрытия составляла 6,8 см, а расход стали на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади — 11,5 кг.

Первый удачный опыт изготовления полносборных сферических лочек позволил советским конструкторам и строителям перейти к созданию аналогичных инженерных сооружений, но уже в более широких масштабах.

В 1956—1957 гг. в Ленинграде создан домостроительный комбинат, один из цехов которого перекрыт двумя сферическими квадратными сводами. В связи с этим высота подъема первоначально превысила проектные оболочки с размерами сторон 40×40 м. Обе оболочки смонтированы из сборных элементов. Разрезка скорлупы выполнена по радиально-циркулярному принципу, в отличие от первых конструкций, которые имели швы, параллельные сторонам контура.

Общее количество сборных элементов каждой оболочки достигло 100. По контуру они опираются на сборные напряженно армированные фермы, которые, в свою очередь, лежат на четырех угловых колоннах.

Толщина секторных плит 5 см. По краям они снабжены ребрами жесткости и выступами. Толщина контурных и угловых плит 8—12 см. Имеется 16 типоразмеров элементов весом от 2,5 до 4 т, за исключением угловых блоков, вес которых достигает 7 т.

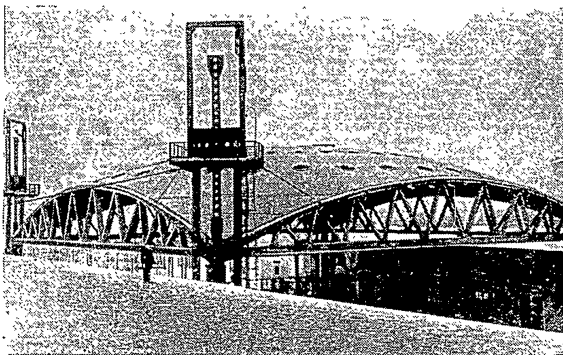


Рис. 3. Монтаж сборной сферической оболочки размерами в плане 40×40 м (СССР)

62

Для восприятия главных растягивающих напряжений в угловых и конических плитах устанавливается напряженная арматура из пучков высокопрочной проволоки, при помощи которой производится предварительное обжатие бетона угловых зон оболочки. Для изготовления сборных элементов применялся бетон марки 300 и 400.

Приведенная толщина оболочки составила 10,5 см, а расход стали на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади — 16,5 кг.

Укрупнительная сборка конструкций выполнялась на нулевых отметках. Здесь же оболочки испытывались пробным нагружением. Подъем оболочек производился при помощи четырех ленточных подъемников, оборудованных гидравлическими домкратами.

Монтаж и установка колонн производились после подъема самой оболочки примерно на 1 м. После установки колонны в заранее подготовленные фундаменты оболочки опускались и закреплялись в проектом положении (рис. 3).

Покрытие другого цеха этого же предприятия запроектировано в виде шарнирных тонкостенных сводов пролетом 100 м. Отдельные своды шириной 7,5 м, из которых состоит покрытие, находятся на расстоянии 2,5 м. Промежутки между ними заполняются панелями из стеклянных блоков.

Конструкция свода представляет собой сборную оболочку двойной кривизны. Максимальная стрела подъема в середине пролета 11,4 м, высота сводов 2,7 м. Каждый свод собирается из 13 железобетонных секций весом от 20 до 28 т. Криволинейная плита имеет толщину 6 см.

Поперечное сечение бортовых ребер 20×80 см. В пролете свод усилен сплошными поперечными диафрагмами толщиной 8 см. Распор каждого свода воспринимается предварительно напряженными затяжками (рис. 4).

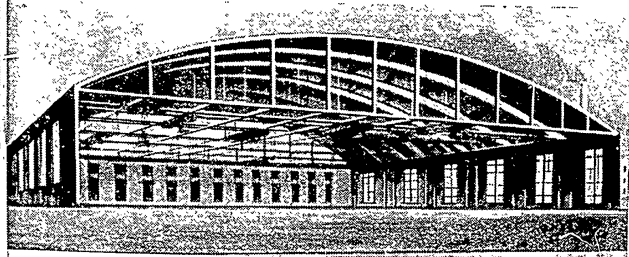


Рис. 4. Свод-оболочка пролетом 100 м (СССР)

63

Своды будут собраны и установлены в проектное положение из отдельных элементов, окаймленных ребрами, и, наконец, оболочки из сборных элементов, волнообразных элементов.

Расход стали в этих оболочках, включая затяжки и бортовые элементы составляет примерно  $6-7 \text{ кг/м}^2$  горизонтальной проекции, а приведенная толщина бетона  $5 \text{ см}$ .

В качестве примера строительства крупных пространственных сооружений можно выделить покрытие ангара в Софии, состоящее из цилиндрической оболочки радиусом  $50 \text{ м}$ , размерами в плане  $40 \times 55 \text{ м}$ . Стенка оболочки толщиной  $7 \text{ см}$  имеет ребра жесткости, расположенные на расстоянии  $8 \text{ м}$ .

## III

За последние годы в Чехословакии, Польше, Болгарии и ГДР широкое развитие получило строительство железобетонных оболочек. Это связано с высокими технико-экономическими показателями и образцом другого интересного решения является покрытие Дворца культуры в том же городе в виде сферической оболочки прямого угла с размерами в плане  $21 \times 30 \text{ м}$  и пятиметровым отверстием в центре. Толщина стенки  $6 \text{ см}$ . К краям оболочка постепенно утолщается и в нижней точке достигает  $23 \text{ см}$ . Расход стали составляет  $15 \text{ кг}$  на  $1 \text{ м}^2$ , а приведенная толщина бетона  $21 \text{ см}$ . Обе отмеченные оболочки разработаны по методу проф. В. З. Власова.

Наряду с типизацией зданий и сооружений, унификацией конструктивных схем получили распространение крестовые бочарные конструкции достигнуты в народном строительстве железобетонных пространственных конструкций. Среди различных типовых решений крестовые бочарные конструкции получили распространение в Чехословакии. Среди различных типовых решений крестовые бочарные конструкции получили распространение в Чехословакии. Среди различных типовых решений крестовые бочарные конструкции получили распространение в Чехословакии.

Все эти расходы, отнесенные на единицу площади готового сооружения, резко падают при повторном осуществлении типовых решений.

Наряду с типизацией зданий и сооружений, унификацией конструктивных схем получили распространение крестовые бочарные конструкции достигнуты в народном строительстве железобетонных пространственных конструкций. Среди различных типовых решений крестовые бочарные конструкции получили распространение в Чехословакии. Среди различных типовых решений крестовые бочарные конструкции получили распространение в Чехословакии.

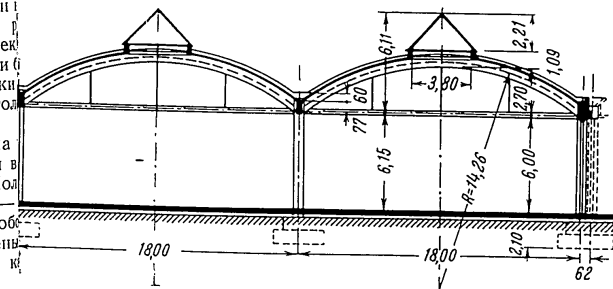
Одновременно с унификацией размеров сооружений и их элементов потребовалось систематизировать применение типовых решений здания для различных отраслей промышленности — проектирования пространственных конструкций.

В результате многочисленных исследований и данных практики в различных странах народной демократии были отобраны наиболее рациональные конструктивные решения и стандартные модули оболочек. Например, в Чехословакии наибольшее распространение получили длинные и короткие цилиндрические оболочки, в Болгарии — оболочки с кривизной из сборных элементов, в ГДР — проверенные долгие годы опытом длинные оболочки системы Цейсс-Дивидат и т. д.

Помимо выбора определенной конструктивной формы, назрела необходимость систематизации основных размеров, в том числе и в оболочках, а также унификации шага несущих конструкций. В Чехословакии, например, модуль принят в размере  $3 \text{ м}$ , в ГДР —  $4 \text{ м}$ .

По некоторым, наиболее часто применяемым конструкциям были разработаны типовые чертежи, а их основные данные сведены в таблицы. Большинство конструкций, систематизированных в этих таблицах, разработано в стадии рабочих чертежей.

С образованием народной власти в Болгарии развернулось усиленное промышленное строительство. Здесь в основном применяется три типа оболочек: цилиндрические, состоящие из сборных трехшарнирных



Типовое решение покрытия промышленного здания цилиндрическими оболочками (Чехословакия)



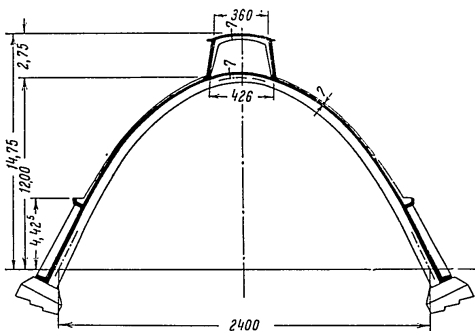


Рис. 6. Склад сыпучих в виде тонкостенной железобетонной оболочки (Чехословакия)

рис. 5); склад сыпучих, решенный в виде тонкостенной железобетонной оболочки, опирающейся своими бортовыми элементами на столбы, металлические с шагом 6 м (рис. 6).

Эта высокоэкономичная конструкция нашла широкое применение в промышленном строительстве.

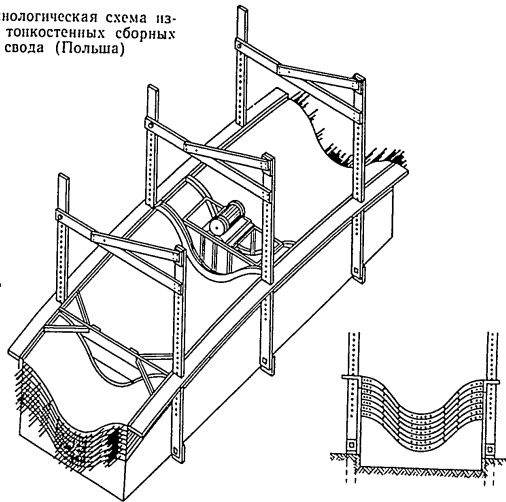
Большую популярность завоевала конструкция желобчатых оболочек. Покрывать этого типа в форме бочарных сводов и шедов в Чехословакии построено свыше 140 тыс. м<sup>2</sup>. Основным элементом конструкции является арка параболы, перекрывающая пролет аркой параболы. Распор воспринимается металлическими затяжками. Эта конструкция применяется для пролетов 15—25 м. Толщина стенок колеблется в пределах 3—5 см в зависимости от пролета.

Более экономичное решение дает шедовый тип оболочек. Размеры в плане составляют 9×12 м при толщине стенки 7 см, расход стали на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади, приведенная толщина бетона 13 см.

Строительство оболочек в Польше развивалось примерно в том же направлении, что и в Чехословакии. В Польше разработано значительное количество типовых конструкций, сведенных в единый каталог. Представлены короткие и длинные цилиндрические оболочки с ребрами затяжками, волнообразные, бочарные, конoidalные, а также шедовые оболочки в различных вариациях.

В состав типовых проектов, помимо конструкций оболочек, включены передвижная опалубка. В проектах имеются также сведения о технологическом процессе заводского изготовления сборных деталей упомянутых конструкций.

Рис. 7. Технологическая схема изготовления тонкостенных сборных волн свода (Польша)



Весьма рациональным решением, примененным, в частности, для покрытия одного из цехов, зарекомендовала себя конструкция сборной оболочки волнообразного профиля. Стыкование элементов этого покрытия производится внахлестку с применением передвижных лесов. Размеры элементов от 2,5 до 6 м при толщине стенки 5 см.

Особый интерес представляет изготовление этих сборных элементов применения опалубки. Забетонированная волна спустя сутки после извлечения используется в качестве матрицы для бетонирования следующего элемента и т. д. Изоляционным слоем между изделиями служит обильно из жирной глины толщиной 3—4 мм. Как показал опыт, этой изоляции достаточно для свободного извлечения отформованного элемента из матрицы (рис. 7).

В Венгрии пространственные конструкции широкого распространения не получили. Из железобетонных конструкций здесь преимущественно применяются сборные рамы, фермы Виренделя и фахверковые плоские конструкции. Необходимо отметить, что в развитии этих конструкций активную роль сыграли строители Венгерской Народной Республики добились больших успехов.

Из наиболее интересных тонкостенных сооружений, осуществленных в Венгрии, можно отметить железобетонные градирни в форме гиперболических параболоидов. Применяются также желобчатые арочные оболочки, сходные по своим конструктивным и технико-экономическим показателям с теми, которые внедрены в Чехословакии.

Строительство тонкостенных оболочек в Германской Демократической Республике последние годы развивалось по пути применения разработанных ранее, хорошо известных конструкций и методов расчета.

Заканчивая краткий обзор состояния строительства пространственных сооружений в социалистических странах, следует отметить широкое применение типовых решений и использование принципа сборности в конструкциях, причем предпочтение отдается оболочкам двойной кривизны. Предварительное напряжение конструкций встречается редко.

Большое внимание обращено также на рациональную организацию производства работ и применение механизированной передвижной лески и подмостей.

#### IV

В Англии, в противоположность другим странам, применение пространственных конструкций за последний период начало заметно сокращаться, хотя общее число зданий и сооружений, покрытия которых выполнены по принципу тонкостенных оболочек, все же остается достаточно высоким. По произведенным подсчетам, около 8% построенных за последний период промышленных зданий имеют тонкостенные оболочки.

Английские строители считают, что конечная стоимость пространственной конструкции не оправдывает ее применения. Слишком дорогостоящими являются сложная опалубка, кружала и другие вспомогательные конструкции.

Стоимость проектирования, учитывая индивидуальный характер объекта, достаточно высока.

Стандартизацией и типизацией пространственных конструкций государственные организации, ни частные фирмы в Англии не занимаются.

В этой стране оболочки в основном применяются для покрытия промышленных сооружений, хотя имеются примеры их использования в зданиях культурно-бытового назначения.

Основной тип покрытий — сборная или монолитная шедовая оболочка, опирающаяся в большинстве случаев на сборной железобетонный рамный каркас.

В качестве характерного примера укажем на здание мастерских чешского колледжа в Халла, имеющего размеры в плане 94×58 м. Опирается на шедовыми оболочками пролетами по 7,2 м.

Несущий рамный каркас собирается из двух элементов: стойки и наклонным ригелем и отдельным (сборным) криволинейным ригелем. Элементы имеют напряженное армирование. После сборки каркас представляет собой восьмипролетную неразрезную рамную конструкцию.

Элементы самой сборной оболочки имеют размеры в плане 7,2×4,8 м при толщине стенки 6,3 см. Таким образом, монтажный вес элемента составляет примерно 6 т.

Оболочки двойной кривизны не нашли в Англии широкого применения, все же некоторое количество этих конструкций было осуществлено в литературе. Примером может служить сферическая прямоугольная в плане оболочка покрытия актового зала в Кидбруке. Железобетонная оболочка размерами 35×22 м имеет толщину стенки 7,5 см и опирается на предварительно напряженные железобетонные балки, расположенные по периметру перекрываемого здания.

В Голландии наибольшим распространением пользуются шедовые оболочки с напряженными краевыми элементами и консольные — так называемые «Баттерфляй». Последний тип применяется для покрытия железнодорожных платформ пассажирских зданий.

В Бельгии чаще всего также можно встретить цилиндрические оболочки с обычным или напряженным армированием, а также лотковые с мембранно-цилиндрическими затяжками пролетом до 60 м.

Известный интерес представляет проект бельгийского павильона строительного искусства на Брюссельской международной выставке 1958 г. Это сооружение полностью решено в тонкостенных железобетонных пространственных конструкциях.

В скандинавских странах первые пространственные сооружения появились в конце тридцатых годов. Отмечая наиболее интересные из осуществленных за последнее время сооружений, следует упомянуть покрытие театра радио и зрительного зала клуба в Копенгагене, здание театра в Осло и одного из корпусов завода Строммена (Норвегия), многоволновую оболочку покрытия фабрики нейлона (Дания), эллиптическую оболочку покрытия станции метро в Стокгольме, а также оболочку двойной кривизны покрытия трибуны стадиона в Эсбьерге (Дания). Последнее сооружение представляет известный интерес, и на нем следует остановиться несколько подробнее.

Основной несущей конструкцией трибуны являются криволинейно-ферменные железобетонные рамы. Каждая рама, опираясь одним концом на фундамент, образует консольный вылет в 11,5 м. Монтажным элементом этой сборной конструкции служит сама рама весом 15 т. Армированные конструкции предварительно напряжены. Пролеты между рамами шириной 5 м перекрываются сводчатыми оболочками толщиной 60 мм. Монтаж и установка в проектное положение опорных конструкций производилась при помощи порталного крана, а промежуточные оболочки бетонируются на месте в стальной передвижной опалубке.

Отмеченное сооружение является характерным примером применения в практике сборно-монолитного метода возведения железобетонных конструкций.

В Швеции и Финляндии строительство оболочек было начато значительно позднее. Первые пространственные сооружения были осуществлены

только в конце сороковых годов. Наиболее часто встречающимися типами являются цилиндрические оболочки: одноволновые и многоволновые. Напряженное армирование тонкостенных конструкций в этих странах начали применять только в последнее время.

Применение пространственных конструкций в Германии и Австрии имеет значительную по сравнению с другими государствами давность. Первое покрытие, решенное в виде оболочки, относится еще к 1922 году. Конструкция этой оболочки была запроектирована по системе Целлера и Дивидга.

Вскоре после этого был разработан и осуществлен ряд пространственных покрытий, прямоугольных в плане, для промышленных и других зданий.

Характерной отличительной чертой этих первых сооружений является широкое использование диафрагмы для придания жесткости тонкостенным, легко деформирующимся поверхностям оболочки рассматриваемого типа, между диафрагмами поверхность цилиндрической оболочки рассматривается как балка с большим моментом инерции, работающая на изгиб.

Во избежание появления местных изгибающих моментов необходимо обеспечить точное выполнение криволинейной поверхности оболочки.

Примерами осуществленных в тот период времени сооружений являются: крытия зала Шварцвальда в Карлсруэ. Здание покрыто тонкостенной железобетонной оболочкой, имеющей поверхность гиперболического параболоида. В продольном направлении пролет равен 87 м, поперечном — 48 м при толщине 58 мм.

За основу теории расчета этих конструкций было принято идеальное упругое состояние, что, в свою очередь, вызвало необходимость принятия ряда практических мер при их осуществлении. Основным из них является предохранение конструкции от возникновения трещин в железобетонных оболочках. В связи с этим строго нормировалась величина допускаемых растягивающих усилий.

Тонкостенным оболочкам, в силу их незначительной толщины, угрожает опасность выпучивания стенки. Это, в свою очередь, резко увеличивает величину изгибающих моментов, потеря устойчивости и в конечном счете — к обрушению.

В связи с этим, как показал опыт, в длинных оболочках всегда приходится считаться с взаимозависимостью между радиусом кривизны оболочки, толщиной ее стенки и расстоянием между диафрагмами жесткости. Практическое расширение этих границ возможно путем введения в конструкцию дополнительных вставочных ребер или за счет применения напряженного армирования.

В качестве примера дальнейшего развития отмеченной выше системы можно указать на здание ангара, покрытого цилиндрической оболочкой с пролетом 45 м, и помещение для выставки в городе Мюнхене. Выставочный павильон имеет размеры в плане 40×120 м. Покрытием служит гладкая цилиндрическая оболочка с радиусом кривизны 75 м. Оболочка сооружения имеет напряженное армирование.

Недавно в Кобленце сооружено покрытие железнодорожной платформы, решенное в виде консольной оболочки общим пролетом 13,5 м.



Рис. 8 Проект нового рынка в Гамбурге (ФРГ)

Рис. 8 Проект нового рынка в Гамбурге (ФРГ). Это уникальное сооружение является безусловно характерным примером пространственных сооружений как в Западной Европе, так и за океаном. Распор воспринимается опорным железобетонным кольцом, опирающимся на наружные стены здания.

Весьма эффективным и интересным сооружением является здание рынка в Гамбурге, решенное в виде трех параллельно расположенных железобетонных оболочек.

Это сооружение представляет собой весьма значительных размеров железобетонную свод-оболочку, треугольную в плане, опирающуюся на три точки, расположенные в вершинах углов. Свободный пролет между оболочками составляет 218 м.

По своим масштабам этот свод оставил позади все ранее осуществленные пространственные сооружения как в Западной Европе, так и за океаном. Геометрические формы свода представляют собой три примыкающие друг к другу треугольные поверхности, выгнутые по дуге параболы и образующие в комплексе трехопорный свод высотой в замке 51,1 м. Площадь свода составляет 27 000 м<sup>2</sup>.

В конструктивном отношении стенка свода состоит из двух волнообразных тонких железобетонных оболочек, раздвинутых на расстояние 1,8 м.

только в конце сороковых годов. Наиболее часто встречающимися типами являются цилиндрические оболочки: одноволновые и многоволновые. Напряженное армирование тонкостенных конструкций в этих странах начали применять только в последнее время.

Применение пространственных конструкций в Германии и Австрии имеет значительную по сравнению с другими государствами давность. Первое покрытие, решенное в виде оболочки, относится еще к 1922 г. Конструкция этой оболочки была запроектирована по системе Циолковского.

Вскоре после этого был разработан и осуществлен ряд пространственных покрытий, прямоугольных в плане, для промышленных и общественных зданий.

Характерной отличительной чертой этих первых сооружений является использование диафрагмы для придания жесткости тонкостенным оболочкам. В промежутках между диафрагмами, равноудаленными друг от друга, легко деформирующиеся поверхности оболочки рассматриваются как балка с большим моментом инерции, работающая на изгиб. В местах укладки напряженных арматурных стержней.

Во избежание появления местной изгибающей поверхности оболочки крытия зала Шварцвальда в Карлсруэ. Здание покрыто тонкостенной оболочкой, имеющей поверхность гиперболоида. В продольном направлении пролет равен 87 м, поперечном — 48 м при толщине 58 мм.

За основу теории расчета этих конструкций было принято идею распора, воспринимаемого опорным железобетонным кольцом, опирающимся на наружные стены здания. Основными из них являются весьма эффективным и интересным сооружением является здание нового рынка в Гамбурге, решенное в виде трех параллельно расположенных железобетонных оболочек.

Тонкостенным оболочкам, в силу их незначительной толщины, временного использования архитектурных возможностей железобетона угрожает опасность выпучивания стенки. Это, в свою очередь, ведет к резкому возрастанию величины изгибающих моментов, потере устойчивости и в конечном счете — к обрушению.

В связи с этим, как показал опыт, в длинных оболочках всегда необходимо предусматривать жесткую диафрагму между радиусом кривизны оболочки, толщиной ее стенки и расстоянием между диафрагмами путем введения в вершинах углов. Практическое расширение этих границ возможно путем введения дополнительных дополнительных ребер или за счет применения напряженного армирования.

В качестве примера дальнейшего развития отмеченной выше системы можно указать на здание ангара, покрытого цилиндрической оболочкой, пролетом 45 м, и помещением для выставки в городе Мюнхене. Покрытием является павильон имеет размеры в плане 40×120 м. Оболочка с радиусом кривизны 75 м. Покрытие имеет напряженное армирование.

Недавно в Кобленце сооружено покрытие железнодорожной платформы, решенное в виде консольной оболочки общим пролетом 13,5 м.



Рис. 8 Проект нового рынка в Гамбурге (ФРГ)

только в конце сороковых годов. Наиболее часто встречающимися являются цилиндрические оболочки: одноволновые и многоволновые. Применяется также и напряженное армирование тонкостенных конструкций в этих странах, но применяется только в последнее время.

Применение пространственных конструкций в Германии и Австрии имеет значительную по сравнению с другими государствами давность. Первое покрытие, решенное в виде оболочки, относится еще к 1910 году. Конструкция этой оболочки была запроектирована по системе Л. Динвидаг.

Вскоре после этого был разработан и осуществлен ряд пространственных покрытий, прямоугольных в плане, для промышленных и общественных зданий.

Характерной отличительной чертой этих первых сооружений является в использовании напряженного армирования, благодаря чему отпадает необходимость в использовании диафрагмы для придания жесткости тонким, легко деформирующимся поверхностям оболочек. В промежутках между диафрагмами поверхность цилиндрической оболочки рассматривается как балка с большим моментом инерции, работающая на изгиб.

Во избежание появления местных изгибающих моментов необходимо также отметить своеобразное конструктивное решение оболочки покрытия зала Шварцвальда в Карлсруэ. Здание покрыто тонкостенной оболочкой, армированной железобетоном, имеющей поверхность гиперболической параболоиды. В продольном направлении пролет равен 87 м, в поперечном — 48 м при толщине 58 см.

Примерами осуществления криволинейной поверхности оболочки являются также покрытие вагоноремонтного цеха в городе Кельне, покрытое тонкостенной оболочкой, армированной железобетоном, имеющей поверхность гиперболической параболоиды. В продольном направлении пролет равен 87 м, в поперечном — 48 м при толщине 58 см.

За основу теории расчета этих конструкций было принято идею распора, воспринимаемого опорным железобетонным кольцом, опирающимся на наружные стены здания. В свою очередь, вызвало необходимость в ряде практических мер при их осуществлении. Основным из них является предохранение конструкции от возникновения трещин в железобетонных оболочках.

В связи с этим, как показала практика, в длинных оболочках всегда необходимо предусмотреть вводы арматуры в железобетонные оболочки. Это, в свою очередь, ведет к увеличению расхода арматуры и, следовательно, к увеличению стоимости. Поэтому в настоящее время в железобетонных оболочках предусматривается армирование в виде арматурных стержней, работающих на изгиб.

В качестве примера дальнейшего развития отмеченной выше системы пространственных сооружений можно указать на здание ангара, покрытого цилиндрической оболочкой, пролетом 45 м, и помещением для выставки в городе Мюнхене. Выстроенный павильон имеет размеры в плане 40×120 м. Покрытие состоит из тонкостенной цилиндрической оболочки с радиусом кривизны 75 м. Оба сооружения имеют напряженное армирование.

Недавно в Кобленце сооружено покрытие железнодорожной платформы, решенное в виде консольной оболочки общим пролетом 13,5 м.



Рис. 8 Проект нового рынка в Гамбурге (ФРГ)

Этот тип конструкции является повторением ранее осуществленного покрытия платформы восточного вокзала в Мюнхене. Отличительной чертой новой конструкции является использование напряженного армирования, благодаря чему отпадает необходимость в использовании диафрагмы для придания жесткости тонким, легко деформирующимся поверхностям оболочек. В промежутках между диафрагмами поверхность цилиндрической оболочки рассматривается как балка с большим моментом инерции, работающая на изгиб.

Во избежание появления местных изгибающих моментов необходимо также отметить своеобразное конструктивное решение оболочки покрытия зала Шварцвальда в Карлсруэ. Здание покрыто тонкостенной оболочкой, армированной железобетоном, имеющей поверхность гиперболической параболоиды. В продольном направлении пролет равен 87 м, в поперечном — 48 м при толщине 58 см.

Примерами осуществления криволинейной поверхности оболочки являются также покрытие вагоноремонтного цеха в городе Кельне, покрытое тонкостенной оболочкой, армированной железобетоном, имеющей поверхность гиперболической параболоиды. В продольном направлении пролет равен 87 м, в поперечном — 48 м при толщине 58 см.

За основу теории расчета этих конструкций было принято идею распора, воспринимаемого опорным железобетонным кольцом, опирающимся на наружные стены здания. В свою очередь, вызвало необходимость в ряде практических мер при их осуществлении. Основным из них является предохранение конструкции от возникновения трещин в железобетонных оболочках.

В связи с этим, как показала практика, в длинных оболочках всегда необходимо предусмотреть вводы арматуры в железобетонные оболочки. Это, в свою очередь, ведет к увеличению расхода арматуры и, следовательно, к увеличению стоимости. Поэтому в настоящее время в железобетонных оболочках предусматривается армирование в виде арматурных стержней, работающих на изгиб.

В качестве примера дальнейшего развития отмеченной выше системы пространственных сооружений можно указать на здание ангара, покрытого цилиндрической оболочкой, пролетом 45 м, и помещением для выставки в городе Мюнхене. Выстроенный павильон имеет размеры в плане 40×120 м. Покрытие состоит из тонкостенной цилиндрической оболочки с радиусом кривизны 75 м. Оба сооружения имеют напряженное армирование.

Недавно в Кобленце сооружено покрытие железнодорожной платформы, решенное в виде консольной оболочки общим пролетом 13,5 м.

Оболочки связаны между собой системой взаимно пересекающихся ребер. Расстояние между ними в замке свода достигает 7 м. В области теории и конструирования оболочек советские специалисты ведут большую исследовательскую работу. Цель ее — обобщить опыт переноса на оболочки, связанные с расчетами оболочек. В нашей стране разработана скорлупа оболочек бетонировалась на месте в деревянной опалубке. Двойная теория расчета оболочек.

Элементы внутреннего каркаса смонтированы из сборных элементов. Очередной неотложной задачей является разработка практических рекомендаций по расчету оболочек, расчетных таблиц, диаграмм и графиков.

Сооружение опирается на три бетонных массива, заложённых в основании. У нас в Советском Союзе в последние годы в ряде научно-исследовательских институтов ведется работа по изучению и проектированию пространственных тонкостенных конструкций. К числу этих организаций относятся Ленинградский филиал АСИА, Проектный институт Министерства строительства РСФСР, ГПИ 6, Министерства легкой промышленности и ряд других.

В Ленинграде по чертежам проектного института Минстроя РСФСР каждый раз металлических поддерживающих конструкций. Погонная масса оболочки двойкой кривизны  $18 \times 18$  м и на устройство одной очереди временных поддерживающих конструкций  $40$  м. Тем же институтом запроектирована сборная свод-оболочка с площадью  $100$  м<sup>2</sup>, находящаяся в настоящее время в процессе испытания.

Все три фасада свода имеют сплошное остекление общей площадью  $17\,000$  м<sup>2</sup>. Ленинградском филиале АСИА проводится работа по изучению и проектированию армоцементных тонкостенных конструкций с минимальной толщиной стенок. Некоторые из этих конструкций осуществлены ленинградскими строителями.

В большинстве стран можно встретить покрытия, решенные в армоцементных тонкостенных оболочках, не только в зданиях промышленного назначения, но и в общественных зданиях. Надо полагать, что уже в ближайшие годы пространственные тонкостенные оболочки завоевали прочное и устойчивое положение в строительной практике подавляющего большинства стран мира. В Ленинграде в настоящее время в процессе испытания армоцементных тонкостенных конструкций с минимальной толщиной стенок. Некоторые из этих конструкций осуществлены ленинградскими строителями.

В большинстве стран можно встретить покрытия, решенные в армоцементных тонкостенных оболочках, не только в зданиях промышленного назначения, но и в общественных зданиях. Надо полагать, что уже в ближайшие годы пространственные тонкостенные оболочки завоевали прочное и устойчивое положение в строительной практике подавляющего большинства стран мира. В Ленинграде в настоящее время в процессе испытания армоцементных тонкостенных конструкций с минимальной толщиной стенок. Некоторые из этих конструкций осуществлены ленинградскими строителями.

В большинстве стран можно встретить покрытия, решенные в армоцементных тонкостенных оболочках, не только в зданиях промышленного назначения, но и в общественных зданиях. Надо полагать, что уже в ближайшие годы пространственные тонкостенные оболочки завоевали прочное и устойчивое положение в строительной практике подавляющего большинства стран мира. В Ленинграде в настоящее время в процессе испытания армоцементных тонкостенных конструкций с минимальной толщиной стенок. Некоторые из этих конструкций осуществлены ленинградскими строителями.

Вместе с тем, — это подчеркнул и конгресс, состоявшийся в Осло до сегодняшнего дня некоторые вопросы, связанные с теорией и практикой строительства оболочек, не получили окончательного решения. К числу относится проблема устойчивости, влияние усадки и ползучести, влияние трещинообразования на распределение напряжений и т. д.

В ФРГ и Австрии все расчетные предпосылки основываются на данных, выдвинутых еще в тридцатых годах Фистервальдером, Диншлом и другими исследователями, без анализа разработанных в этих странах новых теоретических данных.

Наряду с этим в Западной Европе, в США и странах Латинской Америки создаются оригинальные сооружения, иногда без серьезного экономического и технического обоснования.

В то же время в Советском Союзе и других социалистических странах ведется планомерное изучение пространственных конструкций, проводятся работы по их типизации и унификации с применением принципа экономии.

## ПУЧКОВАЯ АРМАТУРА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Е. Ф. КУЗЬМИНЫХ  
инженер

Для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций имеется значительное количество различных типов и видов анкеров, которые можно по признакам их применения подразделить на основные группы.

I

Рассмотрим вначале первую группу. К ней относятся пучки, изготовление которых ввиду больших размеров анкерных устройств может быть выполнено только одновременно с монтажом самих изделий. В эту группу входят пучки системы Коровкина (СССР), Фрейсине (Франция), Мань (Бельгия), Моранди (Италия), Фрэнки-Смит (Англия), Хохтлф, Вей Фрейтаг, Гольцман, Фельд и Франке, Леоба (ФРГ), Прелод-Комп (США) и др.

Система А. П. Коровкина (рис. 1) представляет собой мощные армирующие пучки с числом проволок 40—60 диаметром 5 мм, формируемых из нескольких семипроволочных пучков, изготовляемых на ханшизированной установке, с добавкой при необходимости отдельных проволок по окружности.

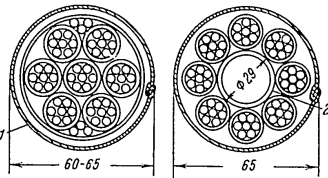


Рис. 1 Сечения мощных армирующих пучков, собранных из нескольких семипроволочных пучков

1 — трубка из кровельного железа, 2 — спираль  $d_n = 29$  мм из проволоки 2 мм

В качестве анкерного устройства, обычно с одного конца, применяется металлический конус с забетонированными концами (тон М-600) в нем загнуты концами проволоки, а другой конец глухой анкер грушевидной формы (рис. 2)

При большой кривизне конструкции пучки со стаканом анкерами на обоих концах. В тесном расположении анкеры на торцах, а также в конструкциях с поперечным делением

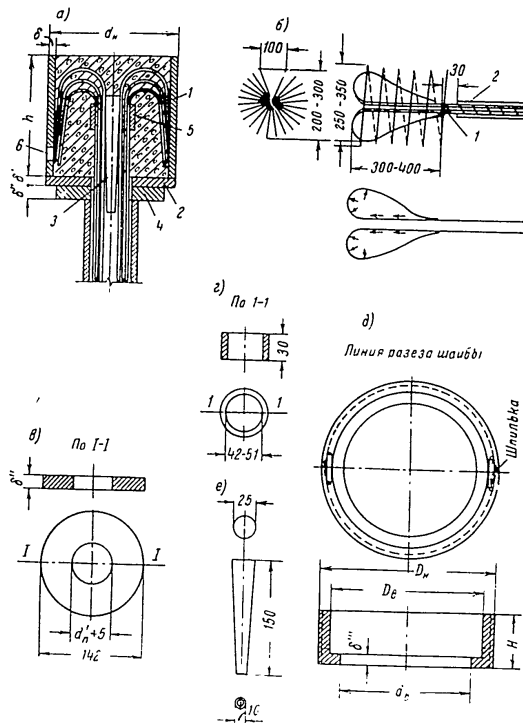


Рис. 2. Конструкция анкеров

а — заделка концов проволок пучка в стаканном анкере: 1 — стакан; 2 — дно; 3 — конический вкладыш; 4 — ограничительная шайба; 5 — обжимное кольцо; 6 — отверстие  $\varnothing 12$  мм; б — конструкция глухого анкера грушевидного очертания: 1 — скрутка; 2 — конопатка; в — ограничительная шайба; г — обжимное кольцо; д — кольцевой захват; е — конический вкладыш

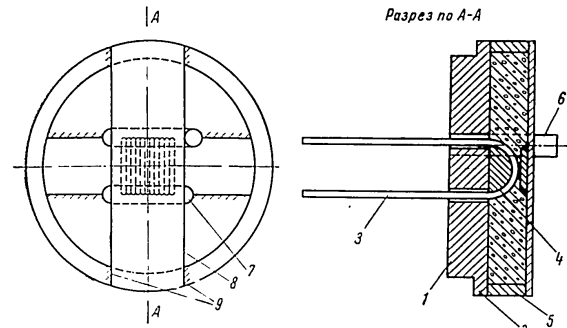
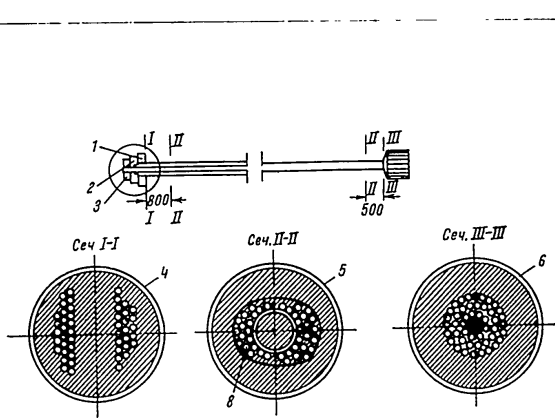


Рис 4 Анкер ограниченной высоты  
1 — днище, 2 — выступ для захвата гидродомкрата, 3 — петлевой пучок, 4 — полукруглый вкладыш, 5 — кольцо, 6 — трубка для инъектирования (временная), 7 — про-  
резы для пропуска проволоки пучка, 8 — прижимная планка сечением 65x10 (времен-  
ная), 9 — сварка

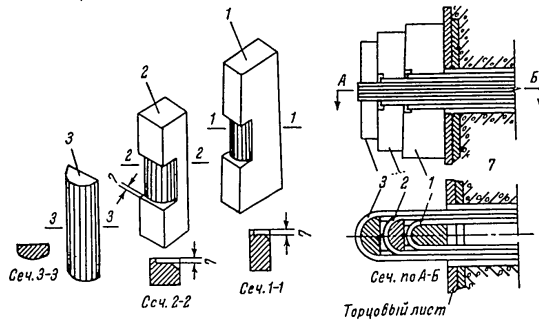


Рис 3 Анкер сборной конструкции  
1 — внутренний сердечник, 2 — средний сердечник, 3 — наружный сердечник,  
4 — сечение вблизи сборного анкера, 5 — основное сечение петлевого пучка,  
6 — сечение пучка около стаканного анкера, 7 — шайба, 8 — спираль

эки применяются пучки с петлевым распо-  
жением проволоки и съемными металличе-  
скими анкерами сборной конструкции на од-  
ну из концов пучка (рис. 3).  
При изготовлении напряженных хомутов  
и многоярусных конструкций применяют  
анкеры ограниченной высоты (рис. 4). Ре-  
комендуемые размеры стаканых анкеров  
таблицы Коровкина приведены в табл. 1.  
Зазор, образующийся при натяжении пуч-  
ка между анкером и торцом конструкции,  
заполняется вилкообразными железобетон-  
ными или стальными шайбами (рис. 5).  
Натяжение пучка производится гидравли-  
ческим домкратом мощностью 90 т с ходом  
штока 200 мм.  
Для предохранения от сцепления в про-  
цессе бетонирования пучок помещается в  
бкн из кровельной стали, заполняемые  
после натяжения цементным раствором.  
Система Маньеля (рис. 6) явля-  
ется одной из наиболее распространенных в

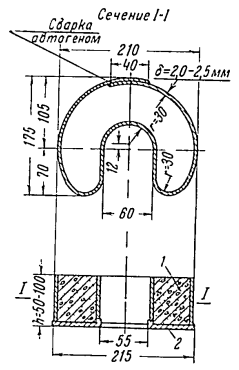


Рис 5. Железобетонная  
закладная шайба  
1 — бетон марки 500, 2 — сталь-  
ная шайба толщиной 10 мм



Кол-во проволок в пучке <sup>1</sup>	Стакан			Длинные стаканы		Кольцевой захват					Ограничительные шпильки
	$d_n$	$h$	$z$	$d_n$	$z'$	$D_n$	$D_b$	$d_n$	$H$	$z''$	
40 — 48	168	130	5	168	12	200	170	148	60	14	142
50 — 58	168	150	5	168	12	200	170	148	70	16	142

<sup>1</sup> В числителе количество проволок  $\phi 5$  ( $\sigma_p = 120 \text{ кг/мм}^2$ ), а в знаменателе  $\phi 4$  ( $\sigma_p = 140 \text{ кг/мм}^2$ ). Буквенные обозначения см на рис 2

зарубежной практике. Арматурный пучок состоит из 16—64 проволок расположенных горизонтально и вертикально. Ряды этих проволок охватываются прокладками. Для предохранения от сцепления с бетоном пучок охватывается в кожух из листовой стали, заполняемый в дальнейшем раствором путем инъектирования.

Натянутые проволоки закрепляются в пазах стальных пластин клинь попарно. При этом в пластине имеется четыре паза (по два с каж

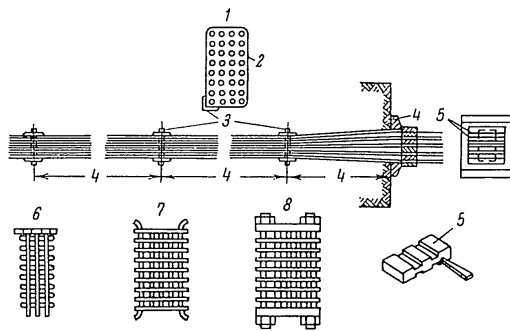


Рис. 6. Натяжение и анкеровка арматурных пучков по способу Маньеля (Бельгия)

1 — поперечное сечение пучка; 2 — кожух из листовой стали; 3 — зажимы; 4 — упорная металлическая плита; 5 — анкерные плиты; 6 — вертикальные прокладки; 7 — горизонтальные прокладки; 8 — вид с торца

78

Таблица 1. В паз помещаются две проволоки. Пластины с клиньями вставляются внутрь специальной рамки и упираются в торцовую плиту, которая обеспечивает равномерное распределение усилия на бетон конструкции.

Уклон клиньев принимается 1 : 10 — 1 : 15, клинья и пластины в результате термической обработки доведены до твердости  $R_c = 52 \div 58$ .

Одновременно гидродомкратом мощностью 4—5 т натягивается по две проволоки. Клинья закрепляются молотком или с помощью домкрата. Ввиду больших размеров анкерных устройств система Маньеля непригодна в изделиях с малыми размерами торцовых частей.

Другими недостатками ее являются большой расход металла и длительность процесса натяжения. Основные размеры анкерных устройств приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число проволок диаметром 5 мм в пучке	Размеры опорной плиты		Вес анкера в кг	Расчетное усилие натяжения пучка в т	Различное усилие пучка в т	Примечание
	высота	ширина				
16	128	130	11,0	30,5	47	$\sigma_p = 15000 \text{ кг/см}^2$
24	156	160	24,0	45,8	70,5	
32	196	170	33,5	61	94	
40	230	180	45,3	76,5	117,5	
48	262	190	59,3	91,5	141	
56	290	200	68,9	107	164,5	
64	315	210	80,7	122	188	

Система Фрейсине. Широкое распространение в зарубежной практике получил арматурный пучок системы Фрейсине, состоящий из проволок, концентрично расположенных в один ряд вокруг стальной проволочной спирали, служащей сердечником, предназначенным для сохранения правильной формы пучка при изгибе. Снаружи пучок перевязывается мягкой стальной проволокой диаметром 1,5—2 мм. Спираль изготовляется из среднеуглеродистой проволоки диаметром 1,5—2,5 мм (в зависимости от диаметра проволок в пучке) с шагом 30 мм при прямолинейном пучке и 10 мм при пучке, изогнутом по дуге круга с радиусом, равным 8000 м и менее.

Радиус изгиба криволинейных пучков принимается не менее 1200 мм, причем перед анкером пучок должен иметь прямолинейный участок длиной не менее 100 мм.

Подобно системам Коровкина и Маньеля пучки Фрейсине заключаются в оболочку, которая может быть выполнена из листовой стали толщиной 0,4 мм, водонепроницаемой бумаги, пропитанной битумом, плаки и пр.

79

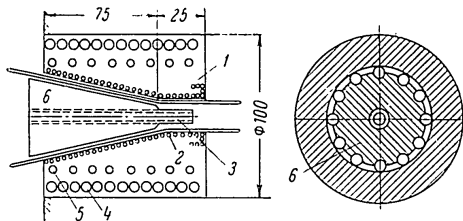


Рис. 7. Анкерное устройство двойного действия, в котором один из цилиндров производит натяжение закрепленного на нем пучка арматуры, а другой — запрессовку внутреннего конуса при натяжении проволоки.

1 — бетон марки СМ-539; 2 — спираль из проволоки  $\varnothing$  2,5 мм; 3 — трубка для натяжения пучка арматуры; 4 — спираль из проволоки  $\varnothing$  6 мм; 5 — спираль из проволоки  $\varnothing$  5 мм; 6 — бетонный конус.

Патентование анкерного устройства производится при помощи гидродомкрата двойного действия, в котором один из цилиндров производит натяжение закрепленного на нем пучка арматуры, а другой — запрессовку внутреннего конуса при натяжении проволоки.

Характеристика отечественных гидродомкратов двойного действия дана в табл. 4.

Таблица 4

Индекс домкрата	Типовое усилие в т	Ход поршня в мм	Привод насоса	Рабочее давление (максимальное) в ат	Количество и диаметр одновременно натягиваемых проволок	Усилие запрессовки конуса в т	Габариты			
							длина в мм	ширина в мм	высота в мм	вес в кг
СМ-539	15	100	Ручной	300	До 5 $\varnothing$ 5	8,5	607	165	—	35
СМ-529	60	300	Электрический	300	До 18 $\varnothing$ 5	23,5	1400	1340	1765	163
Гидродомкрат	40	250	"	300	До 12 $\varnothing$ 5	12,7	750	250	250	56

Инъектирование оболочки пучка после окончания натяжения проволок производится через отверстие во внутреннем конусе анкера. Количество проволок диаметром 5 мм в пучке обычно колеблется в пределах 8—18, хотя известны случаи, когда это число доводится до 32. Проволоки пучка после его натяжения закрепляются в анкере (рис. 7), состоящем из обоймы и пробки конусностью 1:4. Обе части анкера изготавливаются из высокопрочного бетона и армируются стальной проволокой. Поверхность конуса и отверстия для него в обойме имеют слегка криволинейное очертание, что обеспечивает более надежное закрепление проволок; на поверхности пробки имеются продольные канавки по числу проволок.

Для натяжения пучка за анкером оставляются концы проволок длиной 700 мм, которые по окончании натяжения обрезаются, загибаются и бетонизируются.

Размеры анкерных устройств системы Фрейссине приведены в табл. 4.

Расстояния между осями арматурных пучков принимаются из условия возможности установки домкрата рядом с анкерным устройством, среднее напряжение сжатия бетона в зоне анкерования составит при этом около 40 кг/см<sup>2</sup>.

Таблица 4

Количество и диаметр проволок в пучке	Размеры наружной обоймы		Конусность	Вес анкера в кг	Расчетное усилие пучка в т	Разрывное усилие пучка в т	Примечание
	диаметр	высота					
8 $\varnothing$ 5	95	100	1:4	1,32 <sup>1</sup> 2,50	15,75	23,5	в а 15 000 кг/см <sup>2</sup>
10 $\varnothing$ 5					19,6	29,3	
12 $\varnothing$ 5					23,6	35,3	
14 $\varnothing$ 5	120	120	1:4	2,44 4,75	27,5	41	
16 $\varnothing$ 5					30,5	47	
18 $\varnothing$ 5					35,35	52,8	
8 $\varnothing$ 7	120	120	1:4	2,55 4,80	30,8	46	
10 $\varnothing$ 7					38,4	57,5	
12 $\varnothing$ 7					46,4	69	

<sup>1</sup> В числителе — вес металлических частей, в знаменателе — общий вес анкера

Усилие, необходимое для запрессовки конуса, может быть определено, исходя из следующих соображений (рис. 8).

Между проволоками и анкерными конусами возникают нормальная сжатия  $N$  и силы трения  $F_1$  и  $F_2$ . Из условия равновесия системы, проектируя силы на образующую конуса, получим:

$$F_1 + F_2 = P.$$

Принимая, что  $F_1 = F_2 = N\mu$ , а  $N = \frac{Q}{\sin \alpha}$ , находим:

$$\frac{2Q\mu}{\sin \alpha} = P; \quad Q = \frac{P \sin \alpha}{2\mu},$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка пучка;

$\alpha$  — угол, равный половине угла конуса;

$\mu$  — коэффициент трения стали по стали, принимаемый равным 0,12—0,15.



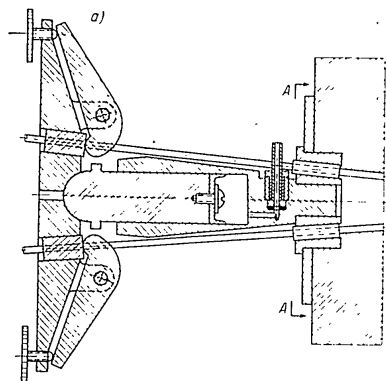


Рис 12 Анкерное устройство, рассчитанное на 16 проволок и гидродомкрат системы Моранди

а — разрез по гидродомкрату, б — разрез по А-А; в — деталь штифта крепления проволоки

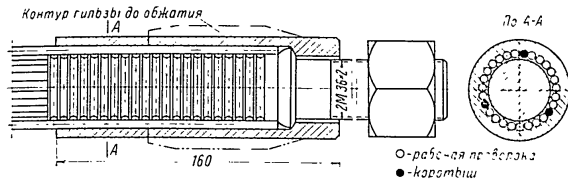
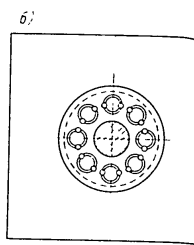


Рис 13 Анкер типа НИИ-200 на 24 проволоки  $\phi$  5 мм

гильзой и стержнем производится путем протягивания собранного пучка через фильер специального гидравлического пресса; при этом гильзы обжимаются вокруг стержня и зацемяляют проволоки. Усилие натяжения пучка передается на бетон через гайку и квадратную шайбу.

Первоначальная конструкция пучка (рис. 13) для оболочки  $40 \times 40$  мм из 24 проволок диаметром 5 мм предусматривала, в соответствии с данными НИИ-200, изготовление стержней с резьбой 2М36Х2 при твердости после термообработки  $R_c = 40-45$ . Проведенные во время монтажа первой оболочки испытания пучков дали ценный материал, приведший к частичному пересмотру конструкции анкерного устройства. В процессе испытания представилось возможным установить ряд интересных с точки зрения практики положений:

1. Усилие протяжки пучка при обжатии гильзы не может служить критерием прочности стержня. Так, например, для пучка из 24 проволок диаметром 5 мм при  $\sigma_p = 15000 \text{ кг/см}^2$  разрушающая нагрузка пучка составила  $\approx 71 \text{ т}$ , а усилие протяжки — только 55 т.

2. Закаленные в одинаковых условиях стержни из Ст. 45 дают большое рассеивание по твердости и соответственно по прочности.

3. Высокая твердость стержней ( $R_c = 40-45$ ) делает их весьма чувствительными к монтажным перекосам, снижающим прочность стержня иногда до 50%.

4. Покупные гайки из Ст. 45 (без термообработки) мало пригодны для использования в арматурных пучках.

На основе этих выводов в пучке для первой оболочки стержни из Ст. 45 были заменены стержнями из качественной стали пружинного типа марки 55С2 той же твердости; под гайки были установлены сферические шайбы для устранения вредного влияния монтажных перекосов.

При проектировании второй оболочки  $40 \times 40$  мм диаметр резьбы стержней был увеличен с 2М36 до 2М42, что позволило уменьшить их твердость до  $R_c = 20-24$ .

В дальнейшем усиленные стержни из стали 55С2 с резьбой 2М42 меж сферическими шайбами (рис. 14) были установлены во всех 30-метровых

Напомним несколько систему Фрейсине, она имеет, на наш взгляд, следующие преимущества: более простое устройство домкрата и его хорошее центрирование при натяжении, выравнивание усилий натяжения в проволоках благодаря наличию шаровой пяты и более надежное закрепление в домкрате, большой диаметр канала в анкер для инъекции цементного раствора и большее количество проволок в пучке (при том же диаметре канала).

По расходу металла эта система экономичнее системы Фрейсине с таллическими анкерными втулками, но в производстве несколько сложнее

II

Теперь перейдем к характеристике пучков второй группы, к которым относятся системы НИИ-200, ББРФ и Поленски-Цельнер. Рассмотрим их по порядку.

Система НИИ-200. Проектный институт Министерства строительства РСФСР использует в подавляющем большинстве эту систему для напряженного армирования сборных железобетонных конструкций

Как известно, пучок типа НИИ-200 представляет собой законченный узел заводского изготовления, в котором закрепление проволок

сборных железобетонных фермах отделочного цеха, где вначале пучков (исходной конструкции) также заставляло желать лучше. Был даже отмечен случай обрыва натянутого криволинейного пучка. Учитывая позднейшие исследования зависимости прочности резьбы от чувствительности к перекосам от допусков на точность изготовления в следующей работе над пучковой арматурой для серии типовых ферм под тяжелые нагрузки, тугая резьба стержней с допуском АШ2/Т2 по ГОСТ 4608-49 была заменена нормальной резьбой 2-го класса точности по ГОСТ/НКТП 1256. Одновременно с этим был увеличен диаметр резьбы стержней с 2М36 до 2М42 и уменьшена твердость с  $R_c = 38-43$  до  $R_c = 19-24$ . Это позволило заменить принятую ранее в типовых фермах марку стали стержней с 45Х на менее качественную Ст. 45. Перечисленные мероприятия значительно повысили надежность пучкового армирования типовых ферм под тяжелые нагрузки.

Накопленный опыт применения пучков типа НИИ-200 позволяет установить примерные границы целесообразности их применения, которые и постараемся показать на двух конкретных примерах из практики проектирования института Министерства строительства РСФСР.

Пучковое армирование затяжки свода оболочки пролетом длиной 100 м для комбината в Автове было запроектировано вначале из пучков, содержащих 24 проволоки диаметром 5 мм при  $\sigma_p = 17\,000 \text{ кг/см}^2$ . Ввиду возможности получения такой проволоки пучки были пересчитаны на  $\sigma_p = 15\,000 \text{ кг/см}^2$ , что потребовало доведения числа проволок до 27, увеличения диаметра гильзы пучка до 65 мм и соответственно увеличения диаметра каналов в опорных секциях оболочки до 70 мм. Это последнее требование, однако, выполнить трудно, исходя из условий общей компоновки оболочки.

Второй пример относится к области типового проектирования. Конструкция фермы пролетом 30 м под нагрузку 450 кг/м потребовала применения пучков из 31 проволоки диаметром 5 мм при  $\sigma_p = 15\,000 \text{ кг/см}^2$ .

Это применение потребовало увеличения диаметра каналов с 65 до 80 мм и не могло быть выполнено без значительного изменения сечения фермы, нарушения взаимозаменяемости в опалубке с менее нагруженными фермами и т. д.

Приведенные примеры показывают, что в сборных железобетонных конструкциях применение пучков НИИ-200 практически рационально при количестве проволок до 24 и в отдельных случаях — до 27.

Параметры разработанных анкеров типа НИИ-200 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Количество и диаметр проволок в пучке	Размеры анкерной гильзы после опрессовки			Вес гильзы, гаек и стержня в кг	Расчетное усилие натяжения пучка в т	Разрывное усилие пучка в т	Примечание
	наружный диаметр	длина	резьба				
14 $\emptyset$ 5	42	150	2М27 $\times$ 1,5	2,27	27,5	41	$\sigma_p = 15\,000 \text{ кг/см}^2$
18 $\emptyset$ 5	50	150	2М33 $\times$ 1,5	3,62	35,35	52,8	
24 $\emptyset$ 5	58	160	2М42 $\times$ 2	6,10	47,2	70,6	
30 $\emptyset$ 5	69	190	2М48 $\times$ 2	11,0	58	88	
36 $\emptyset$ 5	82	220	2М48 $\times$ 2	16,10	70,8	105,9	
10 $\emptyset$ 7	45	210	2М33 $\times$ 1,5	4,03	38,4	57,5	
12 $\emptyset$ 7	50	215	2М36 $\times$ 2	4,17	46,4	69	

Значительно проще в конструктивном отношении и в изготовлении анкерные устройства типа Фрейссинг с цельнометаллическими анкерными втулками, примененные для армирования угловых плит оболочки 40  $\times$  40 м в Автове. Основными частями анкера являются стальная втулка из Ст. 5 и конус из стали 55С2, термообработываемой до твердости  $R_c = 58-62$ .

Конусность анкерной втулки была принята равной 1 : 10. На поверхности закаливаемого конуса были нанесены кольцевые канавки одностороннего пилообразного профиля для лучшего сцепления с проволокой. Для инъекции раствора в конус предусмотрено отверстие диаметром 8 мм. Усилие натяжения передается на бетон анкерной шайбой, удельное давление при этом достигает 130 кг/см<sup>2</sup>. Усилие запрессовки конуса принималось 27% от полного усилия натяжения пучка.

При освоении рассматриваемого анкерного устройства имели место повреждение проволок кромкой конуса при его запрессовке, а также трудность достижения расчетной прочности пучка в связи с неравномерностью натяжения проволок. Если первое затруднение было легко устра-

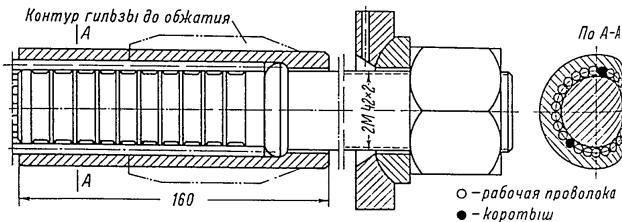


Рис 14. Анкер типа НИИ-200 на 24 проволоки  $\emptyset$  5 мм усиленной конструкции

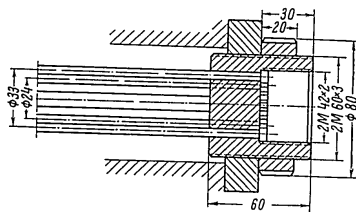


Рис 15 Анкерное устройство ББРФ на 21 проволоке  $\phi$  5 мм

пространство за рубежом. Как видно из рис. 15, закрепление проволоки анкерной втулке производится путем посадки на концах из головок. С наружной поверхности анкерная втулка имеет резьбу, на которую навинчивается кольцевая гайка, передающая усилие натяжения на анкерную плиту. Внутри анкерной втулки имеется резьба, в которую при натяжении ввинчивается шток гидродомкрата.

По простоте устройства, экономичности и возможности создания пучков с большим количеством проволок система ББРФ является одной из лучших и заслуживает широкого распространения в отечественной строительной практике.

Система Поленски-Цельнер (рис. 16) относится к числу простых конструкций арматурных пучков. Закрепление проволок произ-

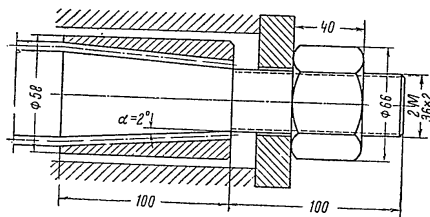


Рис 16. Анкерное устройство Поленски-Цельнер на 18 проволок  $\phi$  5 мм

нено путем закругления кромки конуса, то в отношении второго трудно предположить что-либо конкретное кроме предварительной парной подтяжки проволоки и принятия несколько повышенного коэффициента запаса прочности пучков.

Система ББРФ. Анкерное устройство, разработанное в 1949 г. швейцарскими инженерами Брандестини, Биркенмайер, Рос и Фог (ББРФ), получило за последние годы широкое рас-

пространство за рубежом. Как видно из рис. 15, закрепление проволоки анкерной втулке производится путем посадки на концах из головок. С наружной поверхности анкерная втулка имеет резьбу, на которую навинчивается кольцевая гайка, передающая усилие натяжения на анкерную плиту. Внутри анкерной втулки имеется резьба, в которую при натяжении ввинчивается шток гидродомкрата.

При решении задач, связанных с созданием большепролетных и просторанственных железобетонных конструкций, возникает зачастую необходимость повысить расчетное натяжение арматуры без существенного увеличения размеров сечения сжимаемых элементов. Как показывает практика, это не всегда удается сделать при помощи арматурных пучков конструкции Коровкина, НИИ-200 и др. Требуется разработать более совершенные конструкции арматурных пучков.

Некоторая работа в этом направлении проделана в НИИ-200, Ленинградском Академии строительства и архитектуры СССР, в проектно-институте Минстроя РСФСР.

Анкерное устройство конструкции Н. Е. Носенко (НИИ-200). На рис. 17 показано анкерное устройство арматурного пучка, предложенное канд. техн. наук Н. Е. Носенко, которое состоит только из двух основных частей: стальной гильзы, в которой защемлены проволоки, и гайки.

Проволока зажимается путем обжатия гильзы, одновременно с этим повышается прочность гильзы. Нарезка на гильзе производится после формирования пучка на трубонарезном станке.

Анкерные устройства Носенко значительно компактнее и легче анкеров типа НИИ-200. Они не требуют сложной термической обработки, что облегчает изготовление пучков силами строительных организаций, обычно не располагающих оборудованием для термообработки.

В табл. 6 приведены основные размеры анкеров системы Носенко.

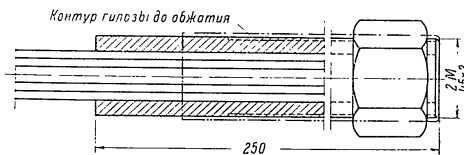
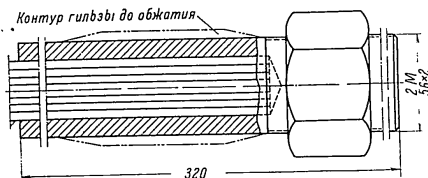
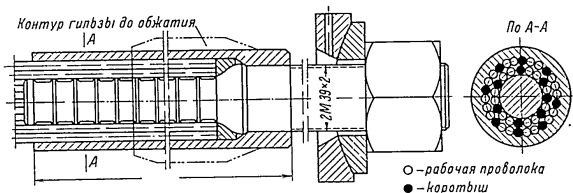


Рис 17 Анкерное устройство Носенко на 21 проволоке  $\phi$  5 мм

Таблица 6

Число проволок диаметром 5 мм в пучке	Размеры анкерной гильзы после обпрессовки			Вес гильзы с гайкой в кг	Разрывное усилие пучка в т	Расчетное усилие натяжения пучка	Примечание
	наружный и внутренний диаметры	длина	резьба				
7	26/15	150	2М26 × 2	0,64	22	13,5	Размеры гильзы по данным Носенко $\sigma_p = 15\ 000\ \text{кг/см}^2$
13	33,5/22	180	2М33 × 2	1,37	40	24,7	
18	40/25	200	2М39 × 2	2,09	55	34,2	
24	45/28	250	2М45 × 2	3,14	72	45,5	

Анкерное устройство Ленинградского филиала АСИА СССР (рис. 18) несколько сходно с анкером, предложенным Н. Е. Носенко, но имеет перед ним существенное преимущество. Конструкция

Рис. 18. Анкерное устройство Ленфильнала АСИА СССР на 31 проволоку  $\varnothing 5\ \text{мм}$ Рис. 19. Анкер типа ПИ-1 с двухслойным расположением 30 проволок  $\varnothing 5\ \text{мм}$  (опытная конструкция)

рукция этого анкера позволяет выполнять нарезку гильзы заранее, пользуясь для этого токарным станком. Обжатие гильзы выполняется аналогично пучкам НИИ-200.

Имеется еще одна усовершенствованная конструкция анкера по типу НИИ-200, разработанная и испытанная проектным институтом Министров РСФСР (рис. 19). Испытания нескольких опытных пучков с двухслойным расположением 30 проволок диаметром 5 мм дали положительные результаты, позволяющие надеяться, что эта конструкция, после соответствующей доводки, найдет широкое применение.

IV

Оборудование для изготовления арматурных пучков новых конструкций. Формирование арматурных пучков типа НИИ-200 производится в настоящее время на специальной установке, предложенной тем же институтом (рис. 20). Устройство ее довольно простое и вряд ли требует пояснений. Целесообразно приспособить ее и для изготовления арматурных пучков и других конструкций, в частности ББРФ.

С этой целью в Ленфильнале АСИА разработана конструкция специального механизма (рис. 21 и 22).

Механизм для формирования пучков ББРФ внешне напоминает заднюю бабку токарного станка и представляет собой поворотный гидравлический цилиндр с кривошипным штоком, на котором устанавливается обжимка, служащая для высадки головок на концах проволок. Передвижение обжимки производится винтовым механизмом, вращение штока червячной парой, подвод и отвод механизма осуществляются при помощи шестеренно-реечной передачи. Крепление анкерной головки и проволоки в процессе высадки головок производится при помощи цапгового зажима, действующего от усилия гидравлического пресса установки. Для зачистки неровных концов проволок предусмотрен электродвигатель с наждачным камнем, устанавливаемый при помощи специального угольника на кривошип штока вместо обжимки для высадки головок.

Приспособления для протяжки гильз арматурных пучков типа НИИ-200 и Носенко на предлагаемой универсальной установке показаны на рис. 23 и 24.

Предлагаемая сравнительно несложная реконструкция установки делает ее более универсальной, облегчит заводское изготовление арматурных пучков, более эффективных в экономическом отношении, более компактных в отношении анкерного устройства и с большим числом проволок.

Так, например, увеличение диаметра у цилиндра установки до 280 мм и диаметра расточки штока поршня до 120 мм позволит изготавливать арматурные пучки типа НИИ-200 с числом проволок до 55 диаметром 5 мм при однослойной укладке и до 100 при двухслойной, а пучки типа Носенко — с числом проволок до 160—180 диаметром 5 мм.

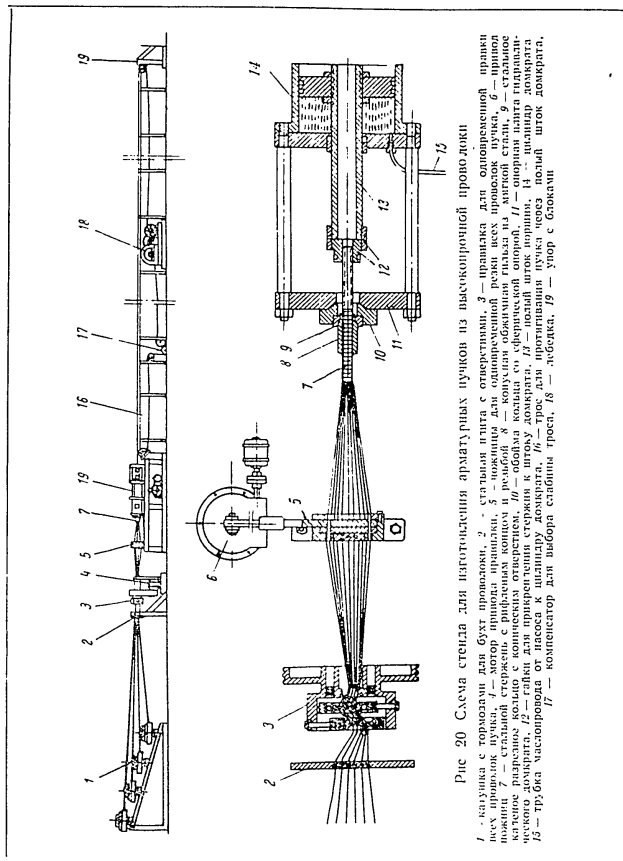


Рис 20 Схема станка для изготовления арматурных пучков из высокопрочной проволоки  
 1 - катушка с торсалами для бухт проволоки, 2 - стальной пульт с отверстиями, 3 - оправка для однострунной проволоки  
 4 - катушка с торсалами для бухт проволоки, 5 - оправка для однострунной проволоки, 6 - оправка для однострунной проволоки  
 7 - оправка для однострунной проволоки, 8 - оправка для однострунной проволоки, 9 - оправка для однострунной проволоки  
 10 - оправка для однострунной проволоки, 11 - оправка для однострунной проволоки, 12 - оправка для однострунной проволоки  
 13 - оправка для однострунной проволоки, 14 - оправка для однострунной проволоки  
 15 - трубка для транспортировки проволоки, 16 - оправка для однострунной проволоки, 17 - оправка для однострунной проволоки  
 18 - оправка для однострунной проволоки, 19 - оправка для однострунной проволоки

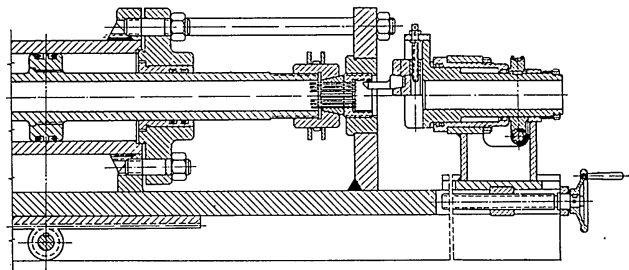


Рис 21 Формирование арматурных пучков ББРФ на специальном прессе (пысадка головок на концах проволоки)

Пучки из 50—70 проволок уже сейчас зачастую требуются при конструировании большепролетных сооружений, потребность в более мощных пучках, а следовательно, и в средствах их формирования обуславливает необходимость создания установок универсального и специального назначения.

Технико-экономические показатели арматурных пучков заводского изготовления, выводы и перспективы дальнейшего развития. По данным Главленинград-

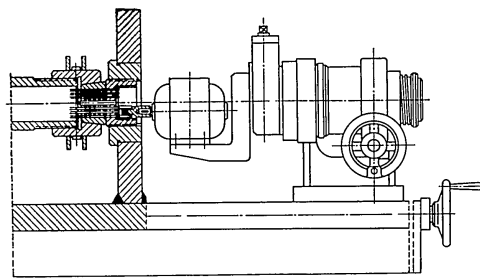


Рис 22 Формирование арматурных пучков ББРФ на специальном прессе (зачистка концов проволоки)



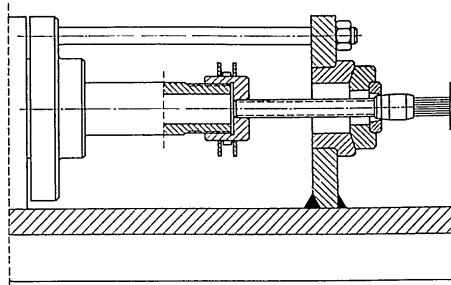


Рис. 23. Формирование арматурных пучков НИИ-200 на специальном прессе

стройка, стоимость арматурных пучков из проволок диаметром 5 мм типа НИИ-200 для 30-метровых ферм комбината строительных деталей в Автостроительстве составляет 17,5% от общей стоимости блоков. Если принять нормальную стоимость 1 м<sup>3</sup> в 530 руб/м<sup>3</sup>, то удельная стоимость арматурных пучков составит уже 25,4%.

Необходимо снизить стоимость арматурных пучков, которая сейчас колеблется в пределах от 2595 до 3461 руб. за 1 т при стоимости высокопрочной проволоки 1590 руб. за 1 т.

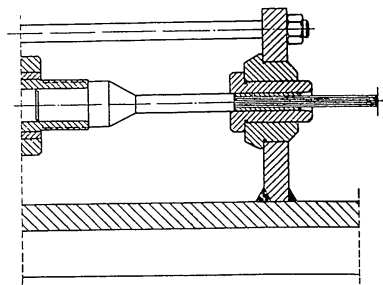


Рис. 24. Формирование арматурных пучков Носенко на специальном прессе

94

Сравнительные данные анкерных устройств приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование величины	Конструкция анкерного устройства			
	НИИ-200	Носенко	ББРФ	Поленски-Цельнер
Количество и диаметр проволок	24 Ø 5	24 Ø 5	24 Ø 5	18 Ø 5
Предел прочности проволоки в кг/см <sup>2</sup>	15 000	15 000	15 000	15 000
Разрушающее усилие пучка в т	71	71	71	52
Диаметр резьбы стержня в мм (штулки для ББРФ)	2М42 × 2	2М45 × 2	2М60 × 2	2М36 × 2
Напряжение в стержне в кг/см <sup>2</sup> (штулка для ББРФ)	5 820	7 700	6 570	5 850
Вес анкера в кг на 1 т разрушающего усилия пучка	0,068	0,044	0,02	0,07
Площадь инъекции в см <sup>2</sup> на 1 т разрушающего усилия пучка	0,4	0,233	0,4	0,57
Диаметр канала в мм	65	52	65	65
Отношение площадей сечения проволок и канала	0,142	0,223	0,142	0,106
Минимальное расстояние между осями пучков в мм	80	85	85	70

Примечание. Данные приведены без учета длины пучка.

Рассмотрение указанных в табл. 7 данных приводит нас к следующим выводам:

1. Худшие показатели в целом в отношении компактности и экономичности имеет система армирования Поленски-Цельнер.
2. Несколько лучшие показатели характеризуют пучки типа НИИ-200.
3. Запроектированный по системе ББРФ пучок заводского изготовления превосходит по своим показателям пучки НИИ-200 и Поленски-Цельнер. Если даже предположить, что принятое в данном случае число проволок завышено в два раза, вес анкера на 1 т несущей способности пучка все же будет в 1,5 — 1,75 раз меньше, чем в пучках НИИ-200 и Поленски-Цельнер, не говоря об экономии арматурной проволоки, обусловленной меньшей длиной пучка в целом. Натяжение пучка при таких условиях будет производиться одинаково для всех систем.

К числу преимуществ пучков ББРФ следует отнести сравнительную простоту их изготовления и значительно лучшее прохождение кривых каналов, что упрощает монтаж сборных конструкций.

4. Весьма высокими технико-экономическими показателями обладают арматурные пучки системы Носенко. Необходимо, однако, отметить, что

95

в этой конструкции между проволоками остаются только зазоры для прохождения раствора. В связи с этим широкое внедрение пучков системы Носенко в строительную практику может быть обеспечено только после тщательного исследования влияния заполнения канала в данных условиях на прочность конструкций.

Кроме того, должна быть проверена возможность изготовления пучков Носенко в промышленных условиях с последующим испытанием опытных образцов на разрыв до разрушения. При получении положительных результатов пучок Носенко, несомненно, может стать одной из самых массовых конструкций в своей области.

## СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

И. Д. ГЕРАСИМОВ  
инженер

Среди решающих факторов, влияющих на сокращение сроков и снижение стоимости строительства, одно из первых мест принадлежит рациональному использованию сборных конструкций промышленного изготовления. Однако, как показывает опыт, решение этой задачи затрудняется многочисленностью этих конструкций и отсутствием надлежащей взаимозаменяемости.

Необходимо сократить количество типоразмеров, разработать номенклатуру строительных элементов, отвечающих их широкому использованию, т. е. обеспечить типизацию строительных конструкций. Решение этой большой и важной задачи зависит от многих факторов.

Чтобы перейти к унификации сборных типовых изделий, в первую очередь потребовалось провести систематизацию и типизацию основных параметров зданий. С этой целью, исходя из максимальной унификации и взаимосвязи, были проанализированы данные строительства, осуществленного в довоенный период.

В ходе исследований представилось возможным установить наиболее эффективные параметры. Так, пролеты от 6 до 18 м были приняты кратными 3 м, пролеты от 18 м и более — кратными 6 м. Шаг колонн оказался равным 6 и 12 м. Высота помещений в зданиях, которые возводятся без кранов, была установлена кратной 1 м в пределах от 4 до 7 м.

В зданиях с крановым оборудованием отметка головки подкранового рельса была установлена кратной 2 м.

Принятые значения исходных параметров допускают различные объемно-планировочные решения зданий. Это создает основу для разработки типовых секций, отвечающих единой модульной системе и принципам унификации строительных конструкций (рис. 1).

Исходным документом для научного обоснования объемно-планировочных решений промышленных зданий являются принятые в 1956 г. «Основные положения по унификации строительных конструкций».

В соответствии с «Номенклатурой и типоразмерами конструкций и изделий для промышленного строительства», утвержденных Госстроем

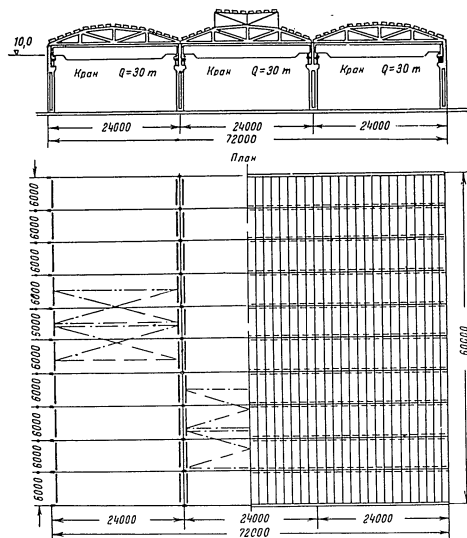


Рис. 1. Типовая секция одноэтажного промышленного здания размером 60×72 м с мостовым краном грузоподъемностью 30 т

СССР в 1955 г., за короткий срок были разработаны сборные типовые конструкции для одноэтажных производственных зданий. Применение типовых решений стало обязательным для проектных и строительных организаций.

При разработке типовых конструкций принимались наиболее рациональные решения, обеспечивающие наименьший расход строительных материалов, широкое использование предварительного напряжения.

98

Однако надо отметить, что как материал конструкций, так и технология изготовления сборных элементов не являются постоянными, а непрерывно совершенствуются, что создает предпосылки к укрупнению принятых параметров зданий.

Поэтому значение параметров, включенных в «Основные положения по унификации строительных конструкций», могут отвечать только определенному периоду строительного производства.

1

Типовые секции одноэтажных промышленных зданий имеют различные решения. Принятие объемно-планировочной схемы в первую очередь зависит от особенностей технологического процесса, принятого данным предприятием, так как это в конечном счете и определяет длину пролетных строений, а также характер используемого кранового оборудования.

К числу основных показателей, определяющих экономичность любой типовой секции одноэтажного промышленного здания, следует отнести расход строительных материалов; последний зависит от принятого объемно-планировочного решения.

Рассмотрим это положение на примере двух схем типовых секций одноэтажных промышленных зданий.

К первой схеме отнесены здания без кранов и здания, оборудованные легкими монорельсами грузоподъемностью до 1 т. Вторая схема представлена зданиями, оборудованными мостовыми кранами грузоподъемностью 5, 10, 15 и 20 т.

В первой схеме для всех рассматриваемых случаев отметка низа фермы принята постоянной и равна 6 м. Во второй постоянной определителем высоты принят верх головки подкранового рельса, равный 8 м.

Шаг колонн для всех рассматриваемых случаев принят 6 м, а длина пролетов — 12, 15, 18 и 24 м.

Анализ охватывает типовые секции от одного до пяти пролетов в пределах, ограниченных линиями температурных швов.

При выборе типовых конструкций существенное значение имеет район строительства, поэтому условно анализ выполнен нами применительно к климатическим условиям г. Москвы. Сборные конструкции принимались в соответствии с «Указаниями по применению сборных железобетонных конструкций и деталей в строительстве» (У-107-56), в том числе:

- а) железобетонные плиты покрытий;
- б) железобетонные фермы и балки, включая диафрагмы жесткости и ригели;
- в) железобетонные колонны с учетом вертикальных связей;
- г) железобетонные подкрановые балки;
- д) рельсовые пути;
- е) железобетонные фундаментные балки;
- ж) металлические фойеры.

В табл. 1 представлены наиболее характерные схемы рассматриваемых одноэтажных промышленных зданий и даны значения расхода стали и бе-

7

99

Таблица 1

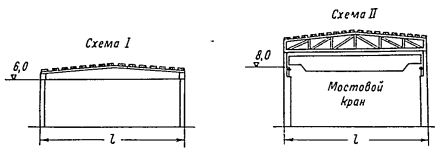
Технико-экономические показатели по типовым секциям одноэтажных промышленных зданий

Технико-экономический анализ расхода строительных материалов, приведенный на 1 м<sup>2</sup> типовой секции для различных схем одноэтажных производственных зданий, выполнен применительно к строительству в г. Москве. Нормативная равномерно распределенная нагрузка на кровлю принята  $P = 380 \text{ кг/м}^2$ . Ветровая нагрузка определена, исходя из условий первого географического района.

Анализ охватывает две схемы объемно-планировочных решений одноэтажных производственных зданий.

К первой схеме отнесены здания без кранов и здания, оборудованные легкими монорельсами грузоподъемностью до 1 т. Отметка низа ферм для всех случаев первой схемы принята 6 м. Ко второй схеме отнесены здания, оборудованные мостовыми кранами грузоподъемностью 5, 10, 15, 20 и 30 т.

Во всех объемно-планировочных решениях второй схемы отметка верха головки подкранового рельса принята 8 м.



Шаг колонн для всех схем принят 6 м. Значения пролетов назначаются 12, 15, 18 и 24 м. Анализ охватывает типовые секции однопролетных одноэтажных промышленных зданий. Размер типовой секции в продольном направлении 60 м.

Условные обозначения

- Железобетонные крупнопанельные плиты для покрытий ГОСТ-7740-55
- Железобетонные балки для покрытий Серия ПК-01-05, в. 1
- Железобетонные балки для покрытий Серия ПК-01-05, в. 1а
- Железобетонные фермы Серия ПК-01-06, в. 1
- Железобетонные колонны Серия КЗ-01-06, в. 1
- Железобетонные подкрановые балки. Серия КЗ-01-13
- Железобетонные подкрановые балки Серия КЗ-01-04, в. 1
- Рельсовые пути Серия КЗ-01-11, в. 1
- Фундаментные балки Серия КЗ-01-01

Приведенный расход стали в кг на 1 м<sup>2</sup> типовой секции

17,39	17,74	46,04	47,27	18,53	19,94	31,21	42,24	16,03	19,09	35,22	36,33	15,59	29,36	30,00	36,69
		1,16	1,16			0,93	0,93								
		11,21	11,21			16,98	2,92			0,7	0,7				
		7,05	6,9			5,6	6,63								
		13,8		0,93	0,93	11,0							0,58	0,58	16,95
		1,16	1,16					0,7	0,7						
		3,42	3,42			2,9	2,28			9,2	8,2		0,58	0,58	8,01
		2,65	2,6			8,3	9,71			2,28	2,28		6,9	6,15	
		2,4													

Приведенный расход бетона в см на 1 м<sup>2</sup> типовой секции

15,11	15,11	23,7	23,7	14,31	14,31	21,1	21,1	13,47	13,47	19,2	21,52	12,50	16,78	18,64	18,28
		2,6				2,08				1,72	1,72				
		3,95				3,16				2,63	3,68				
		8,6	8,28			2,08	6,53		1,72	5,52	6,8		1,3	1,3	1,3
		3,64				2,9			2,42				1,3	1,3	2,76
		2,57				3,03			3,03				1,82	1,82	2,3
		6,3											3,06	2,7	2,3
Пролет (L)															
12 м				15 м				18 м				24 м			
без	Моно-	5 м	10 м	без	Моно-	5 м	10 м	без	Моно-	5-10 м	15-20 м	без	5-10 м	10-15 м	30 м
крана	рельс Q=1 т			крана	рельс Q=1 т			крана	рельс Q=1 т			крана			

тона на  $1 \text{ м}^2$  площади. На основе технико-экономического анализа рассмотренных типовых секций можно сделать следующие выводы:

а) с увеличением размеров пролетов относительный расход стали и бетона уменьшается;

б) расход материалов на элементы кровельного покрытия остается для всех схем почти без изменения;

в) в зданиях с крановым оборудованием расход материалов по сравнению с бескрановыми зданиями увеличивается почти вдвое;

г) показатели расхода материалов в зданиях с одинаковой планировкой, оборудованных мостовыми кранами грузоподъемностью 5, 10, 15, 20 и 30 т, имеют близкие между собой значения.

Необходимо отметить, что таблица дает только общую картину для конкретно принятых схем одноэтажных производственных зданий с конструктивными решениями, нашедшими наиболее широкое распространение. За последнее время разработано много новых типовых и унифицированных предварительного напряжения и высоких марок бетона, а также более совершенной технологии их изготовления.

Остановимся на конструктивных особенностях, а также проанализируем экономическую эффективность конструкции в отдельности.

## II

Кровельное покрытие. При решении типового кровельного покрытия рассматривалась ячейка одноэтажного промышленного здания с размерами сторон в продольном и поперечном направлениях, равными 6, 12 м и 12, 15, 18, 24 м, что соответствует параметрам пролетных строений. При разработке конструктивных элементов за основу была принята двухступенчатая балочная плоскостная система, которая и предопределяет характер покрытия в целом.

При разработке типовых конструкций для одноэтажных производственных зданий в качестве несущих элементов были приняты балки или фермы, а покрытия предусмотрены из крупнопанельных плит. Несущие элементы — балки или фермы при этой схеме могут устанавливаться, как было уже отмечено, через 6 и 12 м (рис. 2, а). При шаге колонн 12 м в систему включаются подстропильные балки (рис. 2, б).

Кровельные покрытия одноэтажных промышленных зданий в зависимости от условий освещения и аэрации внутренних помещений могут быть решены с фонарями.

Балки и фермы. Типовые сборные железобетонные несущие элементы кровельного покрытия могут быть разделены на две группы конструкции, изготовленные стеновым способом. — цельные и составные, требующие до-монтажа укрупнительной сборки.

К первой группе относятся балки пролетом до 18 м как с обычным армированием (серия ПК-01-05), так и с предварительно напряженной арматурой (серия ПК-01-06, вып. 2). Ко второй — балки и фермы, соби-

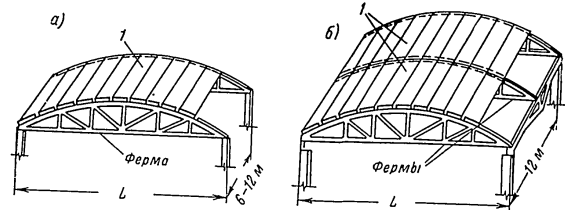


Рис. 2 Покрытие типовой ячейки одноэтажного промышленного здания а — без подстропильной балки, б — с подстропильной балкой, 1 — крупнопанельные плиты

раемые из отдельных блоков. Балки имеют пролеты от 12 до 18 м, фермы — до 30 м.

Армирование конструкций второй группы осуществляется в процессе укрупнительной сборки с последующим натяжением арматуры. Использование принципа сборки конструкции второй группы объясняется транспортными соображениями. Кроме того, членение конструкций на отдельные элементы открывает широкие возможности для сборки балок и ферм любого пролета.

В табл. 2 приведены схемы трех типов ферм для покрытия пролетов от 18 до 30 м. Фермы (серии ПК-01-08) без диафрагмы жесткости и распорок не обеспечивают пространственной устойчивости покрытия, возникает необходимость устройства дополнительных монтажных элементов. Ферма (серии ПК-01-10) и сегментные фермы (серии ПК-01-16) лишены этого недостатка. В сегментной ферме благодаря криволинейному очертанию верхнего пояса достигается возможность сократить высоту каменной кладки наружных стен. В этом ее преимущество перед ранее рассмотренными конструкциями.

Технико-экономические данные, приведенные в табл. 2, позволяют сделать следующие выводы. При пролетах 12—15 м наиболее целесообразно использовать струбетонные балки, изготовленные стеновым способом (серия ПК-01-06, вып. 2), а при пролетах 18—24 м — сборные предварительно напряженные сегментные фермы (серия ПК-01-16, вып. 1).

Подстропильные балки и фермы. При продольном шаге колонн в 12 м и установке несущих элементов через 6 м в пространственную систему кровельного покрытия включаются подстропильные балки или фермы. Подстропильные конструкции, разработанные институтом Промстройпроект, предусмотрены для зданий без подвесного оборудования (рис. 3, а) и с подвесным транспортным оборудованием, перемещающимся как вдоль, так и поперек пролетов (рис. 3, б и в).

Таблица 2  
Приведенные показатели расхода строительных материалов на 1 м<sup>2</sup> площади кровли для конструкций пролетом от 12 до 30 м (при расчетной нагрузке на кровлю 380 кг/м<sup>2</sup>)

Экспликация конструкции	Пролеты (l)					Наименование конструкции и номер альбома типовых конструкций
	12	15	18	24	30	
	2,15 2,95	2,32 3,6	2,34 4,4			Балки струбетонные цельные стенового изготовления (серия ПК-01-06, вып. 2)
	2,6 4,61	2,62 5,32	2,62 6,05			Балки предварительно напряженные, собираемые из блоков (серия ПК-01-07, вып. 1 и 2)
	2,57 6,05	2,96 8,3				Балки цельные стенового изготовления (серия ПК-01-05, вып. 1)
	1,53 5,53	1,84 6,4	1,97 6,3			Шпренгельные фермы (серия ПК-01-03)
			1,76 3,05	2,32 4,95	3,22 6,0	Предварительно напряженные сегментные фермы с треугольной решеткой (техническое решение Ленпромстройпроекта)
			2,13 4,5	2,42 5,55	3,42 7,76	Сборные предварительно напряженные сегментные фермы (серия ПК-01-16, вып. 1)
			3,0 5,8	3,17 6,1	3,42 7,2	Фермы предварительно напряженные, собираемые из блоков (серия ПК-01-08, вып. 1а, 2, 3)
			2,3 4,5	2,73 6,6		Фермы предварительно напряженные, собираемые из треугольных блоков (серия ПК-01-10)

Примечание. В числителе дается приведенный расход бетона на 1 м<sup>2</sup> площади кровли в см; в знаменателе — приведенный расход стали на 1 м<sup>2</sup> площади кровли в кг.

Конструктивное решение предусматривает армирование конструкции пучками из высокопрочной проволоки.

Железобетонные плиты. Типовые плиты в зависимости от длины подразделяются на две группы: длиной 6 и 12 м (рис. 4, а), причем ширина элемента может составлять 1,5 и 3 м. Имеются конструкции с обычной и предварительно напряженной арматурой. Сравнение конструкций показывает, что плиты шириной 3 м несколько экономичнее плит шириной 1,5 м. Так, в плитах длиной 6 м расход бетона снижается на 12—15%, а в плитах длиной 12 м — на 32% по сравнению с плитами шириной 1,5 м.

Среди других железобетонных конструкций представляют интерес плиты сводчатого типа, разработанные б. ЦНИПС (рис. 4, б). Толщина оболочки 3 см, а высота стрелы подъема конструкции 50 см. При

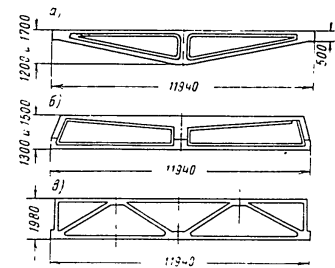


Рис. 3. Типовые конструкции подстропильных балок

а — для зданий пролетом от 12 до 30 м (без подвесного оборудования), б — для зданий пролетом от 12 до 18 м (с подвесным транспортным оборудованием), в — для зданий пролетом от 18 до 30 м (с подвесным транспортным оборудованием)

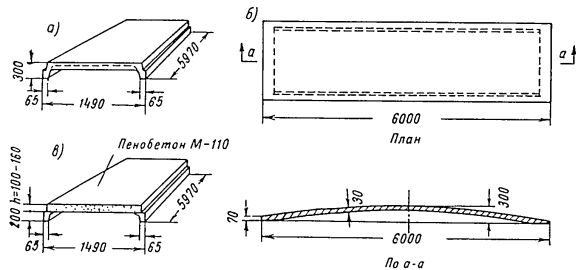


Рис. 4. Типовые конструкции для покрытия кровель одноэтажных промышленных зданий

а — плита крупнопанельная железобетонная по ГОСТ 7740-55, б — плита крупнопанельная армиро- железобетонная по ГОСТ 7741-55, в — плита крупнопанельная сводчатого типа (обычная конструкция ЦНИПС)

длине элемента 6 м по сравнению с плитами типа ПКЖ (ГОСТ 7740-55) бетона расходуется меньше на 20%, а стали — на 45%.

К типовым конструкциям относятся также плиты, выполненные из армопенобетона (ГОСТ 7741-55). Эффективность этих плит (рис. 4, в) определяется использованием несущей способности теплоизоляционного материала.

Показатели расхода строительных материалов, приведенные в табл. 3, подтверждают целесообразность использования указанных плит (ГОСТ 7741-55), так же как и плит конструкции ЦНИПС.

Таблица 3

Приведенные показатели расхода строительных материалов на 1 м<sup>2</sup> площади кровли для крупнопанельных железобетонных плит при расчетной нагрузке на кровлю 380 кг/м<sup>2</sup>

Размер элемента	Наименование элементов	Пролет 6 м		Пролет 12 м	
		Приведенный расход бетона на 1 м <sup>2</sup> кровли в см	Приведенный расход стали на 1 м <sup>2</sup> кровли в кг	Приведенный расход бетона на 1 м <sup>2</sup> кровли в см	Приведенный расход стали на 1 м <sup>2</sup> кровли в кг
Ширина 1,5 м	Плиты крупнопанельные, ГОСТ 7740-55	6,3	5,85	—	—
	Плиты крупнопанельные армопенобетонные, ГОСТ 7741-55	2,67	5,8	—	—
	Плиты крупнопанельные струнбетонные, серия ПК-01-12	6,3	4,42	8,4	6,4
	Плиты сводчатого типа (опытная конструкция ЦНИПС)	5,0	3,25	2,3	5,65
	Плиты крупнопанельные разработаны ГПИ Промстройпроект и ЦНИПС в 1954 г.	4,8	4,61	—	—
Ширина 3 м	Плиты крупнопанельные разработаны Гипротисом ТЧ-51-56 МСПМХП	5,2	6,1	—	—
	Плиты крупнопанельные струнбетонные, серия ПК-01-12, вып. 1	5,2	4,2	—	—
	Плиты крупнопанельные с напряженно армированными брусками (Гипротис)	—	—	5,7	4,0

106

Фонари. К числу типовых решений следует отнести конструкции фонарей, приведенные в альбоме серии ПК-01-03, для пролетных стропил до 18 и более 24 м. В первом случае ширина фонаря принята 6 м, во втором — 12 м. Основным недостатком упомянутого типового решения является принятая конструкция фонарей, запроектированных в металле.

Попытки заменить металл железобетоном предпринимались многими проектными институтами.

На рис. 5, а представлена конструкция фонаря шириной 6 м в виде однопролетной рамы, состоящей из вертикальных стоек и ригелей. Достоинством ее является возможность осуществить армирование с предварительным напряжением. Другая конструкция фонаря (рис. 5, б) такой же ширины решена в виде двух железобетонных треугольных элементов. К недостаткам ее следует отнести неудобства, связанные с сопряжением каркасов при малых сечениях элемента.

Для конструктивного решения фонаря шириной 12 м были предложены крупнопанельные настилы шириной 3 м, опирающиеся на вертикальные стойки, устанавливаемые вдоль пролетного строения. Эта конструкция исключает необходимость устройства продольного ригеля и включает в то же время в работу крупнопанельные настилы (рис. 5, в). Недостатком

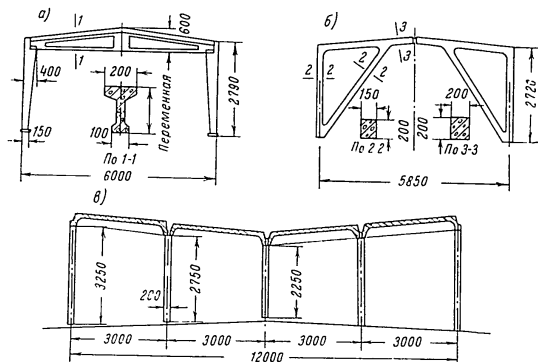


Рис 5 Сборные конструкции фонарных стропил одноэтажных промышленных зданий

а — рамная конструкция фонаря шириной 6 м, б — конструкция фонаря состоящая из треугольных элементов шириной 6 м, в — конструкция фонаря шириной 12 м

8\*

107

конструкции является сложность устройства узлов сопряжения стоек с опорами и пролетным строением несущих элементов.

Из анализа приведенных конструкций можно сделать вывод, что фонари шириной 6 м рационально решать в сборном железобетоне.

**Колонны.** Типовые конструкции колонн одноэтажных производственных зданий, приведенные в альбоме серии КЭ-01-06, вып. 1, 2, 3 и 4, выполнены с соблюдением требований унификации. Конструкции разработаны для зданий, не располагающих кранами и оснащенных кранами грузоподъемностью 5—10, 15—20 и 30 т.

Предусмотрены колонны прямоугольного и таврового сечения (рис. 6, а и б). Экономические преимущества колонн второго типа очевидны и объяснений не требуют.

Поиски более экономичных конструктивных решений колонн, отвечающих требованиям унификации, были осуществлены рядом проектных институтов.

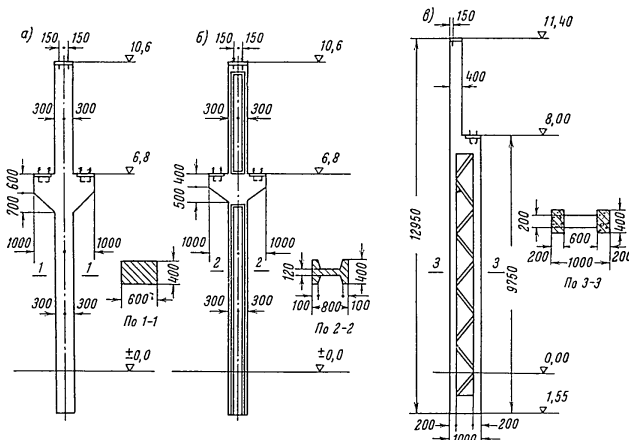


Рис. 6 Сборные железобетонные колонны одноэтажных промышленных зданий  
а — колонна прямоугольного сечения по альбому ПК-01-06 (вып. 1 и 2); б — колонна таврового сечения по альбому ПК-01-06 (вып. 3 и 4); в — двутавовые колонны (конструкция проектного института Минстроя РСФСР)

Интересное решение, в частности, найдено при конструировании колонн, состоящих из двух ветвей с промежуточными раскосами (рис. 6, в); последние изготавливаются отдельно и только при бетонировании ветвей укладываются в опалубку. Замоноличивание выпусков с телом колонн обеспечивает надежную работу конструкции. Раскосы могут быть выполнены как с обычным армированием, так и с использованием предварительно напряженной арматуры.

**Фундаментные балки.** К числу типовых решений фундаментных балок следует отнести конструкции с обычной арматурой (серия КЭ-01-15) и с предварительно напряженной арматурой (альбом типовых чертежей (ТЧ-66-56) (МСПМХП)).

Длина фундаментных балок в типовом решении была принята 5350 и 5950 мм. В соответствии с толщиной стен в 1, 1,5, 2 кирпича предусмотрено три типа сечений балок. Сечения балок (серия КЭ-01-15) изображены на рис. 7, а. В отличие от балок с обычным армированием балки, приведенные в альбоме типовых чертежей (ТЧ-66-56) (МСПМХП), имеют тавровые сечения (рис. 7, б).

Технико-экономический анализ этих двух конструкций балок показывает, что стоимость предварительно напряженных струбетонных фундаментных балок ниже железобетонных балок серии КЭ-10-15 на 18—31%, что в значительной мере объясняется их тавровым поперечным сечением. Применение этих балок сокращает также расход стали.

Сравнительные технико-экономические показатели балок приведены в табл. 4.

Технико-экономические показатели даны для балок с равными расчетными схемами. Индекс БФН имеют балки, приведенные в альбоме типовых чертежей (ТЧ-66-56) (МСПМХП), индекс БФ — балки серии КЭ-01-15.

**Подкрановые балки**  
Типовые конструкции подкрановых балок разработаны для одноэтажных промышленных зданий, располагающих кранами грузоподъемностью 5, 10, 15, 20 и 30 т.

Гипротест еще в 1956 г. в ка-

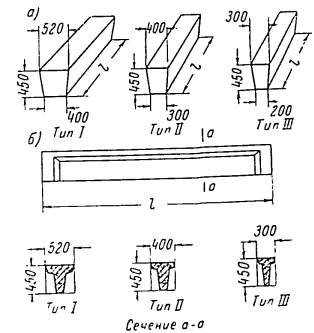


Рис. 7 Типовые сборные фундаментные балки  
а — конструкция балки по альбому КЭ-01-15, б — конструкция балки по альбому МСПМХП



Таблица 4

Технико-экономические показатели фундаментных балок с обычной и предварительно напряженной арматурой

Марка конструкции	Расход бетона	Расход стали	Стоимость в руб		
			бетона	стали	общая
БФН-1	0,82	43,0	254	63,1	317,1
БФ-1	1,23	85,0	350	88,0	438,0
БФН-5	0,63	37,1	195	54,6	249,6
БФ-3	0,94	73,0	269	75,4	344,4
БФН-32	0,46	10,4	143	33,7	176,7
БФ-35	0,60	11,0	195	24,9	219,9

честве типового решения предложил конструкцию балки пролетом 6 м с обычным армированием для кранов грузоподъемностью от 5 до 20 т (серия КЭ-01-03). В этом же году Ленинградский Промстройпроект с участием ЦНИПС создал конструкцию подкрановых балок с предварительно напряженной арматурой для кранов грузоподъемностью от 5 до 30 т (серия КЭ-01-04, вып. 1).

Сравнение экономических показателей и конструктивных особенностей показывает, что балки с предварительно напряженной арматурой несколько выгоднее. Примерная экономия в расходе бетона для балок высотой 80 см составляет 8%, а для балок в 100 см — 16%.

В альбоме серии КЭ-01-04, вып. 2, приведены конструкции подкрановых балок длиной 12 м. Высота элемента принята 1 200 см. Конструкции разработаны для кранов грузоподъемностью от 5 до 15 т.

Фундаменты Типовые сборные железобетонные фундаменты (рис. 8, а) разработаны применительно к одноэтажным промышленным зданиям (серия ОФ-01-01). Ограниченное количество представленных в альбоме типонзделей объясняется прежде всего отсутствием систематизации нагрузок на фундаменты, а также различием грунтовых характеристик.

Поэтому при проектировании оснований промышленных сооружений приходится каждый раз учитывать конкретные условия, решая фундаменты в монолитном железобетоне. Однако внедрение сборного железобетона и здесь имеет место. Интересное решение представляет фундамент, состоящий из двух сборных элементов — плиты и оголовника (рис. 8, б). При монтаже закладные части отдельных элементов свариваются, что обеспечивает надежную работу конструкции.

Требованиям унификации, в частности, отвечают примененные на строительстве завода железобетонных изделий № 5 в Ленинграде фундаменты, смонтированные из отдельных элементов (рис. 8, в). Размеры блоков дают возможность собирать различные типы фундаментов из унифицированных элементов.

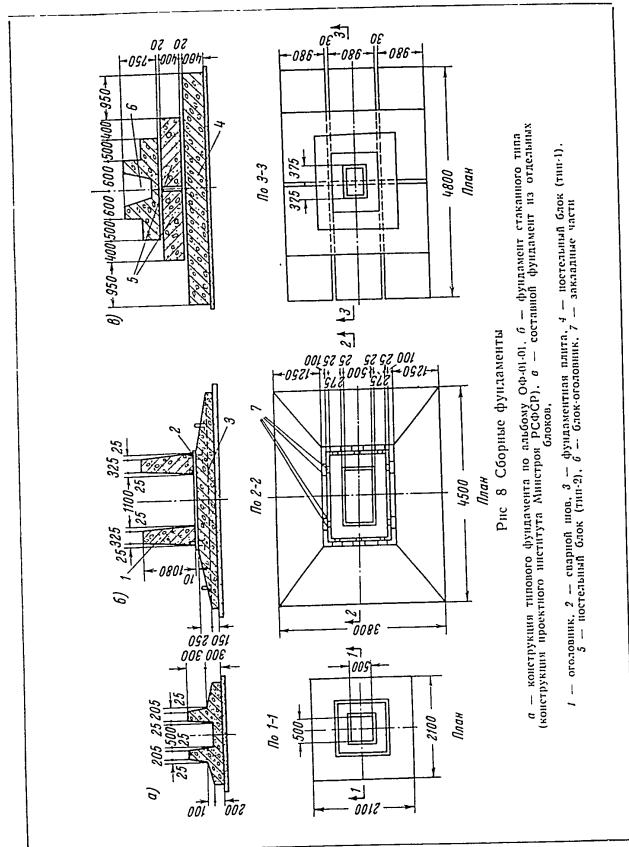


Рис. 8 Сборные фундаменты  
 а — конструкция типового фундамента по альбому ОФ-01-01, б — фундамент стального типа (конструкция проектного института Минстройпроект), в — составной фундамент из отдельных блоков, г — оголовник, д — сварной нож, е — фундаментная плита, ж — постельный блок (тип-1), з — постельный блок (тип-2), и — блок-оголовник, л — закладные части

Облегченные фундаменты монтируются из двух элементов: постельных блоков и блоков-оголовников. В зависимости от расчетных характеристик постельные блоки могут укладываться в один или два ряда. Установка каждого ряда блоков осуществляется по выравниваемому слою цементного раствора соответствующей марки.

Из рассмотренных конструкций сборных железобетонных фундаментов видно, что типизация этих конструкций не нашла еще своего полного решения. Предстоит большая работа по определению характера конструкций и их параметров.

### III

Улучшение типовых конструкций одноэтажных промышленных зданий неразрывно связано с переходом к пространственным тонкостенным сооружениям, с сокращением расхода строительных материалов, использованием в конструкциях более высоких марок стали и бетона. При этом необходимо добиться упрощения способов предварительного напряжения арматуры.

В основе типовых решений кровельных покрытий одноэтажных промышленных зданий заложена двухступенчатая балочная плоскостная система. В этом заключается их существенный недостаток. При таком решении материал конструкции не может быть полностью использован в работе. Отсюда значительный расход строительных материалов.

Пространственные конструкции — цилиндрические оболочки, оболочки двоякой кривизны, волнообразные своды, плоскостные и гиперболические складки — полностью включают в работу материал, затраченный на их изготовление, что создает основу для принятия эффективных экономических решений.

Так, например, цилиндрическая оболочка с сеткой колонн 12×18, запроектированная для одного промышленного объекта, по сравнению с балочным покрытием потребовала бетона на 20% меньше, а стали — на 25%. Сферическая оболочка из сборных элементов размером 18×18 м, примененная на заводе железобетонных изделий № 5 в Ленинграде, позволила снизить расход бетона на 25% и стали — на 17%.

Большие перспективы открываются с использованием в строительстве армоцемента — материала, обладающего большей упругостью по сравнению с обычным железобетоном. Это качество армоцемента в сочетании с правильно выбранными формами пространственной конструкции дает возможность осуществить конструкции покрытий с наименьшим расходом строительных материалов.

Начало внедрения тонкостенных армоцементных конструкций было положено сравнительно недавно. К числу первых работ в этой области следует отнести конструкцию покрытия торгового зала Московского колхозного рынка в Ленинграде (авторы — действительный член АСН А. П. Морозов и инженер В. Ф. Минин).

Использование в покрытии тонкостенных пространственных конструкций позволило значительно сократить расход строительных материалов. По сравнению с прежней схемой экономия расхода стали составила 36%, а цемента — 20%. Значительно упростились монтажные операции. Изготовление сборных элементов тонкостенных конструкций не встретило затруднений и было быстро освоено.

К числу работ в этой области следует также отнести конструкцию кровельной плиты-складки, осуществленной на строительстве жилого дома по Лиговскому проспекту в Ленинграде.

Первые шаги в области освоения армоцемента подтверждают его большие преимущества: сокращается расход материалов, упрощается технология изготовления, появляется возможность использовать крапы меньшей грузоподъемности и др.

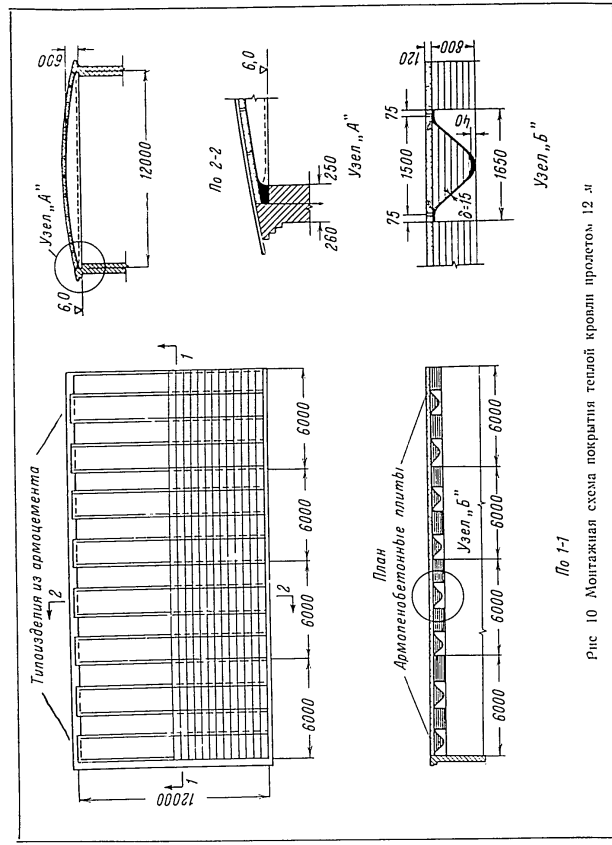
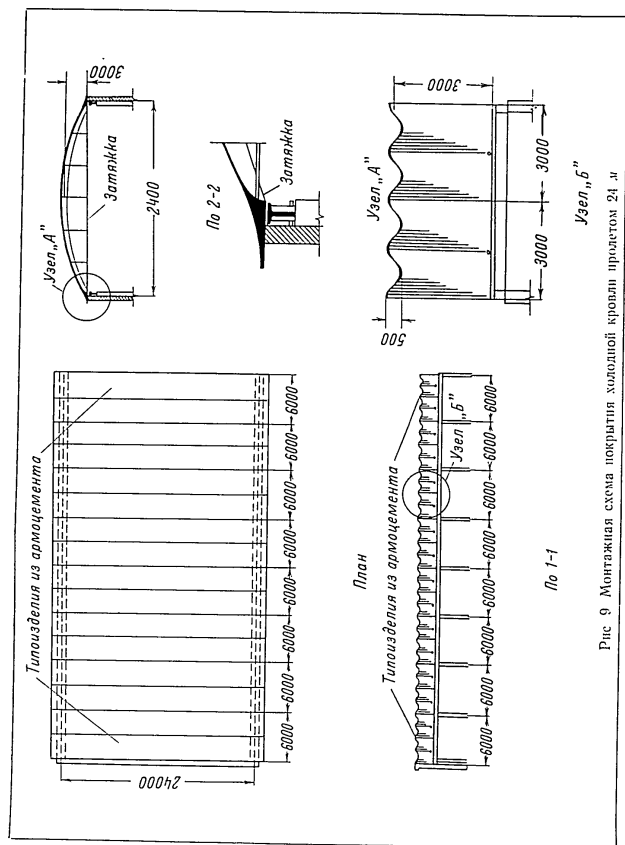
Анализ разработанных тонкостенных армоцементных конструкций покрытий одноэтажных промышленных зданий показывает, что конструкции пролета до 18 м целесообразно решать в виде плит-складок с установкой их на продольно расположенные балки или стены. Ширина отдельных монтажных элементов может быть принята от 1,5 до 3 м. Высота плиты-складки должна равняться 1:20 длины пролета. Покрытие пролетом от 18 м и более осуществляется в виде отдельных арочных элементов волнообразного сечения. При пролетах 60, 100 и 150 м конструкция должна собираться из отдельных унифицированных типовых изделий определенной длины с замощением рабочей арматуры в процессе монтажа.

Эти решения применимы как для холодных, так и для теплых кровель. В первом случае тонкостенные типовые изделия устанавливаются вплотную одно к другому (рис. 9). Швы сопряжения конструкций зачеканиваются или заделываются расширяющимся цементом. Технико-экономические показатели холодного покрытия склада пролетом 24 м, запроектированного институтом Гипростекло в содружестве с Ленфилиалом АСН для Саратовского завода технического стекла, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Технико-экономические показатели «холодных» покрытий пролетом 24 м

Наименование конструкции покрытия	Приведенный расход стали на 1 м <sup>2</sup> площади кровли в кг	Приведенный расход бетона на 1 м <sup>2</sup> площади кровли в см	Максимальный монтажный вес в т
Покрытие из унифицированных армоцементных типовых изделий	10,70	5,2	7,6
Покрытие и использование типовых сборных железобетонных конструкций	11,51	9,38	9,6
Экономия в %	8	45	



В теплых кровлях тонкостенные типовые изделия целесообразно устанавливать с интервалом. В этом случае армопенобетонные плиты утеплителя укладываются поверх конструкции (рис. 10).

Для создания прочности конструкции выпуск арматуры из тонкостенных типовых изделий заделываются в швах между армопенобетонными плитами. Другим решением будет устройство диафрагмы жесткости.

Технико-экономические показатели теплового покрытия пролетом 12 м для склада отделения связи г. Пушкина, разработанные Ленфилиалом АСНА в содружестве с институтом Гипрокоммунстрой, приведены в табл. 6

Таблица 6

Технико-экономические показатели «теплых» покрытий пролетом 12 м			
Наименование конструкции покрытия	Принятый расход стали на 1 м <sup>2</sup> площади кровли в кг	Принятый расход бетона на 1 м <sup>2</sup> площади кровли в см	Максимальный монтажный вес в т
Покрытие из унифицированных армоцементных типовых изделий	7,6	2,03	1,85
Покрытие с использованием типовых сборных железобетонных конструкций	12,09	8,87	4,20
Экономия в %	37	77	

В покрытиях из тонкостенных типовых изделий для освещения можно использовать панели со стеклоблоками. При таком решении панели надлежит устанавливать в промежутках между типовыми изделиями. Аэрация обеспечивается с помощью дефлекторов.

Из приведенных примеров можно сделать вывод о целесообразности использования армоцемента в конструкциях покрытий.

Надо, однако, отметить, что область применения армоцемента не ограничивается только покрытиями. Армоцемент может быть с успехом использован для возведения тонкостенных колонн одноэтажных промышленных зданий, тонкостенных корпусных фундаментов и других конструктивных элементов.

Таким образом, дальнейшее совершенствование конструкций одноэтажных промышленных зданий находится в прямой зависимости от использования новых прогрессивных материалов, от внедрения передовой технологии и высокой культуры труда, от творческой смелости и новаторства инженеров-конструкторов и производственников

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>А П Морозов, В Ф Минин</i> Пространственные тонкостенные конструкции из армоцемента	5
<i>С А Душечкин, Н Ф Совакин</i> Испытание армоцементных сборных покрытий двойкой кривизны	21
<i>А Я. Фридкин, Ю А Елисеев</i> О потерях напряжений в предварительно напряженных железобетонных конструкциях	37
<i>А Д. Ефимов, М А Пластида</i> Современное состояние железобетонных тонкостенных пространственных конструкций (по материалам II Международного конгресса, посвященного железобетонным оболочкам)	58
<i>Е Ф Кузьминых</i> Пучковая арматура для предварительно напряженных железобетонных конструкций	74
<i>И Д Герасимов</i> Сборные железобетонные конструкции одноэтажных производственных зданий	97

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР  
Ленинградский филиал

НОВЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

\* \* \*

Редактор издательства *М. Я. Каплан*  
Технический редактор *Л. В. Воронцов*  
Корректор *Н. Г. Герасимова*

\* \* \*

*Государственное издательство литературы по строительству,  
архитектуре и строительным материалам*

*Ленинградское отделение  
Ленинград, Невский проспект, 28*

\* \* \*

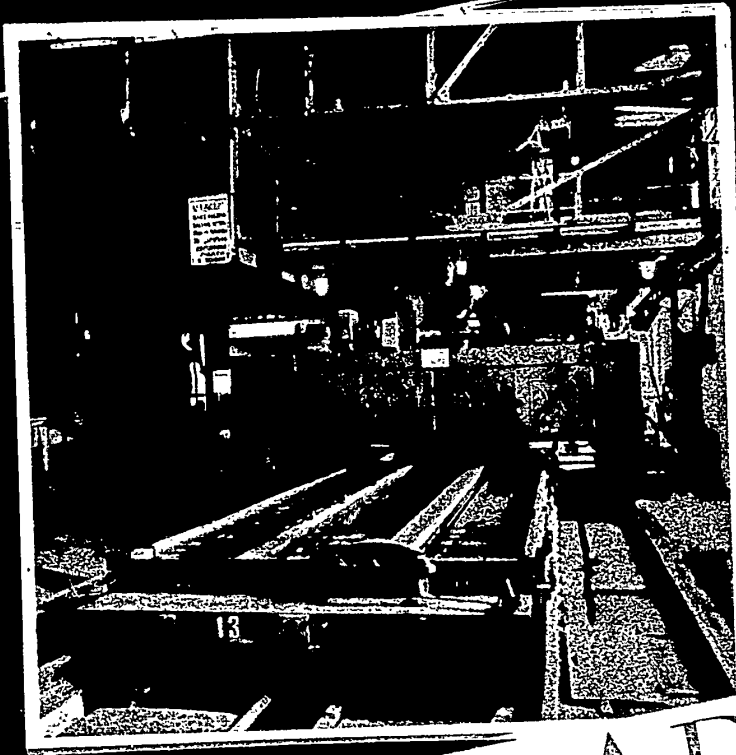
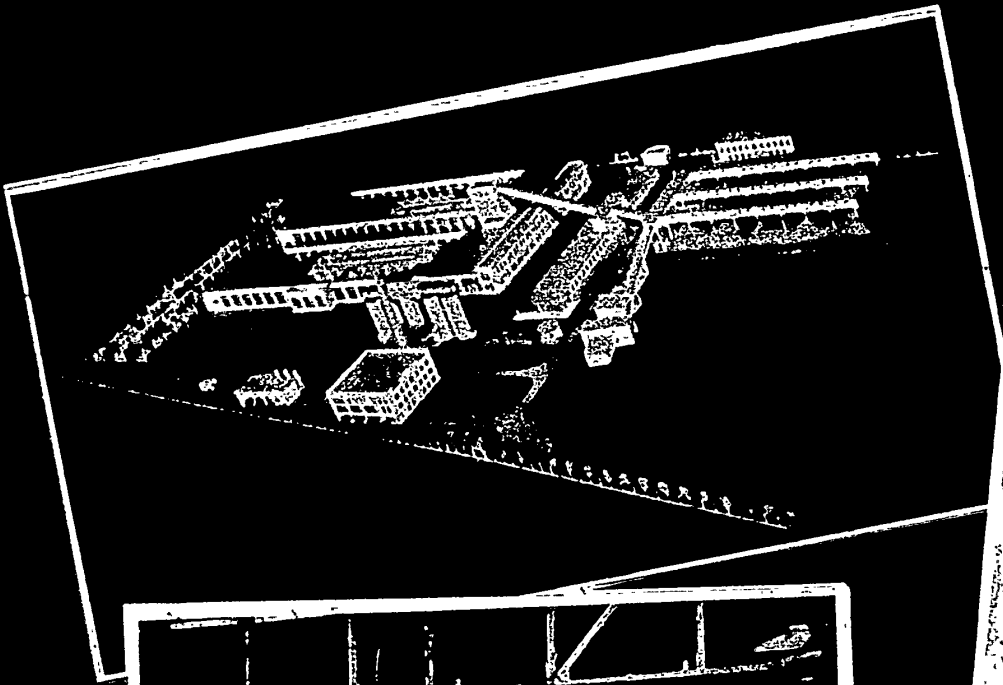
Сдано в набор 26/IX 1958 г. Подписано к печати 4/IV 1959 г.  
М-23160 Формат бумаги 70×92/16. Бум. л. 375. Усл. печ. л. 8,78.  
Уч.-изд. л. 8,1. Изд. № 352 Л. Тираж 4000 экз. Заказ № 4001.

\* \* \*

Типография «Тарту Коммунист» ЭССР,  
г. Тарту, ул. Юликооли, 17/19

Цена 5 р. 65 к.

3p.03k.



ЗАВОД  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ №6

STAT

ИСПОЛКОМ МОСКОВСКОГО СОВЕТА ДЕПУТАТОВ ТРУДЯЩИХСЯ      ГЛАВМОСЖЕЛЕЗОБЕТОН



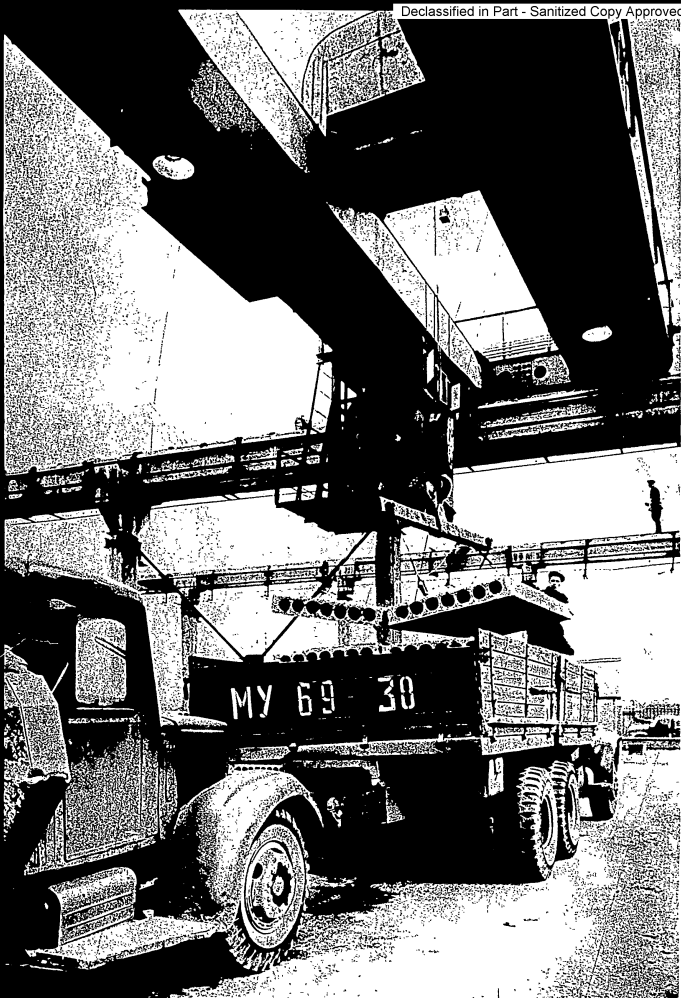
STAT

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ**  
**КОНСТРУКЦИЙ № 6**

STAT

МОСКВА 1957





Столица нашей Родины Москва — город большой стройки. За текущую пятилетку (1956—1960 гг.) для москвичей будет сооружено свыше одиннадцати миллионов квадратных метров жилья, почти столько, сколько было жилой площади во всей до-революционной Москве.

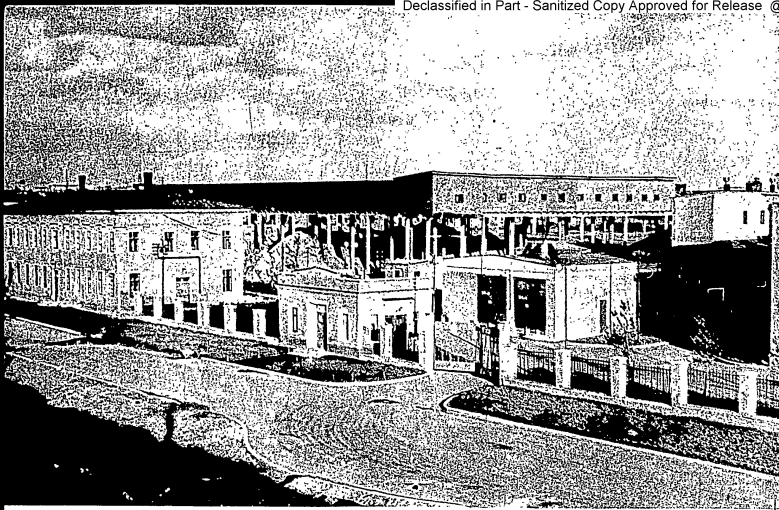
Такой грандиозный размах строительства в Москве потребовал создания специальной производственной базы строительной индустрии — промышленности сборного железобетона.

За последние годы в Москве были построены заново и реконструированы десятки предприятий, на производственных площадях которых ныне выпускаются во все увеличивающихся масштабах сборные железобетонные конструкции для жилищного и гражданского строительства.

Наряду с общеизвестными формами и методами заводского изготовления сборного железобетона на стендовых и особенно на передовых агрегатно-поточных заводах при выборе способа производства крупных железобетонных конструкций для вновь строящихся больших заводов был использован принцип конвейеризации, ранее не применявшийся при изготовлении железобетонных изделий.

Конвейерный способ, как высшая форма поточного производства, является наиболее прогрессивным, производительным и экономически эффективным способом производства железобетонных конструкций.

В нашей стране уже построен ряд заводов, производящих железобетонные конструкции с конвейерной организацией производства.



Главный вход завода

В начале 1956 года в строй действующих предприятий железобетонной промышленности Москвы вступило новое высоко-механизированное крупное предприятие — завод железобетонных изделий № 6.

Завод занимает 8 гектаров площади. Здесь построены заводские железнодорожные пути, паросиловое хозяйство, механизированный склад заполнителей, специальный прирельсовый склад цемента, ремонтно-механический цех, электроцех, материалый склад, две высоковольтные электроподстанции, бетоносмесительный цех, главный корпус, арматурный цех, лаборатория, склад готовой продукции, корпус бытовых помещений и ряд других сооружений. Благоустроенные подъездные пути

соединяют завод с городскими транспортными коммуникациями.

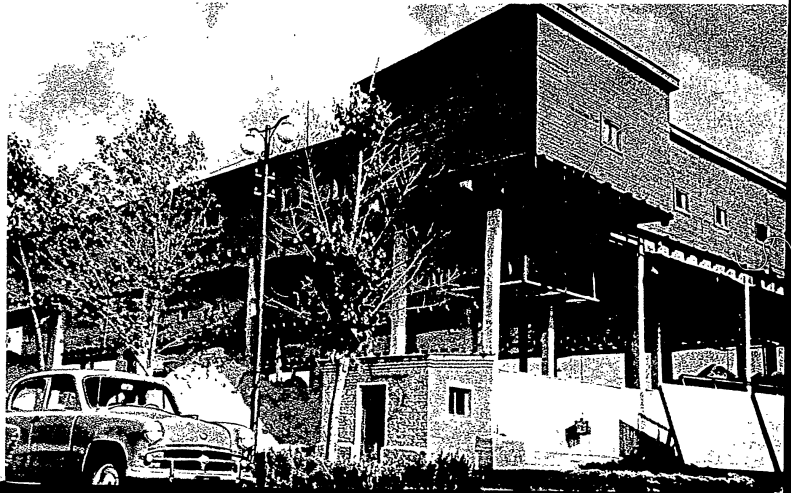
Завод железобетонных конструкций № 6 ориентирован на выпуск крупногабаритных железобетонных конструкций массового производства, спрос на которые обеспечен на многие годы.

Завод представляет собой строго специализированное предприятие с ограниченной номенклатурой изделий. Весь технологический процесс — от подачи сырья на транспортеры до выхода готовых деталей — это единый поток неразрывно связанных между собой операций.

Завод имеет свою железнодорожную ветку, грузооборот которой с системой путей протяженностью в 2,5 км, составляет 800 вагонов в месяц.

Технологический процесс начинается с момента поступления сырья и материалов на специально оборудованные и оснащенные новейшими механизмами склады: заполнителей и цемента.

Территория завода



Вся продукция завода ограничивается тремя видами изделий: настилами, ригелями и панелями перекрытий двух размеров.

Опыт работы завода показал преимущество такой специализации. Подбор состава бетона, приготовление смеси, заготовка арматуры, термообработка, контроль качества, складирование и транспортировка изделий — все стало значительно проще, дешевле и производительнее. Резкое сокращение номенклатуры выпускаемой продукции, максимальная специализация производства при конвейерной схеме являются совершенно обязательными.

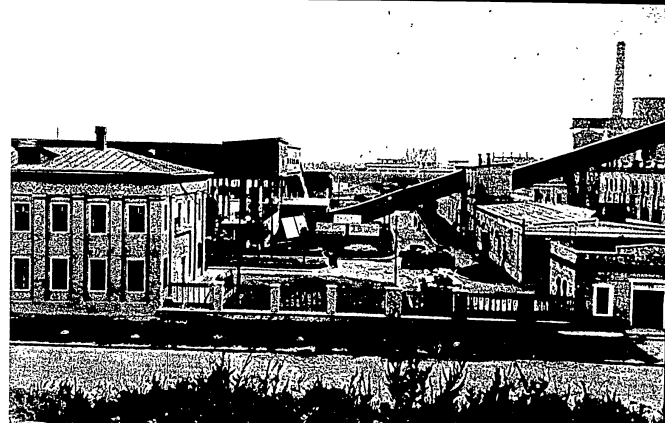
Для приема инертных материалов — гравия, щебня, песка — построен механизированный склад емкостью в 15 тыс. кубических метров. Вагоны и платформы разгружаются при помощи специальных машин, заменяющих труд десятков рабочих.

Разгрузка полувагона продолжается 8—10 мин. Из приемных разгрузочных бункеров инертные материалы поднимаются на транспортерах длиной 70 погонных метров по наклонным галереям на верхние ярусы, откуда сбрасываются вниз в соответствующие штабеля, под которыми расположены подземные приемные галереи. По мере надобности инертные материалы подаются дальше по наклонным галереям в бетоносмесительный цех.

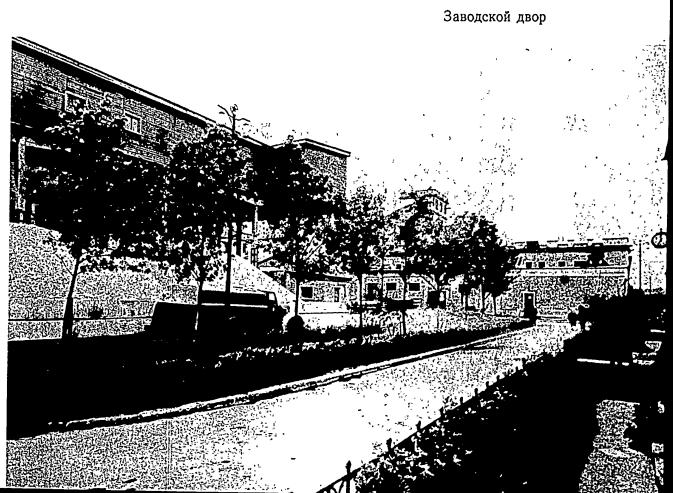
Зимой материалы предварительно проходят через бункера подогрева и поступают в бетоносмесительный цех с температурой 25—30°.

Для приема и хранения цемента различных марок построен прирельсовый склад, который имеет четыре силосных банки емкостью до 500 тонн каждая. Годовой грузооборот склада составляет 48 тыс. тонн. Для выгрузки цемента, прибывающего навалом в вагонах обычного типа, используется пневматический разгрузчик, который обслуживается двумя рабочими. Пневматический разгрузчик состоит из трех агрегатов: заборного устройства, осадочной камеры и машинного отделения. Сопло машины засасывает цемент под действием вакуума, специальный рушитель и подгребные шнеки обеспечивают эффективное всасывание цемента.

По бронированному шлангу цемент поступает в осадочную камеру, откуда он подается питателем в горизонтальный шнек цементного склада. Шнек в свою очередь доставляет цемент в



Внутренний вид завода



Заводской двор

Вся продукция завода ограничивается тремя видами изделий: настилами, ригелями и панелями перекрытий двух размеров.

Опыт работы завода показал преимущество такой специализации. Подбор состава бетона, приготовление смеси, заготовка арматуры, термообработка, контроль качества, складирование и транспортировка изделий — все стало значительно проще, дешевле и производительнее. Резкое сокращение номенклатуры выпускаемой продукции, максимальная специализация производства при конвейерной схеме являются совершенно обязательными.

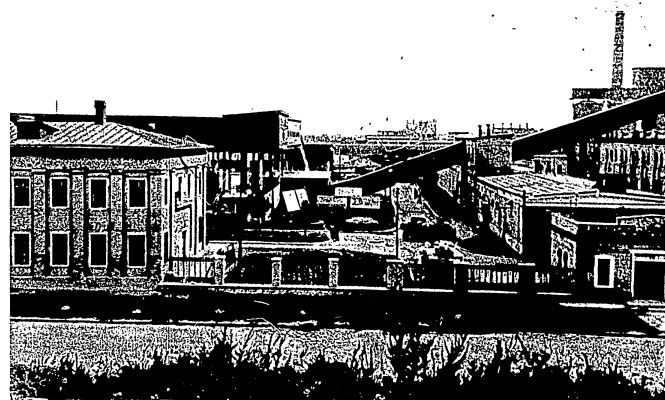
Для приема инертных материалов — гравия, щебня, песка — построен механизированный склад емкостью в 15 тыс. кубических метров. Вагоны и платформы разгружаются при помощи специальных машин, заменяющих труд десятков рабочих.

Разгрузка полувагона продолжается 8—10 мин. Из приемных разгрузочных бункеров инертные материалы поднимаются на транспортерах длиной 70 погонных метров по наклонным галереям на верхние ярусы, откуда сбрасываются вниз в соответствующие штабеля, под которыми расположены подземные приемные галереи. По мере надобности инертные материалы подаются дальше по наклонным галереям в бетоносмесительный цех.

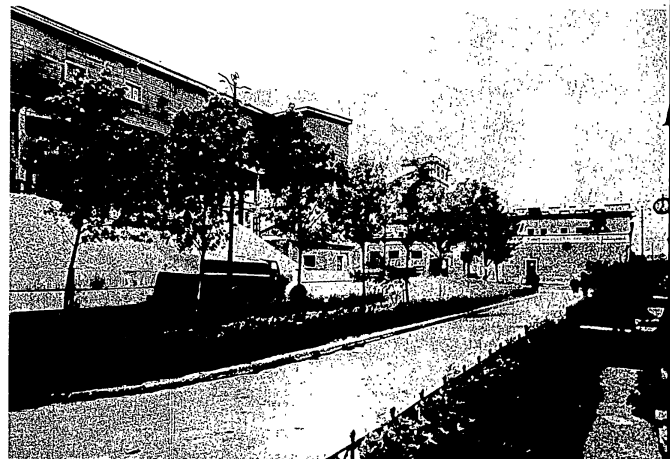
Зимой материалы предварительно проходят через бункера подогрева и поступают в бетоносмесительный цех с температурой 25—30°.

Для приема и хранения цемента различных марок построен прирельсовый склад, который имеет четыре силосных банки емкостью до 500 тонн каждая. Годовой грузооборот склада составляет 48 тыс. тонн. Для выгрузки цемента, прибывающего навалом в вагонах обычного типа, используется пневматический разгрузчик, который обслуживается двумя рабочими. Пневматический разгрузчик состоит из трех агрегатов: заборного устройства, осадочной камеры и машинного отделения. Сопло машины засасывает цемент под действием вакуума, специальный рушитель и подгребные шнеки обеспечивают эффективное всасывание цемента.

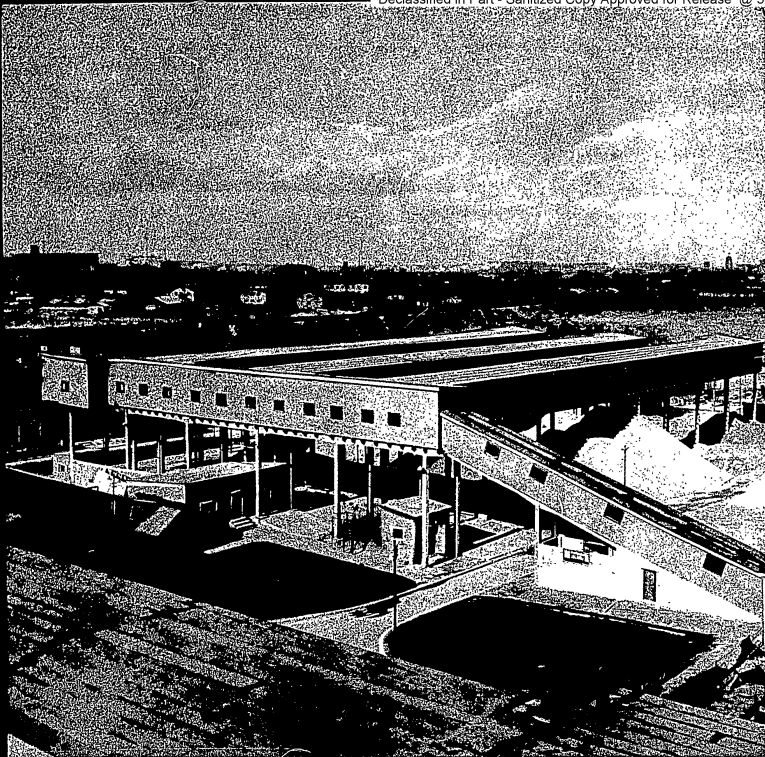
По бронированному шлангу цемент поступает в осадочную камеру, отсюда он подается питателем в горизонтальный шнек цементного склада. Шнек в свою очередь доставляет цемент в



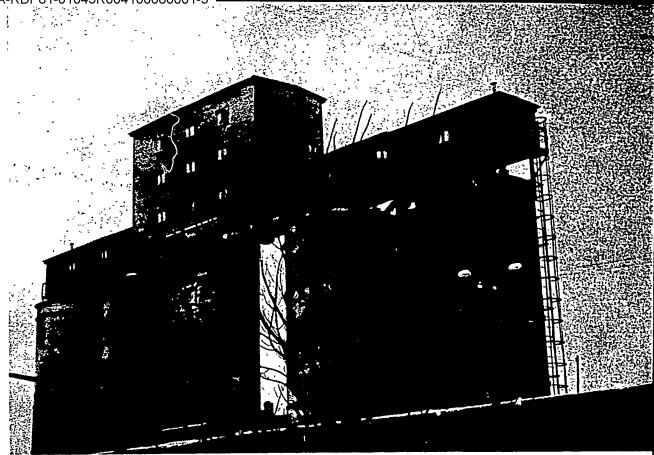
Внутренний вид завода



Заводской двор

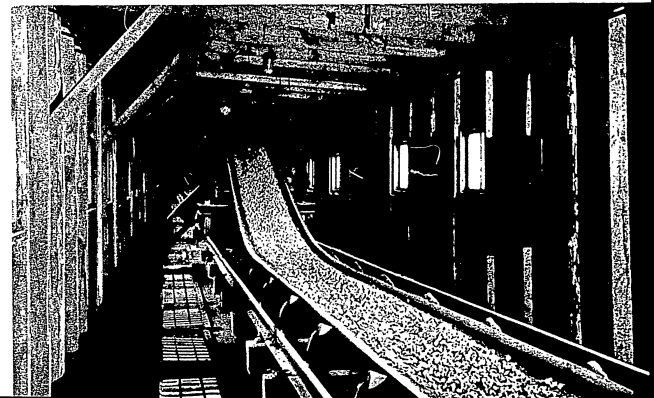


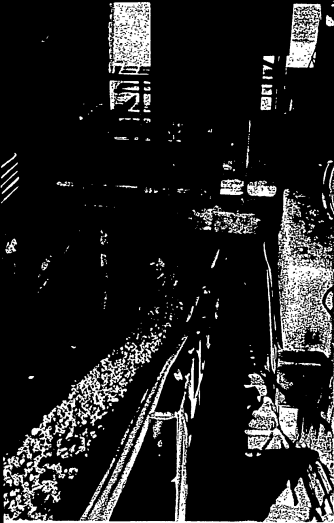
Склад инертных материалов



Склад цемента

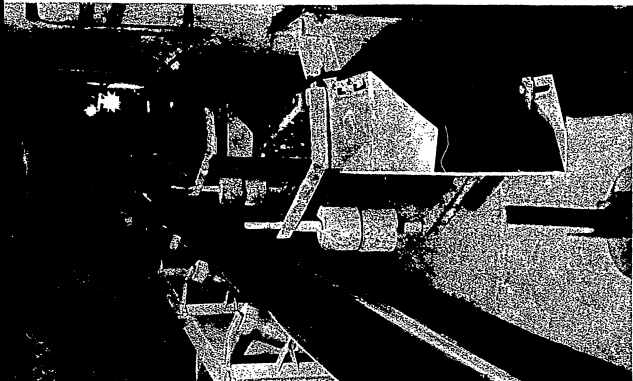
Транспортеры подачи инертных материалов





Транспортеры подачи инертных материалов

Транспортер подачи инертных материалов



Склад инертных материалов

башмак ленточного элеватора, откуда его элеватор ковшами подает в приемные рукава аэрожелоба.

Аэрожелоб представляет собой лоток с наклоном в 2—4°, в нижнюю часть его нагнетается воздух, в верхнюю, отделенную от нижней брезентовой лентой, поступает цемент.

Под действием воздуха цемент в верхней части приходит во взвешенное состояние и самотеком движется к силосным банкам.

Новым, надежным и удобным в эксплуатации является приспособление для разгрузки специальных вагонов-цементовозов. Разгрузка 60-тонного цементовоза производится за 20—30 мин.

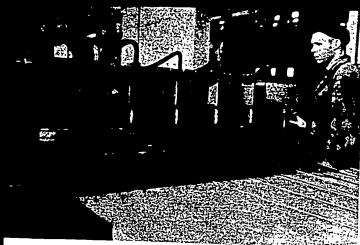
Производительность склада по приемке цемента — 240 тонн, а по выдаче в бетонный цех — 50 тонн в час.

В торцах обоих крыльев главного корпуса расположен арматурный цех, его производственная площадь 850 кв. метров. Для изготовления арматурных сеток и каркасов установлена высокопроизводительная широкосетчатая автоматическая сварочная машина АТМС-14-75, заменяющая труд десятков людей. На ней возможна одновременная сварка в 24 точках. В арматурном цехе, кроме того, установлены полуавтоматические машины МТМС-7-35 для сварки сеток шириной 1,42 м, диаметром стержней 6,5×6,5 мм, автоматическая сварочная машина МТМҚ-3-200, сваривающая стержни диаметром от 4 до 25 мм и сетку шириной до 775 мм. Одноточечные сварочные машины — пневматические МПГ-75, дающие сетку до 1,5 м и механические МТМ-50 и МТМ-75, подвесные сварочные клещи МТПГ-75 с пневматическим приводом для сварки пространственных каркасов и сеток шириной до 1,5 м и любой длины, станки для резки арматурной стали С-150 и С-370, стыковой аппарат МСТ-150 с электромеханической подачей, позволяющей рационально использовать отходы арматурной стали различных диаметров, правильно-отрезные станки С-338 и Д-5 для правки и резки стержней толщиной до 14 мм, гладкого и периодического профиля.

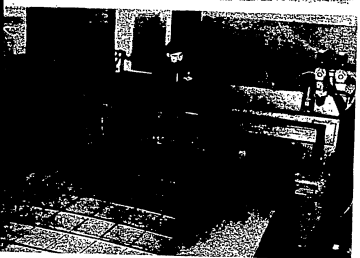
Перемещение арматурных сеток и каркасов и прибывающей арматурной стали производится при помощи трехтонной кранбалки.

Сварочные клещи

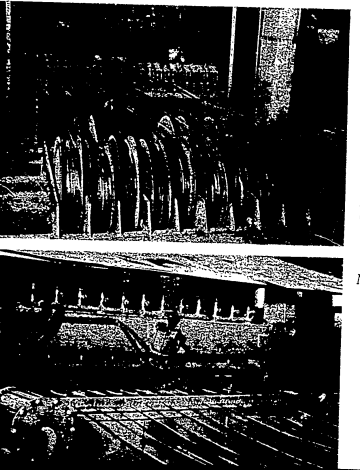




Машина МТМС для сварки арматуры

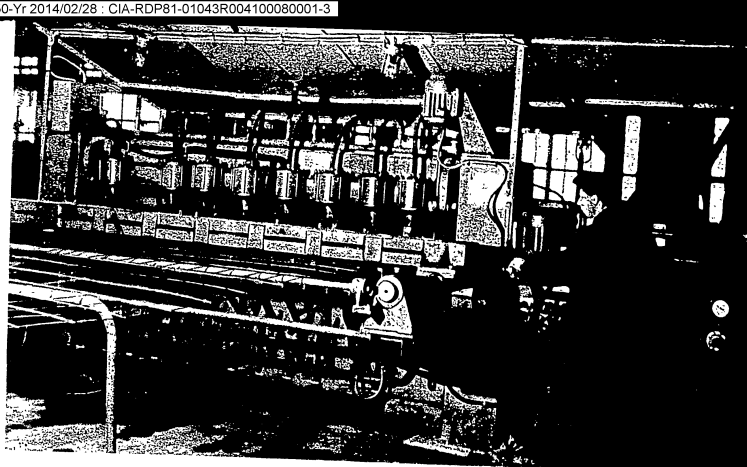


Машина МТМС. Выход готовых сеток



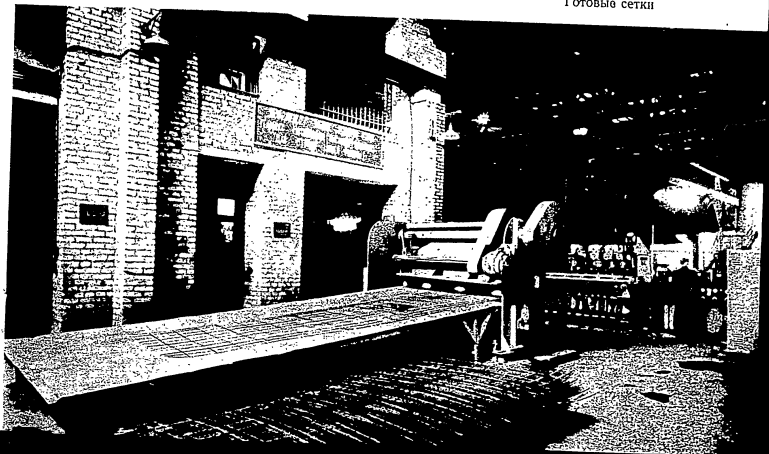
Машина АТМС для сварки широких сеток. Размотка бухт

Машина АТМС. Рабочий момент

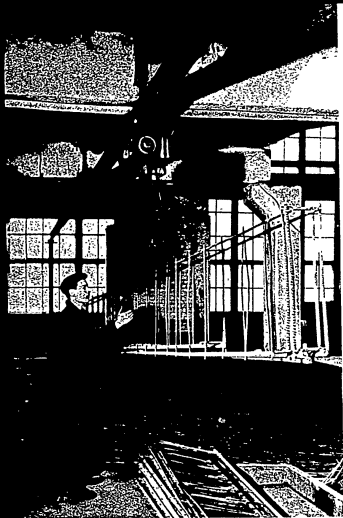


Машина АТМС. Общий вид

Готовые сетки







Транспортировка арматуры



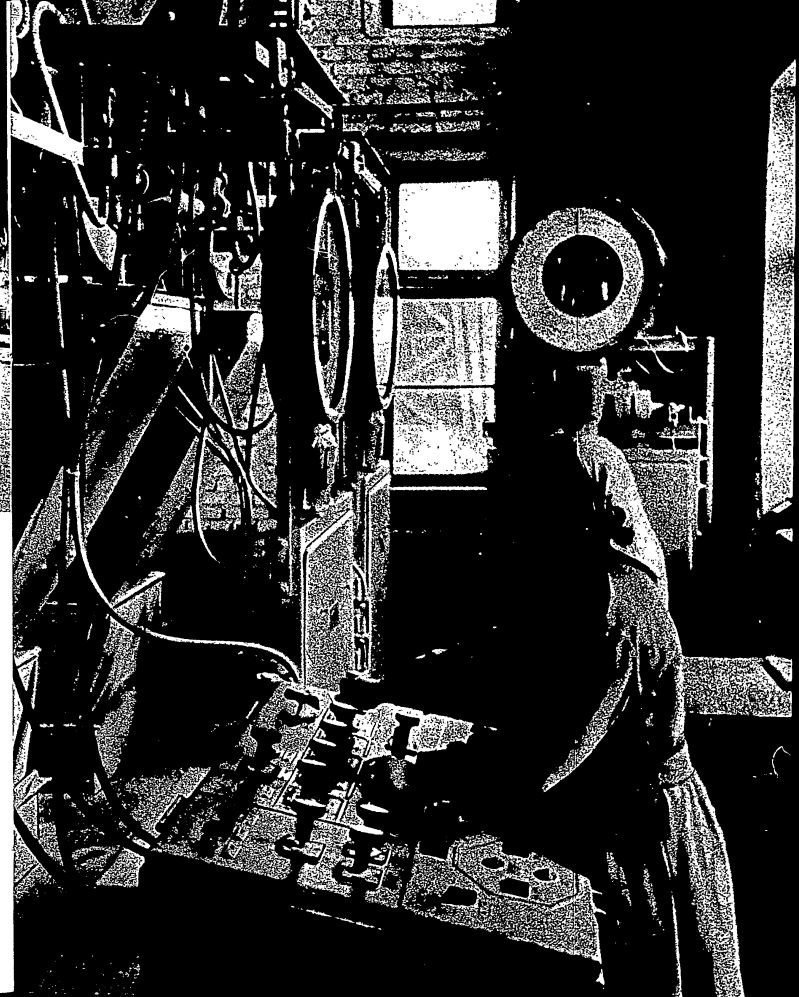
Подача сеток к формочной машине

В бетономесительный цех цемент подается с помощью пневматического насоса. Для приготовления бетона построено бетономесительное отделение, представляющее собой шестиэтажное здание, технологический процесс в котором осуществляется строго по вертикали, сверху вниз.

На 5 и 6 этажах находится бункерное отделение, куда поступают цемент и заполнители. На 4-м этаже здания находится автоматическое дозировочное отделение и расходные бункера для заполнителей и цемента.

На изготовление одного замеса бетона затрачивается 4 минуты. Проверка контрольными грузами всех дозровок полностью исключает возможность перерасхода материалов.

Дозировочное отделение бетономесительного цеха



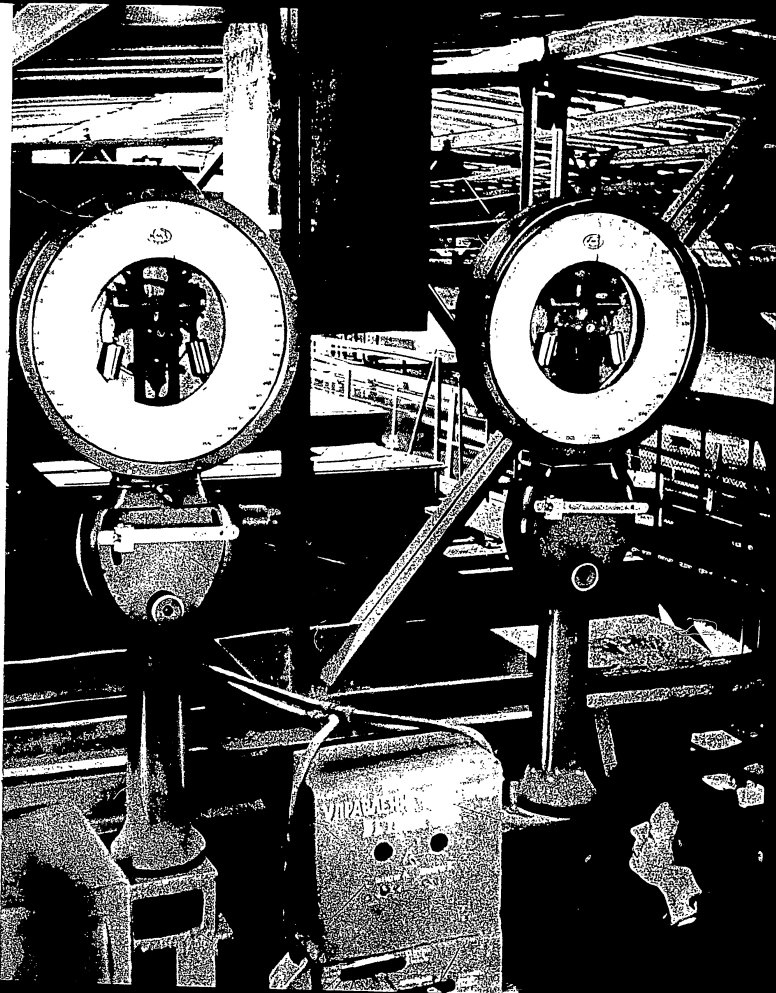
Поворотная тетка для распределения за-  
полнителей по бункерам

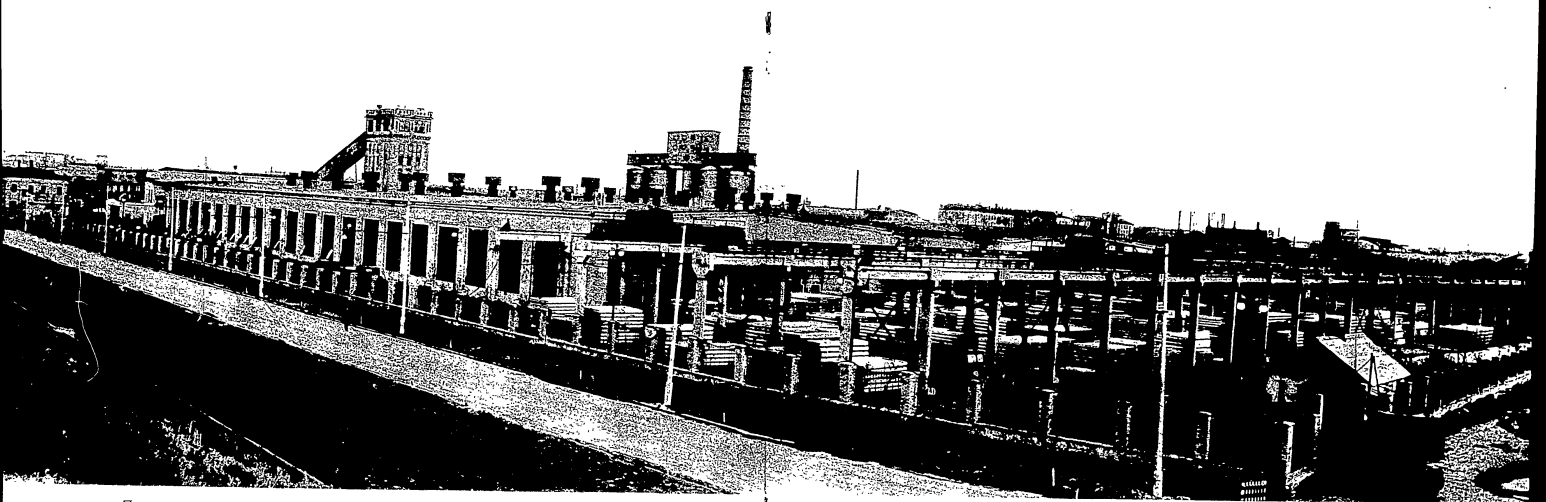
На 3-м этаже бетоносмесительного цеха установлены две бетономешалки емкостью по 1200 литров. Производительность каждой бетономешалки 15 замесов или 12 куб. метров бетона в час. Удобная планировка бетоносмесительного цеха, его расположение в центре технологических потоков, обеспечивают взаимозаменяемость в работе агрегатов, позволяя осуществлять подачу бетонной смеси на короткие расстояния из любой бетономешалки на любой конвейер.

На 2-м этаже, через транспортеры шириной 650 мм, размещенные в подвесных галереях, готовый бетон из бетономешалок поступает к бетоноукладчикам. Труд в бетоносмесительном цехе полностью механизирован, в цехе работают высококвалифицированные рабочие — операторы и машинисты.

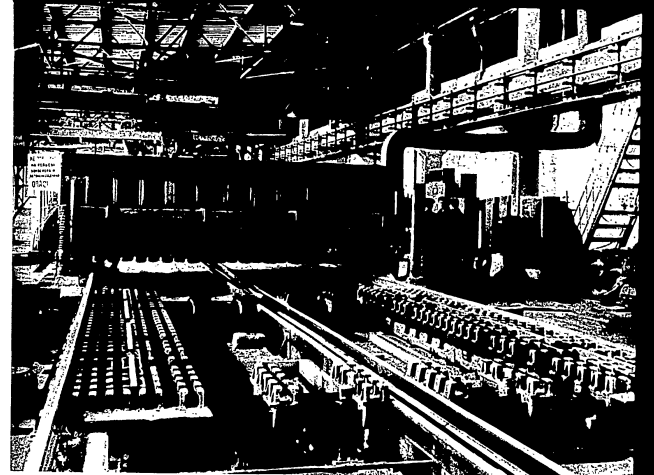
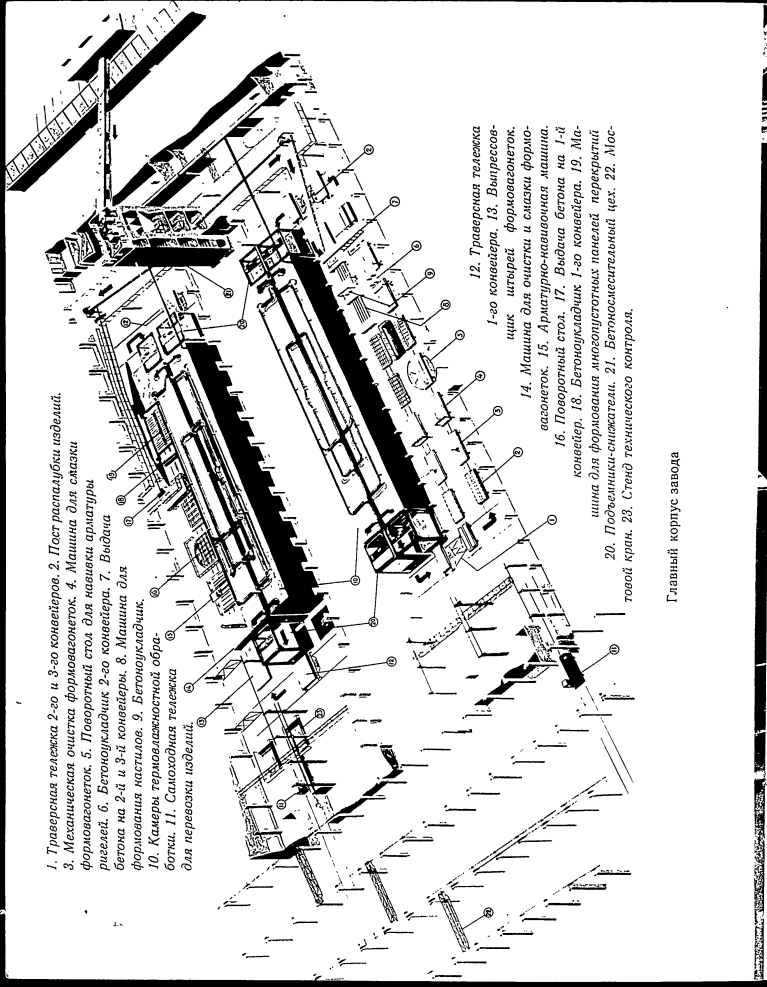
Бетономешалка С-222

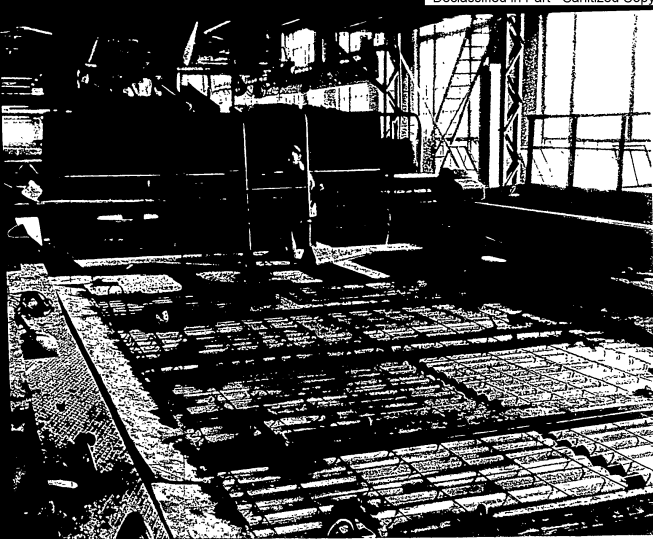
Весовая дозировка





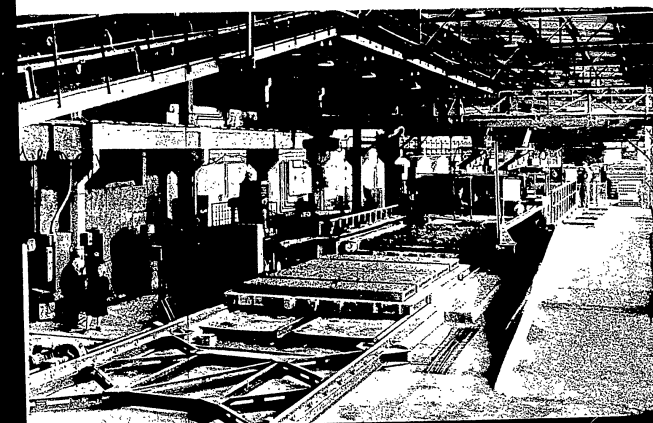
Панорама завода





Формовочная машина. Рабочий момент

Технологическая линия первого конвейера

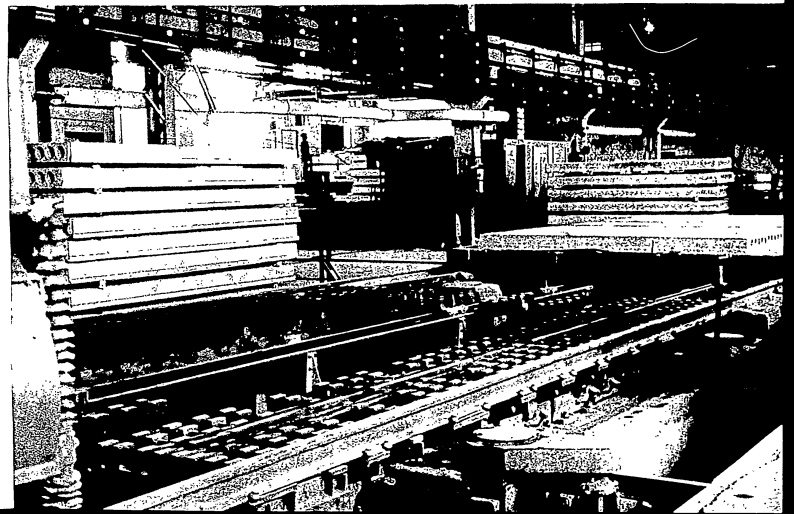


Сердце завода — главный корпус. Здесь расположены конвейерные линии: в правом крыле — один широкий конвейер, в левом — два узких. Каждый конвейер представляет собой замкнутое технологическое кольцо, протяженностью 80 м, на котором последовательно производятся все операции от начала заготовок до выхода готового изделия.

На конвейерных линиях перемещаются по рельсам формовагонетки. Формовагонетка представляет собой металлический поддон, размером  $7,0 \times 4,4$  м на широком конвейере и  $7,0 \times 2,2$  м на узком конвейере, снабженный четырьмя колесными скатами. Вес вагонетки соответственно 10 и 5 тонн. На каждом конвейере 92 вагонетки. На таких вагонетках можно формовать крупноразмерные изделия площадью от 13 до 28 кв. метров.

В соответствии с назначением конвейеров каждый из них оснащен специализированным оборудованием — машинами

Выпрессовщик штырей





Вагонетка второго конвейера с нижней арматурой

для очистки и смазки форм, бетоноукладчиками, пустообразователями и арматурно-навивочными машинами.

Большинство технологических процессов на заводе механизировано. Исключение составляют лишь закладка монтажных петель и отделка отформованных изделий.

Производственный процесс в правом крыле на широком конвейере начинается траверсная передаточная тележка, очень про-

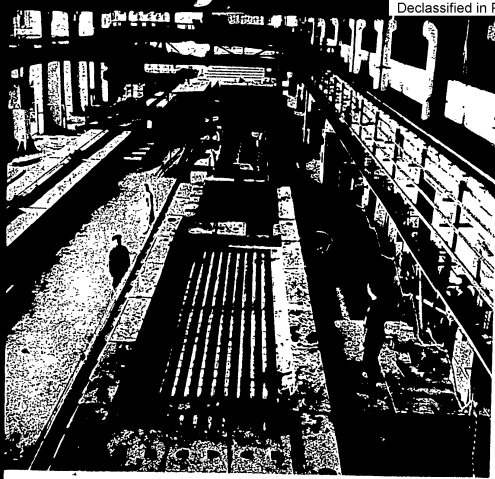
стая и удобная в эксплуатации. На этой тележке осуществляется внутрицеховая транспортировка изделий.

Первая операция на первом конвейере начинается с выпрессовки штырей из тела готовой напряженно-армированной панели после термовлажностной обработки. Для этой цели смонтирован специальный выпрессовщик с механическим приводом, развивающим при выпрессовке общее усилие в 160 тонн.

Вторым постом на первом конвейере является машина для очистки формовагонетки. Это — система металлических щеток

Формовочная машина второго конвейера





Технологическая линия  
второго конвейера



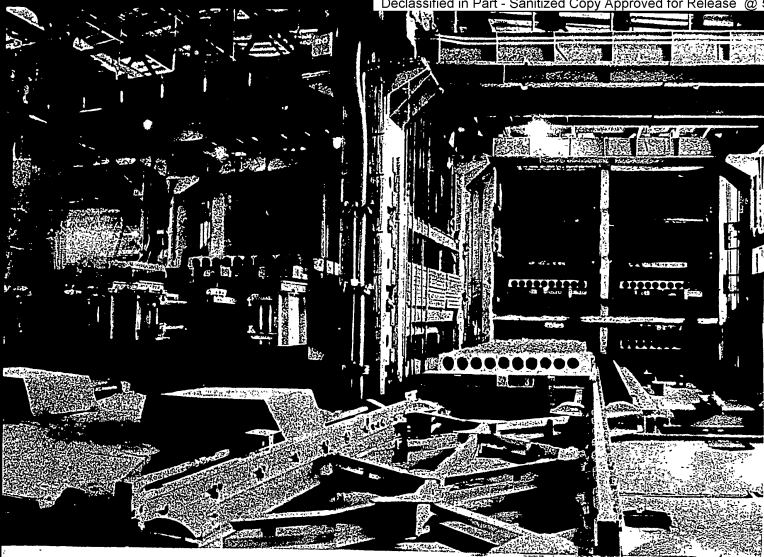
Пневмопригруз второго  
конвейера



Укладка бетона на вто-  
ром конвейере



Отформованный настил  
на втором конвейере



Камеры твердения непрерывного действия

шириной 600 мм, перемещающихся непрерывной цепью и автоматически включающихся в действие при прохождении под ними формовангетки. Рядом с ней установлена машина для смазки поддонов, которая состоит из узла приготовления смазки и специальной кабины с четырьмя распылителями. Смазывающая эмульсия и воздух подаются в эти распылители под давлением в 3 атмосферы. При перемещении формовангетки машинист включает вентилятор и распылители. Эмульсия распыляется равномерно по всему зеркалу формовангетки. Для надежной работы распылителя труба на вводе в кабину смазки снабжена пластмассовым фильтром.

На третьем посту смонтирована арматурно-навивочная машина конструкции ЭНИМС для навивки нижней рабочей арматуры. Машина с приводом и механизмом натяжения арматуры, работающая по принципу мостового крана, обходит штыри с определенной последовательностью по заданной схеме, укладывая три слоя арматуры.

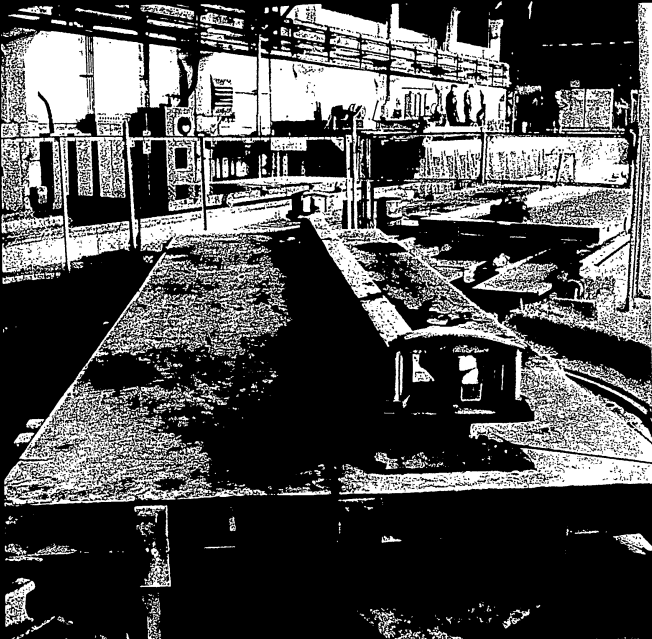
На четвертом посту конвейера установлен поворотный стол для навивки верхней арматуры.

Пятый пост занимает вибрационная машина. Она служит резервом конвейера и предназначена для формовки изделий.

Поворотный стол для напряженного армирования на третьем конвейере







Формовагонетка перед навивкой арматуры

На шестом посту конвейера установлен бетоноукладчик СМ-482, предназначенный для загрузки формовагонетки, поданной на пост формовочной машины или вибромашины.

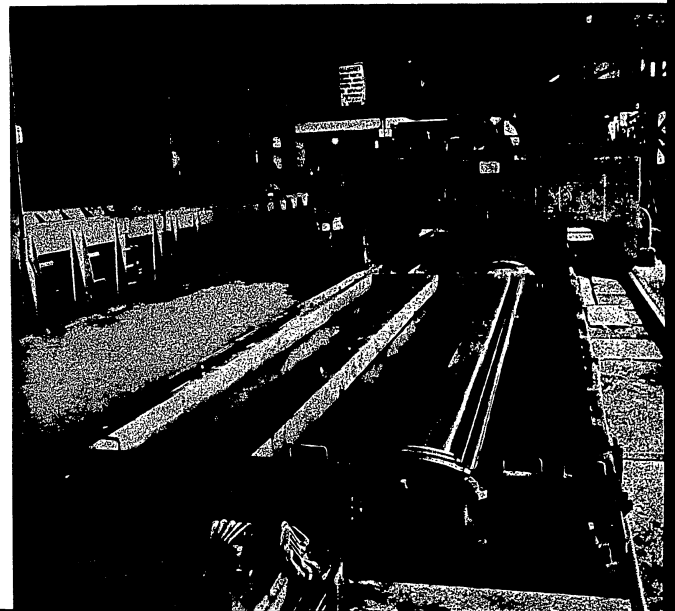
Укладка бетона производится тремя ленточными транспортерами, имеющими общий привод. Толщина слоя бетона регулируется при помощи затворов.

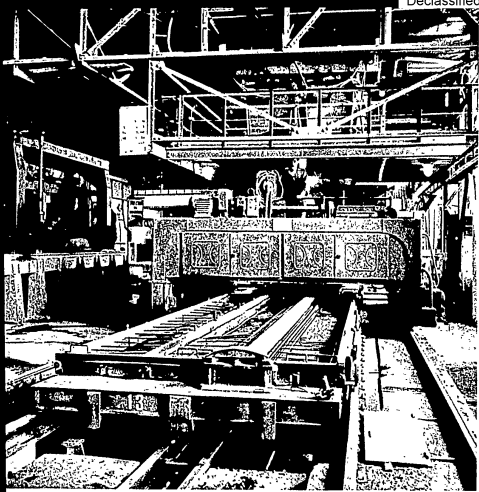
На седьмом, завершающем посту конвейера установлена головная формовочная машина для изготовления панелей, армированных напряженной арматурой или сварными сетками.

Узкие конвейеры в левом крыле главного корпуса оснащены в основном таким же набором машин и агрегатов, как и широкий конвейер.

На 2-м конвейере установлена формовочная машина для изготовления многопустотных длиномерных настилов перекрытий для жилых домов, школьных и больничных зданий.

Трехригельная вагонетка на формовочном посту





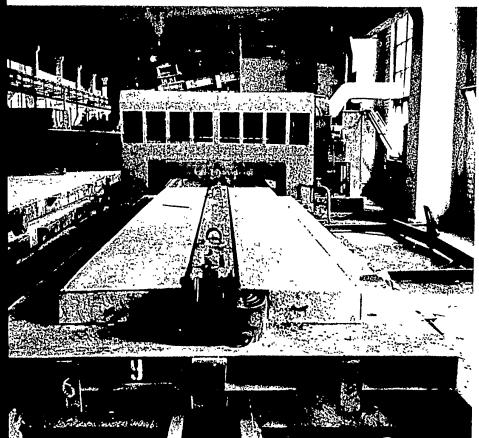
Трехригельная формованетка с напряженной арматурой

С помощью соединенных попарно четырех гидравлических домкратов машинист подводит формованетку к бортам формочной машины. Здесь сначала производится укладка нижней рабочей арматуры. Затем машинист сближает траверсы, несущие по 10 пуансонов диаметром 160 мм для образования пустот. Внутри пуансонов смонтированы вибраторы для уплотнения бетона, дающие 5700 колебаний в минуту. При сближении пуансонов автоматически смыкаются поперечные и продольные борта. Затем производится укладка верхней монтажной сетки и загрузка бетона в форму с помощью бетоноукладчика. После виброуплотнения бетона выводят пуансоны из плиты, разводят борта, и формованетка с готовым изделием опускается на рельсовые пути конвейера.

Для обеспечения гладкой поверхности изделия применяется пневмопригруз, что значительно снижает трудоемкость разравнивания бетонной смеси.

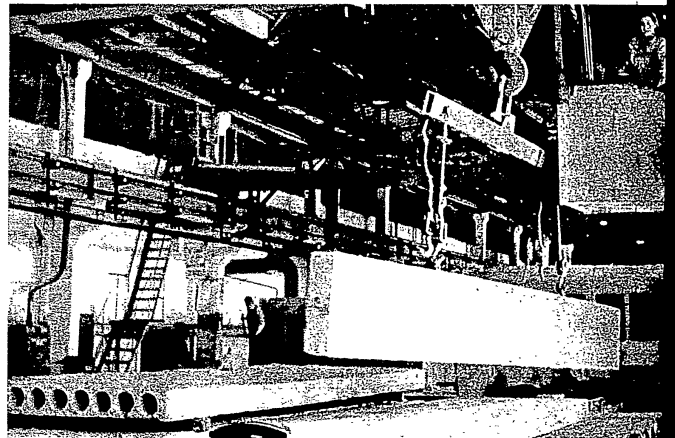
В последнее время заводом освоен выпуск напряженно-армированных настилов. Внедрение напряженной арматуры позволяет на каждом настиле сэкономить 97 кг металла.

На 3-м конвейере установлен поворотный стол СПВ-4 для навивки напряженной арматуры ригелей. Он имеет мощную



Отформованные ригеля

Распалубка напряженно-армированных ригелей



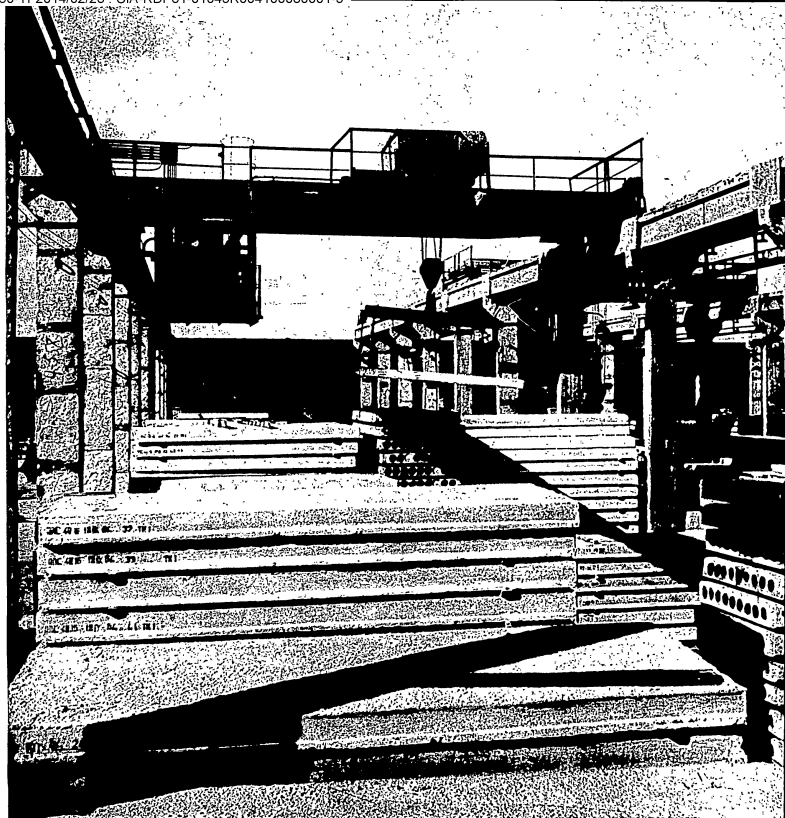
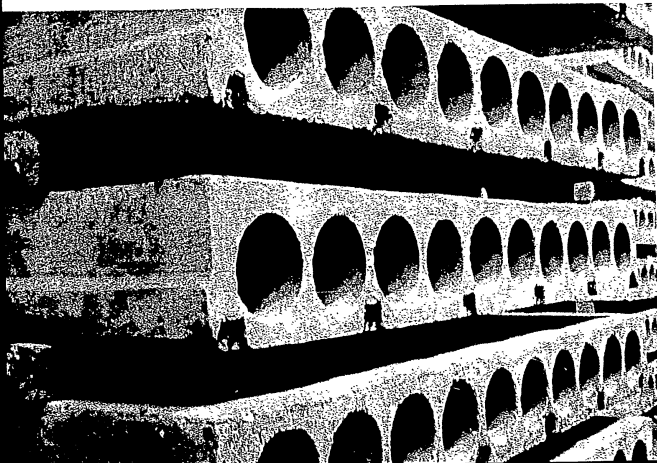
натяжную станцию, обеспечивающую усилие натяжения до 800 кг. Скорость вращения платформы стола — 3 об/мин. Шаг навивки по высоте обеспечивается специальным пантографом, имеющим четыре поршня.

Продукцией 3-го конвейера являются прогоны, ригели. На каждой вагонетке укладывается по 2—3 ригеля.

Технология производства железобетонных изделий на заводе № 6 базируется на применении жестких бетонных смесей, что позволяет производить распалубку изделий немедленно после формовки.

Одним из основных звеньев конвейерной цепи являются камеры термовлажностной обработки изделий непрерывного действия тоннельного типа. В отличие от камер ямного типа прогрев изделий в них осуществляется глухим паром, что обеспечивает большую экономичность, большую производительность и культуру эксплуатации при стопроцентном возврате конденсата и минимальных потерях тепла. Камеры являются нормальным продолжением конвейера, имеют длину 60 метров и расположены параллельно основной линии потока. Изделия последо-

Напряженно-армированные настилы



Склад готовых изделий

вательно проходят в камере зону подогрева с температурой 35—50°, зону термостата с оптимальной температурой 80—85°, зону первоначального охлаждения до 30° и, наконец, зону полного охлаждения. Основную прочность изделия набирают в зоне термостата, где влажность воздуха составляет 100%.

В камеры периодически через форсунки-распылители подается горячая вода температурой 97—99°.

Напор, создаваемый центробежным насосом, обеспечивает тонкое распыление воды через отверстия в специальных перфорированных трубках, навстречу горячей дождевой пыли поднимаются струи острого пара. В результате создается температурно-влажностный режим, способствующий наиболее быстрому твердению изделий.

Перед камерами твердения установлены пятирусные подъемники-снижатели грузоподъемностью 15 тонн. Они работают по автоматической схеме и имеют дистанционное управление с общего пульта.

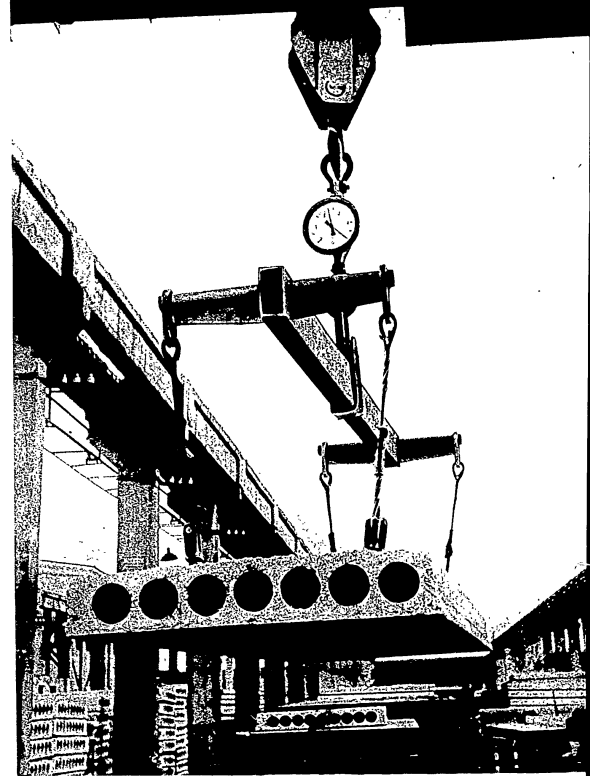
Оператор нажимает кнопку соответствующего яруса и клеть поднимается на требуемый уровень, с которого формовагонетка подается в камеру твердения.

После пропаривания готовые изделия вывозятся на самоходной тележке на склад. Склад имеет три пролета шириной 11 м каждый. В каждом пролете установлен 10-тонный мостовой кран. Емкость склада рассчитана на 5 тыс. куб. метров изделий. Отпуск изделий со склада организован по принципу потока, с учетом требований наиболее рациональной работы транспорта.

Прогрессивность конвейерной технологии, применяемой на заводе № 6, заключается в том, что расчлененный метод организации труда на специализированных постах обеспечивает высокую производительность конвейеров, доходящую до формовки одного квадратного метра панели перекрытия в течение одной минуты.

Высокая производительность стала возможной благодаря созданию эффективных крупногабаритных машин и технологии, действующей по принципу принудительного ритма.

Формующие машины с принципом внутритрибунационной высококачественной вибрации и немедленной распалубки показали свою высокую эффективность как со стороны качества уплотнения жестких бетонных смесей, так и скорости самой вибра-



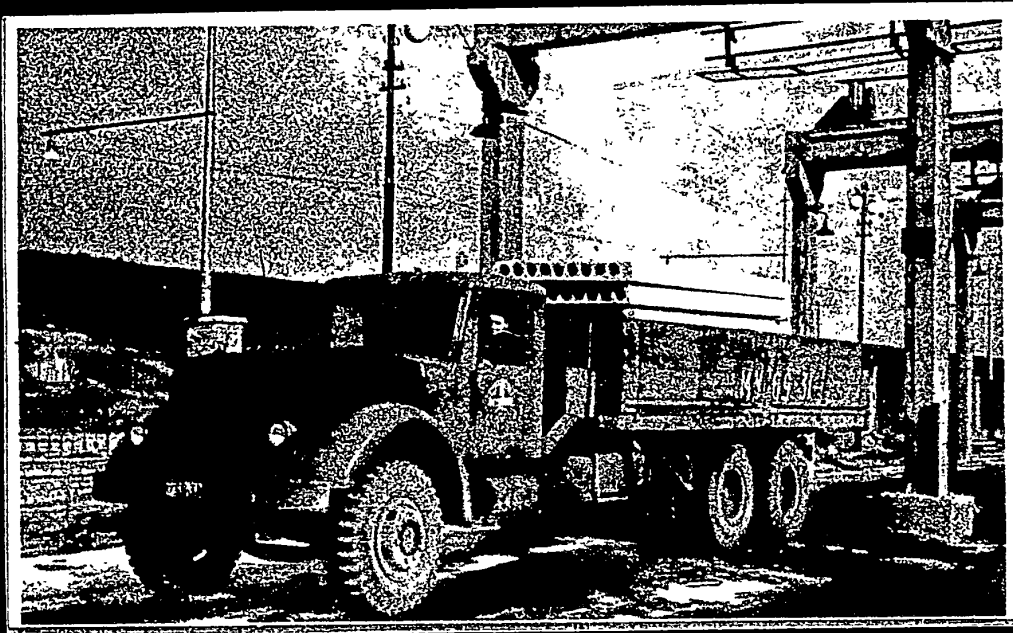
Взвешивание настилов динамометром

ции. На конвейерных заводах нашел свое практическое применение высокомеханизированный передовой метод массового непрерывного предварительно-напряженного одноосного и двухосного армирования. На всех трех конвейерных технологических линиях завода № 6 осуществляется изготовление напряженно-армированных высокоэффективных сборных железобетонных конструкций.

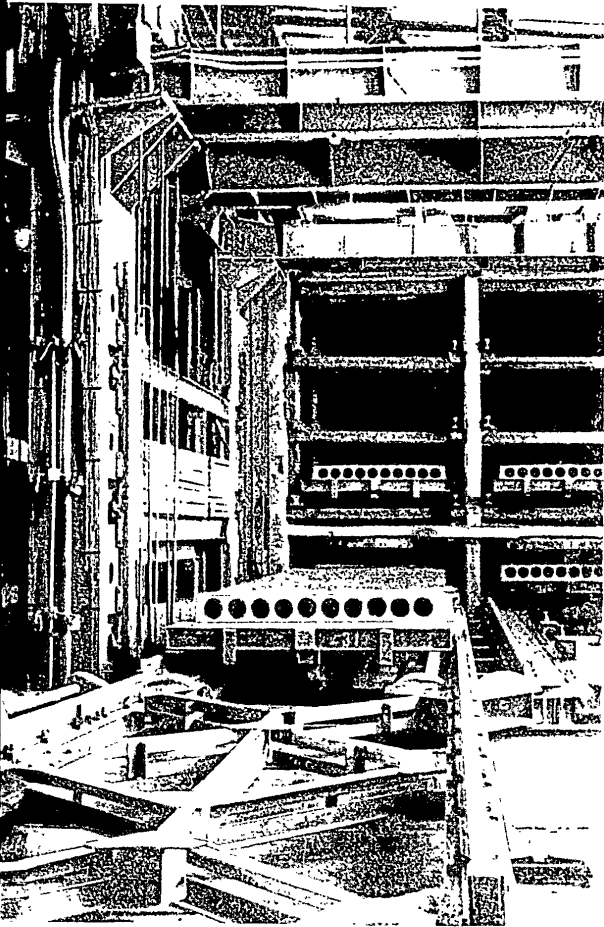
Культура производства на конвейерных заводах выше чем на других предприятиях, производящих железобетонные изделия. Конвейерные заводы целесообразно строить в районах массовой застройки, и на них следует производить основные конструкции — плиты, панели перекрытий, ригели, прогоны, лестничные площадки и марши. Эти конструкции в современном строительстве составляют не менее 60—70% всего объема сборного железобетона.

Узкая номенклатура и ее постоянство являются важнейшими условиями успешной работы конвейерных и других предприятий.

Редактор *Н. Б. Дардик*  
Оформление *М. Ф. Соркина*



*of the last stages of the production process. Ready floors  
emerge from steaming chambers*

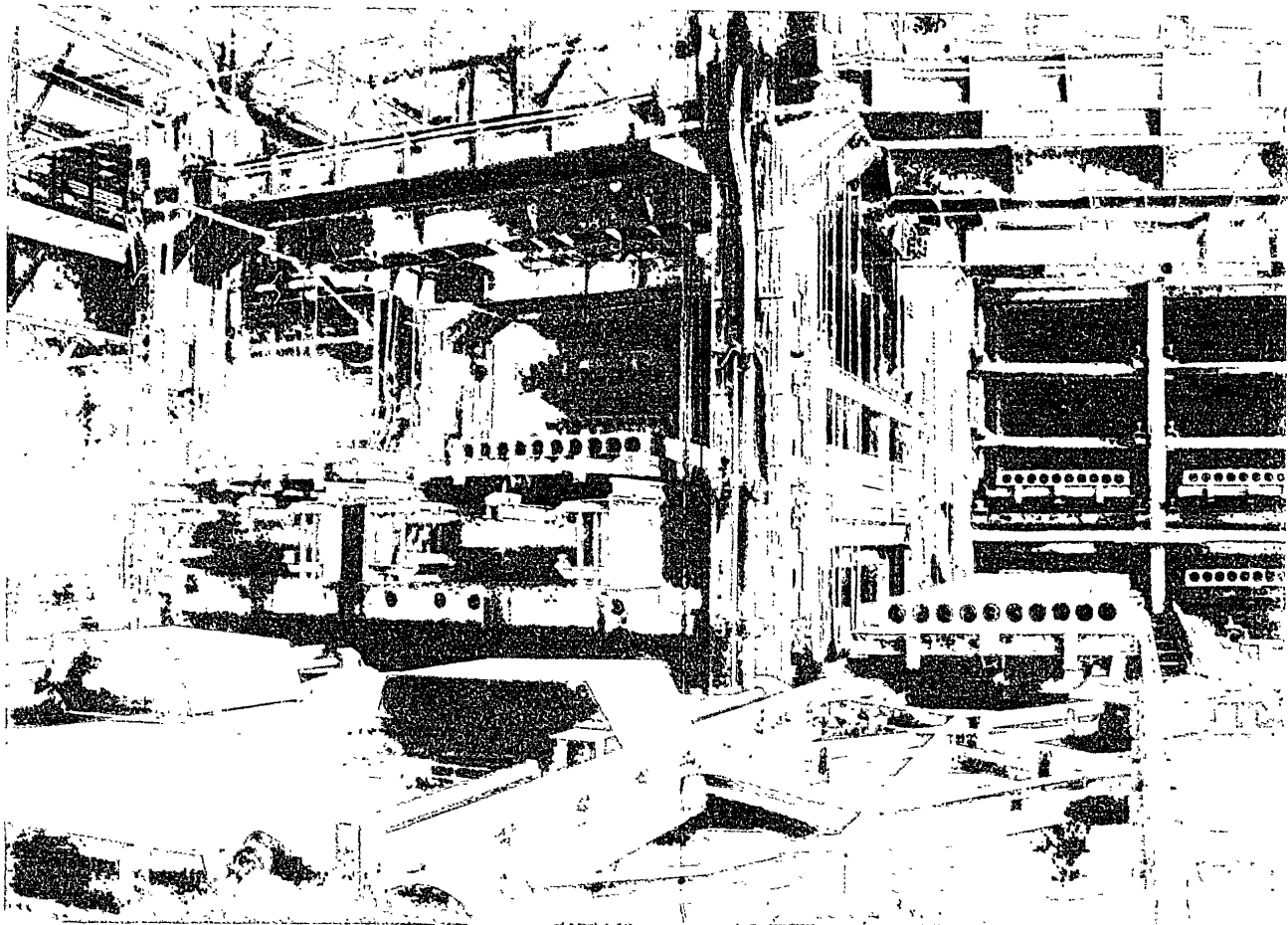


# PRECAST REINFORCED CONCRETE WORKS N°6

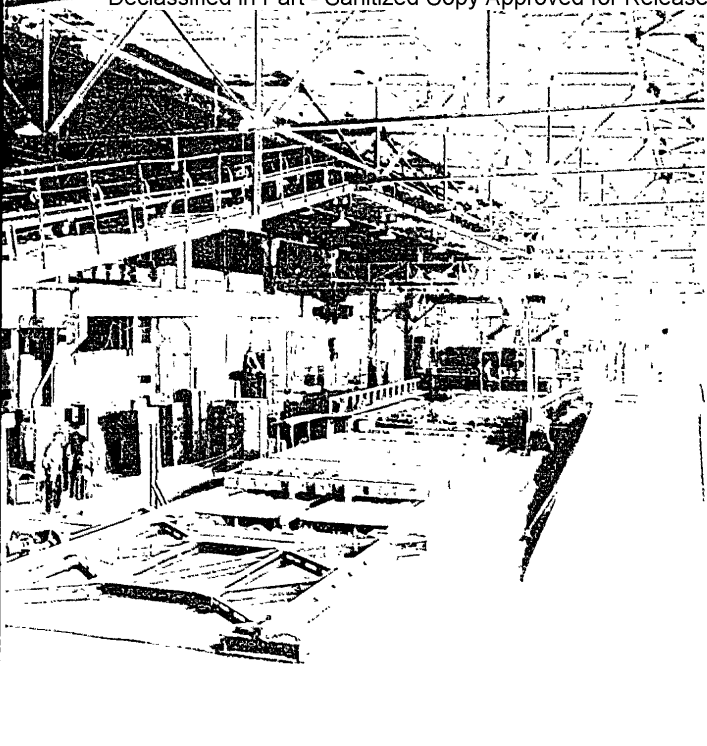
*First conveyer Slabs and floors are manufactured here for new blocks of flats in Moscow*

*Conveyer which yields prestressed reinforced concrete transverse beams*

*One of the last stages of the production process. Ready floors emerge from steaming chambers*

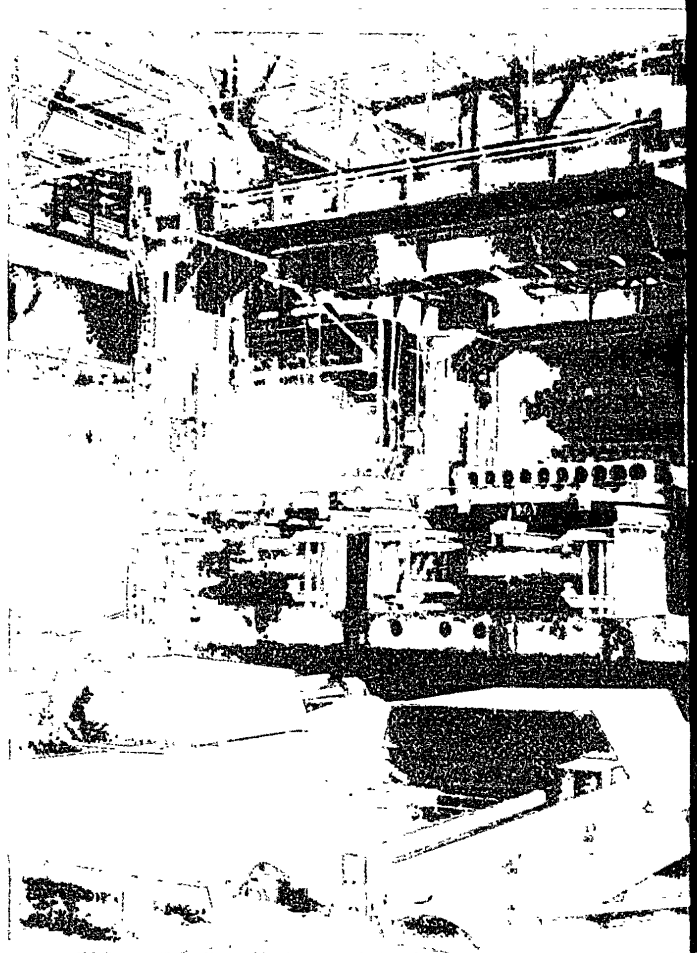
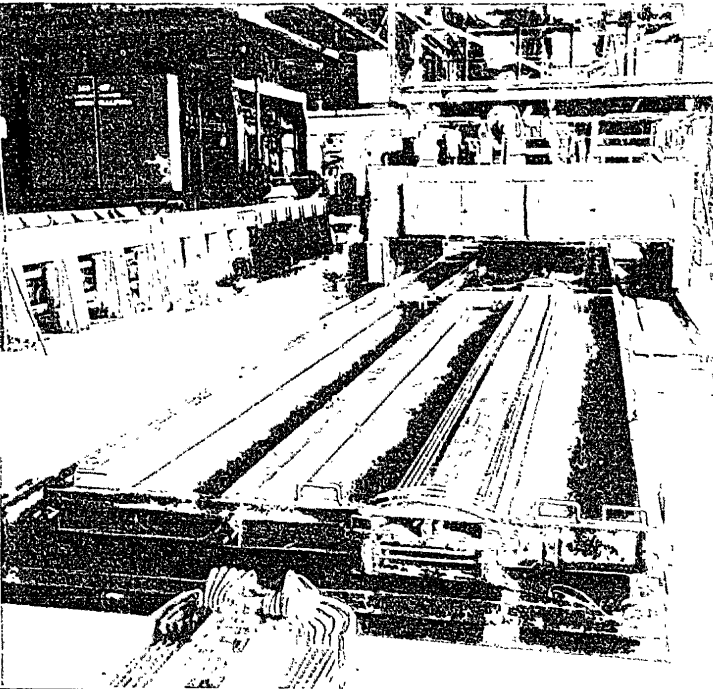






*First conveyer. Slabs and floors are manufactured here for new blocks of flats in Moscow*

*Conveyer which yields prestressed reinforced concrete transverse beams*





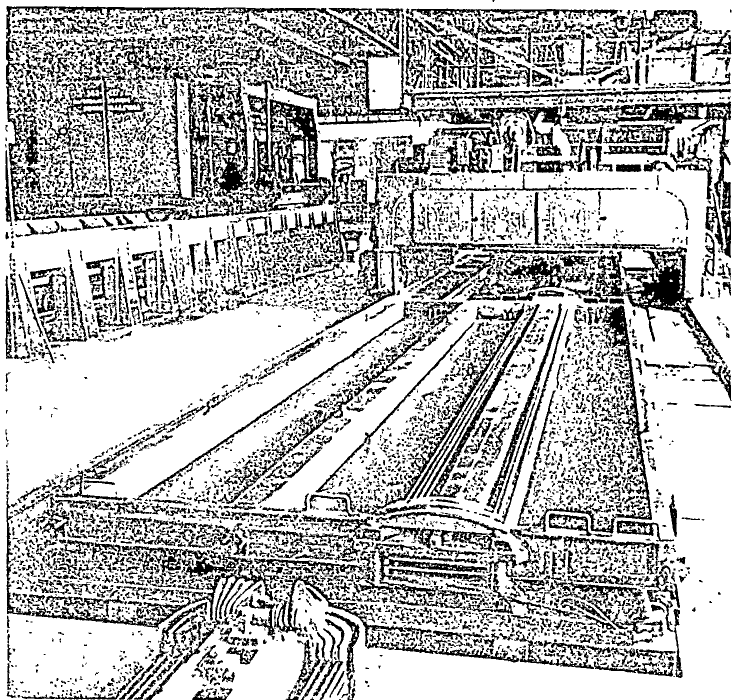
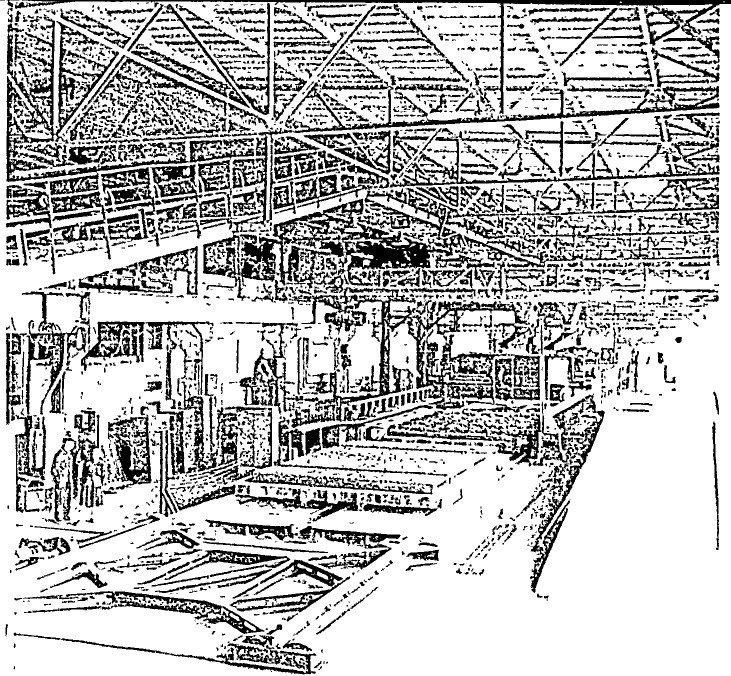
*Reinforcement shop Reinforcement is manufactured with the help of modern welding aggregates*

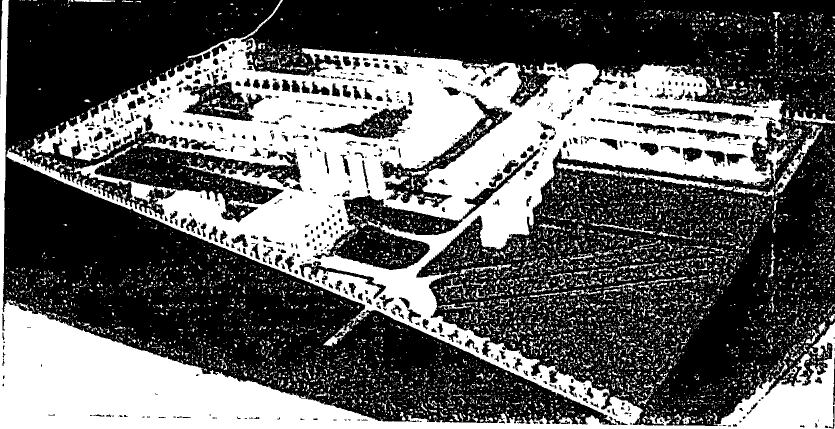
Госстройиздат

T-06464

Зак. 909.

Отпечатано в 15-й типографии «Искра революции»  
Управления полиграфической промышленности  
Мосгорсовнархоза, Москва.





*Plant No. 6 producing prefabricated elements is one of the largest enterprises of the building industry in Moscow. Model*

The manufacturing of all the elements is carried out on 80 metres long. On the wider of the three the casting of stand out, while out of the two narrower ones one is used for the p core slabs and the other—for the casting of various floor bea  
Each production line is equipped with 92 steel forms mo floor elements measuring up to 28 square metres can be cast these platforms are at first thoroughly cleaned with automati sprayed with a lubricating compound. Further down one of special prestressing machine which winds high-tensile steel

**A**

**AMONGST THE NUMEROUS** modern and well equipped works producing prefabricated reinforced concrete elements for the Moscow building programme, by far the most highly mechanised, possessing the most up to date equipment and well-known by the quality of its production is Works No. 6 of the "Glavmoszhelezobeton"—a specialised body in charge of all the works of the Moscow City Soviet, engaged in producing prefabricated building elements.

The main and auxiliary buildings of the Works, comprising boiler houses, high tension substation, repair shops and a laboratory, together with the storage areas and railway abutments occupy a vast territory of 8 ha. Two and a half kilometres of railway lines belonging to the works and a network of motor roads ensure excellent communications with the city. A canteen, dressing rooms, showers, rest rooms and a library are housed in a special building.

The Works specialises solely in the production of a limited number of types of floor-slabs and beams. However, these elements constitute over 50% of all the precast R. C. necessary for the erection of buildings of a type currently used in Moscow.

All the manufacturing is carried out along conveyer lines, ensuring the highest possible efficiency. A complete set of floor elements for a whole five-storey building averaging some two and a half thousand square metres of net living space (i.e. excluding kitchens, bathrooms, passages, etc.) are produced daily.

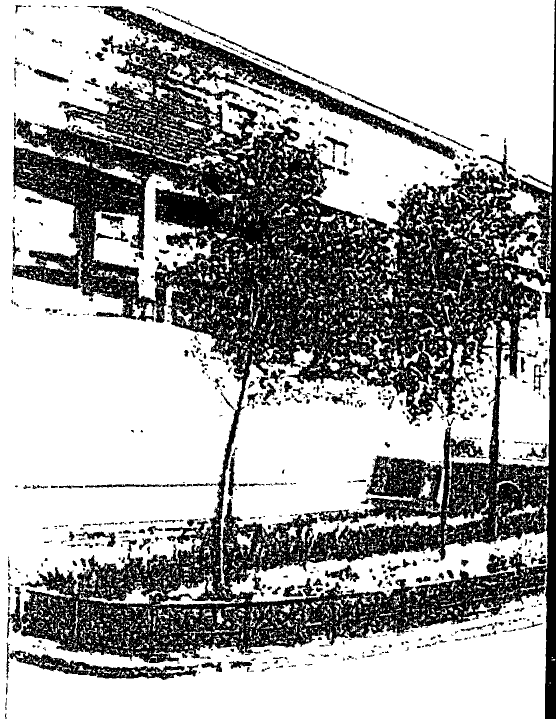
The technology of the Works—from the delivery of raw materials to the output—is a single stream-line of operations.

Some 800 large railway trucks bring in monthly supplies of sand, gravel, stone-chips and cement. The handling of all the incoming materials is fully mechanised so that only from 8 to 10 minutes are required for the unloading of a twenty-ton truck of aggregates and from 20 to 30 minutes for unloading a sixty-ton cement car.

Various types of conveyers are used for the transportation of inert raw materials to the stock piles and of cement to the storage "cans". Later these materials are transferred in the same way to the mixing shop, housed in a six-storey building. The two upper floors of this shop contain the receiving bunkers, the third floor is occupied by the automatic batching devices, whereas the mixers themselves producing 12 cubic metres of concrete on the first floor hand out the ready mix to the concrete placers.

All the reinforcement is prepared in a special workshop equipped with various fully automatic and semi-automatic devices, pneumatic and electrical machinery. Among these are a welding machine for mesh reinforcement ensuring simultaneous welding at 24 points, special devices for butt-welding, for the manufacture of three dimensional welded reinforcement, for the cutting and bending of steel, etc.

In the main production building all the operations, except the placing of shackles and the touching up of the completed details are equally fully mechanised.



The manufacturing of all the elements is carried out on three conveyer lines each 80 metres long. On the wider of the three the casting of standard size slabs is carried out, while out of the two narrower ones one is used for the production of long hollow-core slabs and the other—for the casting of various floor beams.

Each production line is equipped with 92 steel forms mounted on bogies on which floor elements measuring up to 28 square metres can be cast. Moving along the lines these platforms are at first thoroughly cleaned with automatic wire brushes and then sprayed with a lubricating compound. Further down one of the lines they move to a special prestressing machine which winds high-tensile steel wire on extractable pins

fixed to the forms; still further down polished steel rollers are introduced with great precision into the forms, followed by a system of vibrators working at 1000 cycles per minute. The completed slabs then proceed to a six-day steam curing and therefrom to the open storage yard up to 5,000 cubic metres of finished products.

The productivity of the conveyer lines has risen to 100 cubic metres per minute is required for the casting of one square metre. On average 300 cubic metres of precast concrete is made

ements  
building

works produc-  
Moscow build-  
possessing the  
tion is Works  
of the works of  
lements.

ouses, high ten-  
ge areas and  
ometres of rail-  
excellent com-  
s and a library

r of types of  
all the precast  
Moscow.  
ing the highest  
storey building  
ace (i.e. exclud-

to the output—

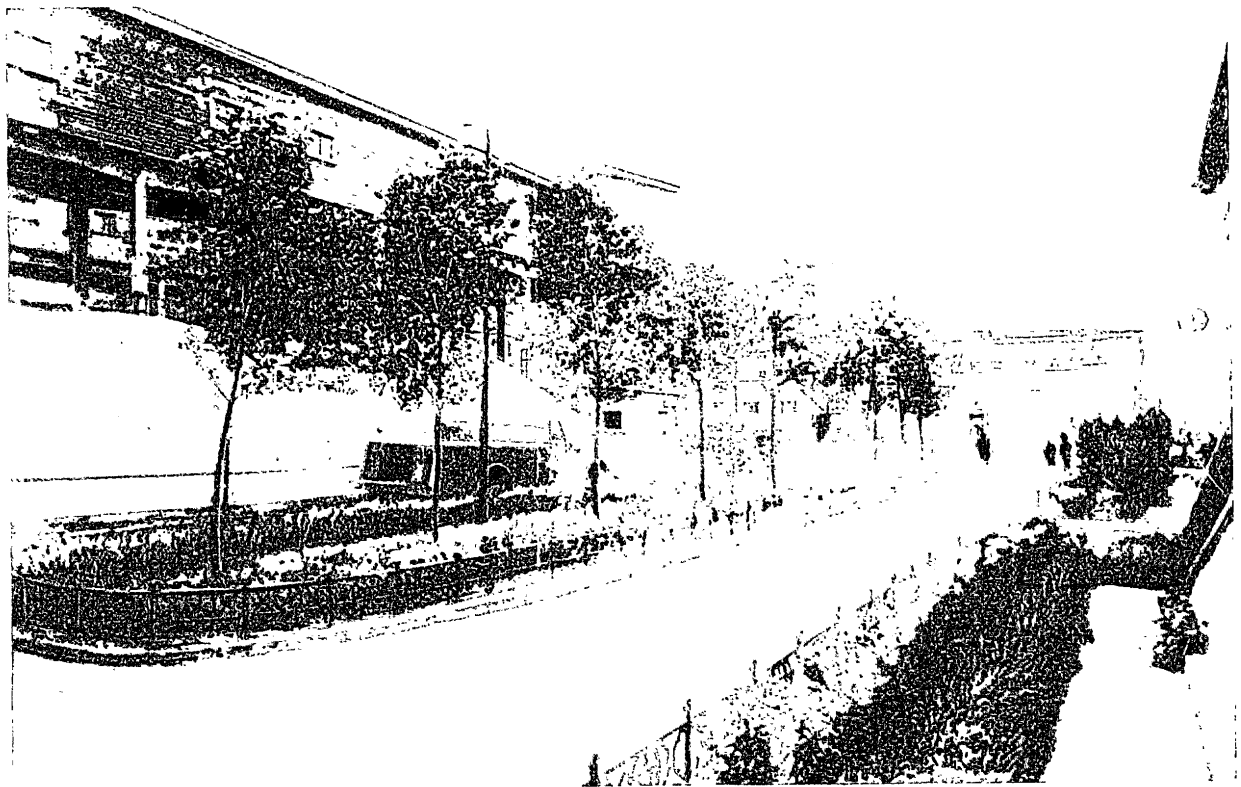
gravel, stone-  
mechanised so  
nty-ton truck of  
car.

raw materials  
rials are trans-  
lding. The two  
is occupied by  
ucing 12 cubic  
ete placers.

th various fully  
hinery. Among  
ous welding at  
ee dimensional

ing of shackles  
sed.

*Much work has been done by the workers to improve the location of the plant*



three conveyer lines each  
standard size slabs is carried  
production of long hollow-  
ms.  
mounted on bogies on which  
Moving along the lines  
wire brushes and then  
the lines they move to a  
wire on extractable pins

fixed to the forms; still further down polished steel tubes for the formation of the hollows are introduced with great precision into the forms, whereafter come the concrete placers followed by a system of vibrators working at frequencies up to 5,700 cycles per minute. The completed slabs then proceed to a sixty-metre long tunnel, where they undergo steam curing and therefrom to the open storage-yard capable of accommodating up to 5,000 cubic metres of finished products.

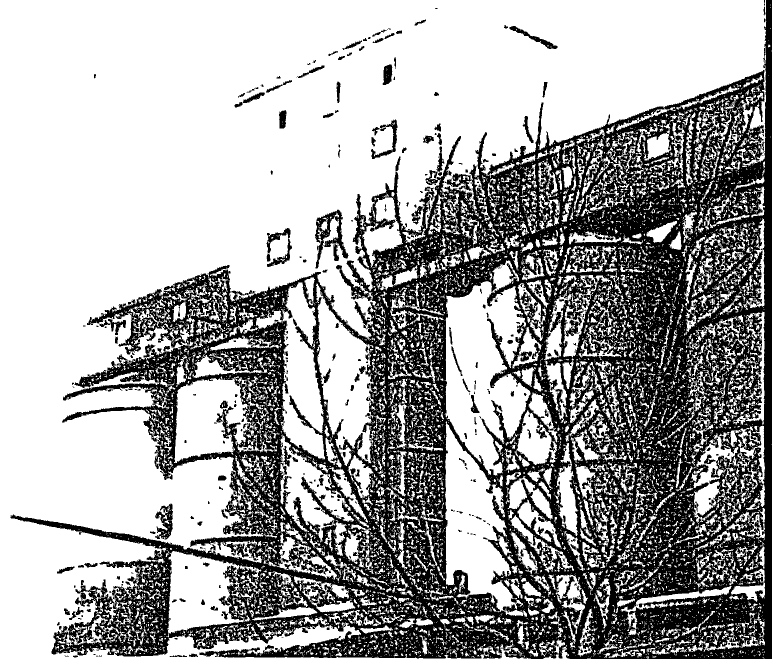
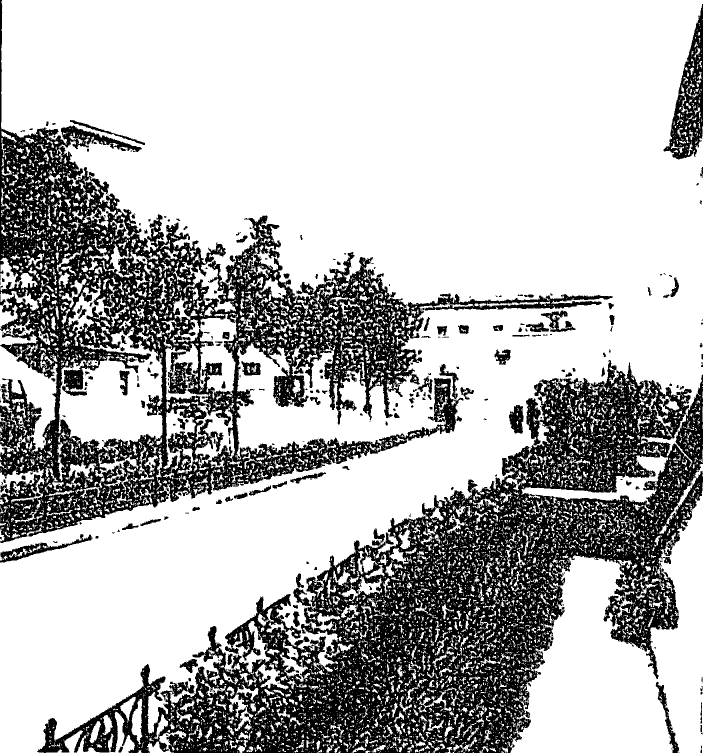
The productivity of the conveyer lines has reached a very high figure. Only one minute is required for the casting of one square metre of floor slab, while on the average 300 cubic metres of precast concrete is manufactured for year per man.

The quality of all the elements, each of a very high standard.

In 1957 the production of the Works cast R.C. In 1958 it is scheduled to produce a substantial increase in the proportion of

Builders from all over the world, with keen interest. Nearly 150 foreign delegations from the People's Republics and various other countries have

*Much work has been done by the personnel to improve the territory of the plant*



tubes for the formation of the hol-  
forms, whereafter come the concrete  
at frequencies up to 5,700 cycles per  
7-metre long tunnel, where they un-  
age-yard capable of accommodating

ched a very high figure. Only one  
c metre of floor slab, while on the  
manufactured for year per man.

The quality of all the elements, each of which is fully guaranteed by the Works is  
of a very high standard.

In 1957 the production of the Works has totaled 660 thousand cubic metres of pre-  
cast R.C. In 1958 it is scheduled to produce 850 thousand cubic metres, with a very  
substantial increase in the proportion of prestressed elements.

Builders from all over the world, when in Moscow, always inspect Works No. 6  
with keen interest. Nearly 150 foreign delegations from England, France, the Democratic  
Republics and various other countries have already visited it.

*Hundreds upon hundreds of tons of cement the  
main raw material for manufacturing precast rein-  
forced concrete are stored in these huge bins*

