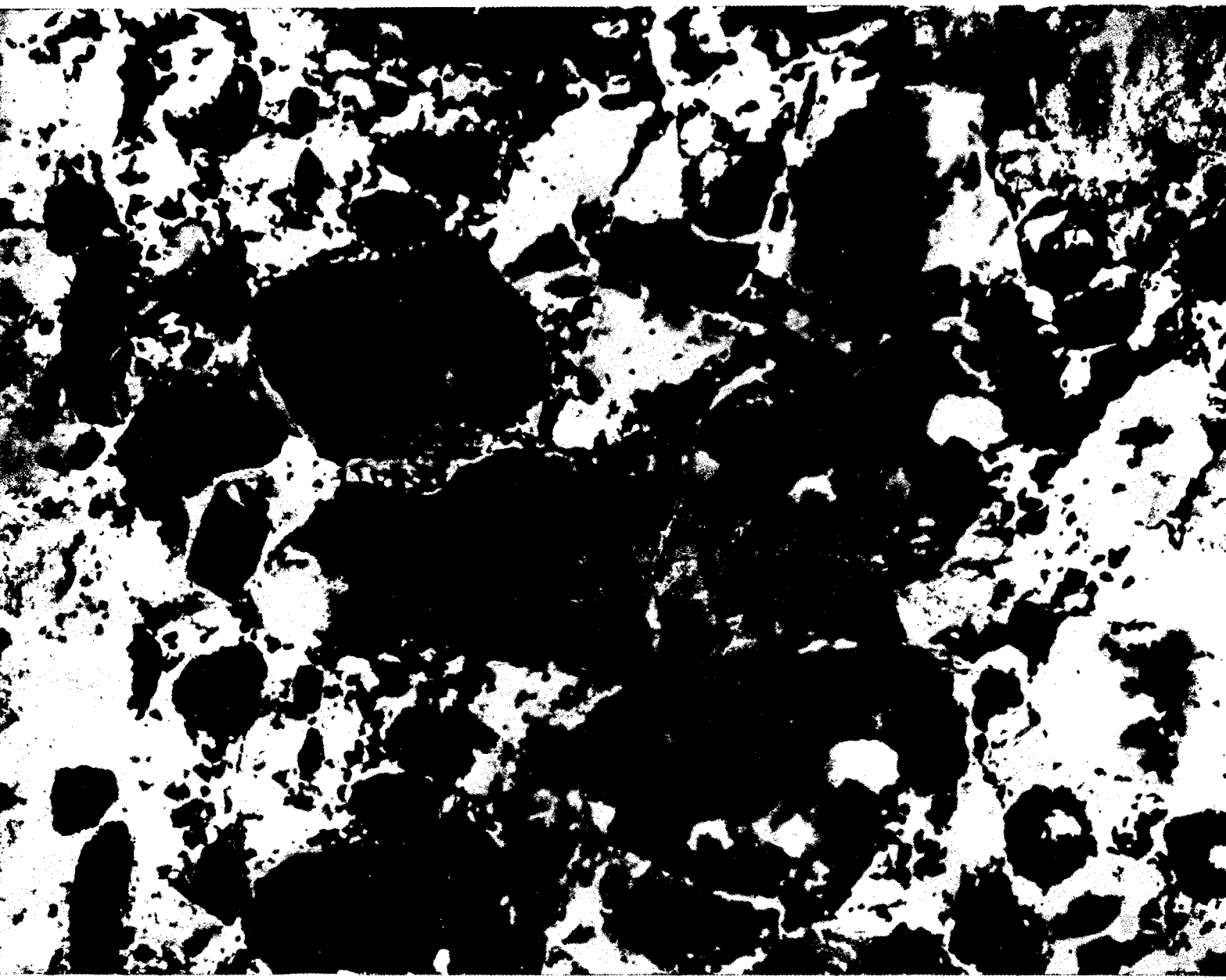
ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

4

1995

от



1995, N 4

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Форсированный разогрев бетонных смесей

Для получения форсированно разогретых бетонных смесей созданы и частично разработаны установки и устройства цикличного и непрерывного действия с использованием различных теплоносителей (электроэнергия, пар и др.).

Разогретые смеси могут применяться при любых технологиях производства сборного железобетона (обычного и преднапряженного; из тяжелого, легкого, ячеистого и других видов бетона) и для монолитного строительства (промышленного, жилищного, гидротехнического, транспортного и др.) при условии, что остывание бетона до температуры окружающей среды или до 0°С произойдет не ранее, чем через 6—14 ч. При этом расход энергии для разогрева смеси до температуры 60—95°С за 3—15 мин и последующего выдерживания бетона до получения им 40—80% прочности от проектной близок к теоретическому и в расчете на электроэнергию не превышает 40—70 кВт·ч/м^3 бетона.

Применение предварительно разогретых бетонных смесей позволяет:

сократить расход энергии на выдерживание бетона в 2—10 раз за счет введения теплоты в бетон по всему сечению изделий и конструкций и рационального использования экзотермии цемента в процессе выдерживания;

сократить продолжительность выдерживания бетона за счет исключения периодов предварительного выдерживания и подъема температуры, а также проявления экзотермии цемента на более ранних периодах выдерживания;

экономить 15—20% напрягаемой арматуры за счет исключения потерь преднапряжения в ней в процессе выдерживания изделий и конструкций;

повысить качество поверхностных слоев, особенно бетона массивных конструкций, за счет исключения образования трещин вследствие опережающего затвердевания бетона внутренних слоев;

улучшить условия труда и уменьшить разрушение помещений цехов за счет существенного уменьшения парения в них;

ускорить и увеличить оборачиваемость и долговечность форм и опалубки, частично или полностью отказаться от их смазки благодаря легкой распалубливаемости изделий и конструкций за счет постоянного сжатия бетона в процессе выдерживания и миграции воды к более холодной палубе форм и опалубки;

улучшить условия труда, уменьшить износ оборудования и форм за счет отказа от использования в ряде случаев жестких бетонных смесей благодаря тиксотропному загустеванию разогретой бетонной смеси (быстрая потеря подвижности при сохранении жесткости смеси);

производить бетонные работы практически в любых погодно-климатических условиях с минимально возможным периодом выдерживания, в том числе в районах с вечномерзлыми грунтами и сухим жарким климатом, а также при атмосферных осадках.

С зарубежными фирмами возможны совместное патентование, организация совместного производства для использования новшества либо его продажа.

Адрес: Россия, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, НИИЖБ.
Телефоны: 174-80-84, 174-88-51, 174-83-36
Факс: 170-60-13, 171-03-84

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

4 (475)

Август 1995

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
ВНИИжелезобетон, НИИЖБ, АК «Полимод»

СОДЕРЖАНИЕ

Конструкции

Орловский Ю.И., Семченков А.С., Лившиц Р.Я., Романский И.Г., Бигун Г.Г., Хоржевский В.И. Оценка напряженного состояния бетона дорожных плит 2

Жолдыбаев Ш.С. Трехслойные плиты перекрытий со средним слоем из пенополистирола 6

Бетоны

Милованов А.Ф. Влияние температуры на бетон 9

Жуков В.В., Ремнев В.В. Жаростойкие бетоны и перспективы их применения 13

Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона 16

Заводское производство

Аруова Л.Б. Гелиотермообработка железобетонных изделий с использованием пленкообразующих составов 21

Львович К.И. Стеновой блок из мелкозернистого бетона 23

Теория

Гениев Г.А. Практический метод расчета длительной прочности бетона 25

В порядке обсуждения

Сизов В.П. Сопоставление методов подбора составов бетона по маркам и классам 28

Зарубежный опыт

Трамбовецкий В.П. Регламентация применения суперпластификаторов в США 31

Москва

Издательство
литературы
по строительству

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1995

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 625.84

Ю.И. ОРЛОВСКИЙ, д-р техн.наук (НПП "Громада", Львов); А.С. СЕМЧЕНКОВ, д-р техн.наук (НИИЖБ); Р.Я. ЛИВША, И.Г. РОМАНСКИЙ, кандидаты техн.наук, Г.Г. БИГУН, инж. (Государственный университет "Львовская политехника"); В.И. ХОРЖЕВСКИЙ, инж. (ПО "Электрон", Львов)

Оценка напряженного состояния бетона дорожных плит

Одним из основных показателей, определяющих несущую способность бетонных плит, являются напряжения растяжения при изгибе, возникающие в растянутой грани плиты от нагрузки. Поэтому основной расчет сборных плит дорожных покрытий производят по напряжениям на растяжение при изгибе, при том или ином положении внешней нагрузки, поскольку эти напряжения являются наиболее значительными из всех видов напряженного состояния плит [1].

Очевидно, что для надежной работы плит под действием внешних нагрузок при изменении температуры и влажности следует использовать бетоны с достаточно высокой прочностью на растяжение при изгибе, характеризующееся повышенными упруго-пластическими деформациями. Однако прочностные возможности цементных бетонов ограничены величинами порядка 4 МПа на осевое растяжение и 8 МПа на растяжение при изгибе. Поэтому для восприятия изгибающих моментов, возникающих при приложении внешней нагрузки, требуется, как правило, армирование, процент которого увеличивается особенно при проектировании плит под большегрузные транспортные средства.

Значительно более высокими показателями прочности на растяжение при изгибе характеризуются серные, полимерсерные и дисперсно армированные стекловолокном бетоны. Диапазон прочности на растяжение при изгибе таких бетонов находится в пределах 10...35 МПа. При этом прочность на сжатие составляет 50...70 МПа. Кроме того, использование в составе бетона полимерной серы позволяет в широких пределах варьировать начальный модуль упругости серного бетона [2]. Известно, что снижение модуля упругости бетона позволяет снизить толщину плиты.

Упруго-пластические свойства представляют одну из важнейших характеристик дорожного бетона, определяющую способность бетонной плиты противостоять образованию трещин. Чем меньше относительное удлинение или выше модуль упругости, тем больше жесткость бетона и больше вероятность появления трещин при действии температур и динамических внешних нагрузок.

В качестве теоретического обоснования этого положения может быть использована формула Н.М. Герсеванова — Я.А. Мачерета для вычисления изгибающего момента в бесконечной полосе толщиной h под действием сосредоточенной силы P, приложенной посередине

$$M = 0{,}385\sqrt[3]{E_в/6F_0}\,Ph. \quad (1)$$

Из формулы следует, что снижение изгибающего момента при прочих равных условиях может иметь место при уменьшении модуля упругости бетона плиты, а следовательно — при повышении упруго-пластических деформаций.

Для дорожного строительства необходим бетон не только с подобранным для условий работы предельным относительным удлинением, обеспечивающим трещиностойкость дорожных плит, но и с высокими эксплуатационными качествами и технологичностью.

Высокая морозо- и солестойкость серных бетонов, отсутствие усадочных деформаций, возможность выполнения работ независимо от температуры окружающей среды и 100%-ный набор прочности в течение нескольких часов делают их перспективным материалом как для сборного, так и монолитного строительства.

Из цементных бетонов наиболее перспективным как по физико-механическим, так и по эксплуатационным свойствам, особенно в зимний период, является бетон на основе безгипсового портландцемента (БГПЦ) с применением комплексной химической добавки, состоящей из поташа и лигносульфоната [3]. Проведенные исследования физико-механических и технологических свойств позволили рекомендовать такой вид бетона для безобогревного бетонирования монолитных и сборно-монолитных конструкций и покрытий автодорог в условиях отрицательных температур, а также при изготовлении бетонных изделий на полигонах, где твердение происходит в естественных условиях при температуре, иногда опускающейся до — 30°С [4].

Целью настоящих исследований являлась оценка напря-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

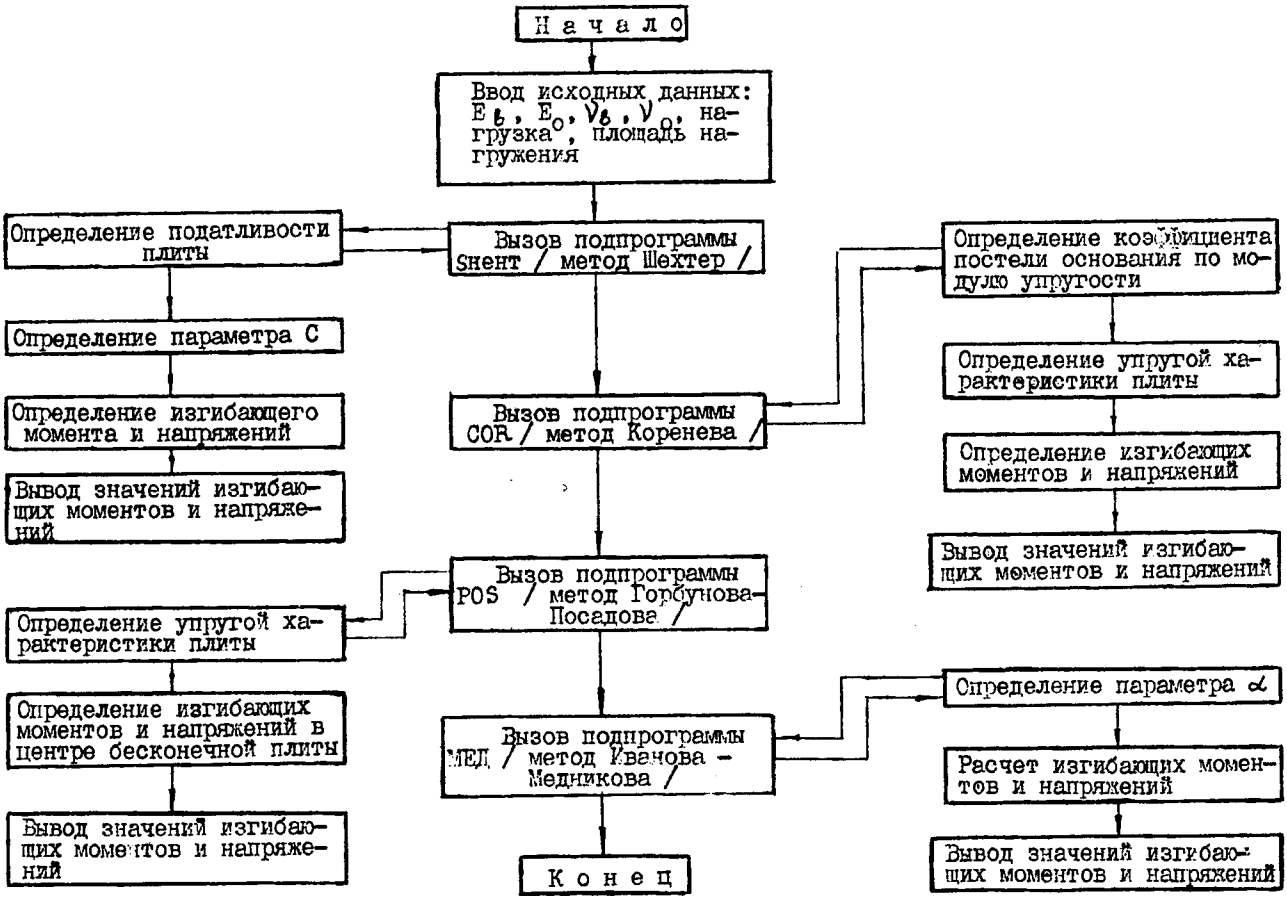


Рис. 1. Блок-схемы главной программы и подпрограмм расчета растягивающих напряжений

женного состояния дорожных плит (из вышеназванных видов бетонов) размером 175x300 и толщиной 10...20 см при действии нормативной нагрузки в виде условного расчетного автомобиля по схеме НК-80 (нормативная нагрузка на колесо — 10 тс).

Расчет напряженного состояния плит производился по 4 методам: О.Я. Шехтер, Н.Н. Иванова — И.А. Медникова, М.И. Горбунова-Посадова и Б.Г. Коренева при расположении нагрузки по центру, на краю и на углу плиты. В первом случае изгибающий момент вызывает растягивающие усилия в нижней части; во втором — растягивающие напряжения возникают в верхней зоне, причем эти напряжения на 35...45% выше, чем при центральной нагрузке. При угловой нагрузке в верхней зоне плиты также возникают растягивающие напряжения, на 40...90% превосходящие напряжения при центральной нагрузке. Известно, что при прочих равных условиях растягивающие напряжения для угловых и краевых нагрузок возрастают по мере увеличения размеров плиты и отношения модуля упругости бетона плиты к модулю упругости основания $E_в/E_o$.

В данных исследованиях рассматривались бетоны с модулем упругости в пределах 25...45 МПа и модулем упругости основания E_o = 60... 300 МПа.

Для расчета плит (при варьировании отношения $E_в/E_o$ в пределах 66...800 и толщины плит 10...20 см) была разработана программа на алгоритмическом языке "Фортран-5" для IBM AT. Блок-схемы главной программы и подпрограмм приведен на рис. 1. Программа работает в диалоговом режиме. В результате расчета на дисплей выдается промежуточная информация: изгибающие продольные и поперечные моменты, допустимые и фактические напряжения, ширина раскрытия трещин, расход арматуры на плиту и 1 м^2 при переходе на армированный бетон. Если фактические напряжения превышают более чем на 5% допустимые, программа возвращается к началу и предлагает увеличить толщину плиты или изменить армирование. По окончании расчета пользователь может: окончить работу с программой, вывести результаты расчета на АЦПУ, изменить толщину или армирование и сделать перерасчет. Таким образом, имеется возможность оптимизировать толщину или армирование плиты из условий более полного использования прочностных

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 1

Показатель	Единица измерения	Вид бетона				
		серный бетон	полимер-серный бетон	серный стеклофибробетон	полимерсерный стеклофибробетон	безгипсовый цементный с добавками
Прочность:	МПа					
при сжатии		40...48	50...53	54...56	69...70	36...42
на растяжение при изгибе		6,6...10,2	12...15	21...25	30...35	3,7...4,8
при осевом растяжении		2...3	3...3,5	5...6	12...14	2...2,5
Модуль упругости	ГПа	46...47	40...45	53...57	45...53	30...35
Коэффициент линейного температурного расширения	$^{o}C^{-1}$	1,2...1,6	1,0...1,1	1,1...1,2	0,91...1,0	1...1,5
Морозостойкость	Циклы	200	300	300	300	300
Водонепроницаемость		Водонепроницаемы				Проницаем
Водопоглощение по массе за 24 ч	%			0,05...0,15		2,6...4,3
Износостойкость	г/см^2	0,4...0,5	0,2...0,3	0,3...0,4	0,2...0,3	0,25...0,3

Таблица 2

E_b/E_o	h, см	Растягивающие напряжения, МПа						
		1			2		3	4
		в центре	на краю	в углу	на краю	на углу	в центре	в центре
800	10	10,1	15,2	14,7	–	–	6,8	10,0
	12	8,0	12,0	11,6	9,9	11,2	5,1	7,8
	14	6,4	9,6	9,2	8,0	3,8	4,0	6,2
	16	5,2	7,8	7,6	6,7	7,2	3,2	5,1
	18	4,3	6,5	6,3	5,8	6,1	2,7	4,2
	20	3,7	5,5	5,4	5,0	5,1	2,2	3,6
100	10	5,7	8,6	8,3	–	–	4,7	6,0
	12	4,7	7,1	6,9	4,6	6,2	3,7	4,8
	14	4,0	6,0	5,8	4,2	5,3	2,9	4,0
	16	3,4	5,1	4,9	3,8	4,6	2,4	3,4
	18	2,9	4,4	4,2	3,5	4,1	2,0	2,9
	20	2,5	3,8	3,7	3,1	3,6	1,7	2,5

Примечание. Методы: 1 – Шехтер; 2 – Иванова–Медникова; 3 – Горбунова-Посадова; 4 – Коренева.

Таблица 3

$E_в/E_o$	h, см	Иванов–Медников		Горбунов-Посадов	Коренев
		на краю	в углу	в центре	в центре
800	10	–	–	0,671	0,989
	12	0,824	0,965	0,640	0,982
	14	0,837	0,952	0,626	0,978
	16	0,856	0,951	0,614	0,973
	18	0,885	0,964	0,611	0,975
	20	0,895	0,959	0,602	0,973
100	10	–	–	0,823	1,044
	12	0,825	0,995	0,770	1,017
	14	0,837	0,952	0,736	1,003
	16	0,744	0,939	0,705	0,980
	18	0,795	0,969	0,690	0,976
	20	0,811	0,967	0,672	0,975

Примечание. Напряжения, рассчитанные по методу Шехтер, приняты за единицу.

свойств бетона и арматуры. Время расчета одного варианта конструкции плиты составляет 5...6 мин.

В результате проведенных вариантных расчетов с учетом фактических характеристик бетонов (табл. 1) были получены растягивающие напряжения по всем четырем упомянутым методам. Эти напряжения сравнивались с пределом прочности рассматриваемых видов бетона на растяжение при изгибе. Сопоставление полученных напряжений показало следующее. Величины растягивающих напряжений в центре плиты, рассчитанные по методам Шехтер и Коренева, близки между собой (расхождение составляло +7,7...—2,5%, т.е. результаты практически совпадают). Напряжения, рассчитанные по методу Горбунова—Посадова, оказались на 17,7...39,8% ниже напряжений, вычисленных по Шехтер. Расчет по методу Иванова—Медникова для напряжений при угловой нагрузке показал хорошее совпадение с методом Шехтер (расхождение до 9,1%); на краю плиты — оказались на 10,5...25,6% ниже.

В табл. 2 приведен фрагмент величин напряжений и их сопоставление (табл. 3) для двух крайних значений $E_в/E_o$ (800 и 100). За единицу приняты напряжения, полученные по методу Шехтер. Для практических

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

расчетов растягивающих напряжений построены номограммы, позволяющие выбирать толщины плит в зависимости от отношения $E_в/E_o$ и предельно допустимого значения прочности бетона на растяжение при изгибе (R_{btb}).

Примеры таких номограмм для расчета плит по методу Шехтер под нормативную нагрузку НК-80 показаны на рис. 2 и 3. Из приведенных номограмм видно, что толщина неармированных плит из серного бетона даже при величине $E_в/E_o$ = 800 находится в пределах 14 см при минимальном значении R_{btb} = 10 МПа. Толщина цементобетонных плит с использованием БГПЦ и комплексной химической добавки при таких же условиях составляет не менее 20 см при максимальных значениях R_{btb} = 4,8 МПа, которые возможны для такого бетона.

Снижение модуля упругости в полимерсерном бетоне и в бетоне, дисперсно-армированном стекловолокном, с одновременным повышением R_{btb} позволяет проектировать неармированные плиты толщиной 10 см, что практически невозможно при использовании цементных бетонов.

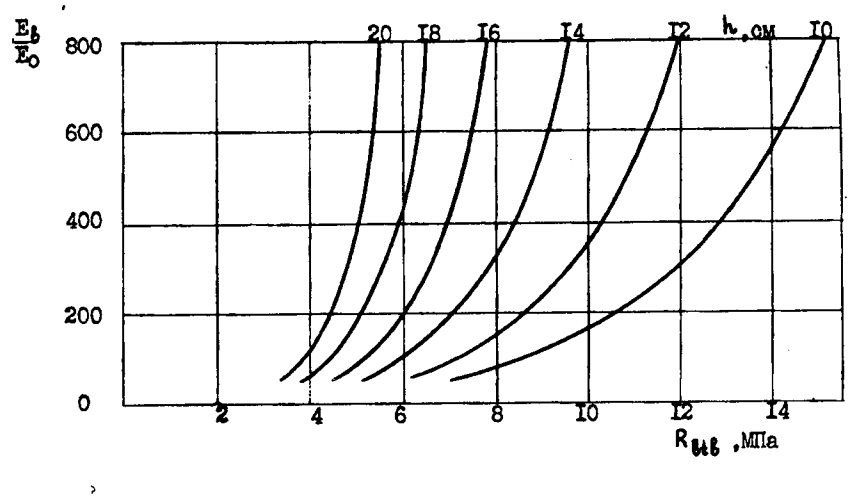


Рис. 2. Номограмма для расчета растягивающих напряжений по методу О.Я. Шехтер (нагрузка НК-80 на краю плиты)

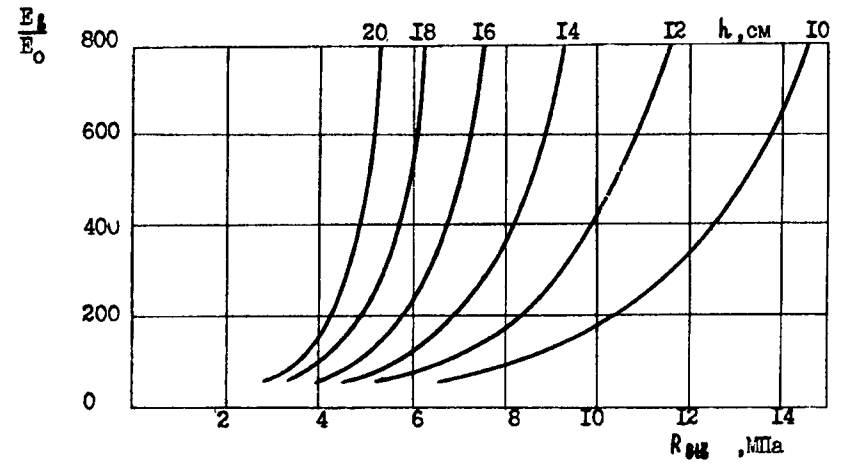


Рис. 3. Номограмма для расчета растягивающих напряжений по методу О.Я. Шехтер (нагрузка НК-80, угловая)

Выводы

Использование полимерсерных бетонов и серных бетонов с дисперсным армированием стекловолокном обычного алюмоборосиликатного состава с повышенными упругопластическими деформациями позволяет существенно улучшить способность дорожных плит деформироваться без нарушения сплошности материала. При этом обеспечиваются высокие эксплуатационные свойства и технико-экономические показатели плит.

Из цементных бетонов наиболее перспективными для дорожных плит являются бетоны на основе безгипсового портландцемента с комплексной химической добавкой. Последнее способствует повышению упругопластических деформаций бетона и его предела прочности на растяжение при изгибе, обеспечивая одновременно высокую морозостойкость при безобогревном способе твердения плит в условиях отрицательных температур.

Библиографический список

1. Тимофеев А.А. Сборные бетонные и железобетонные покрытия городских дорог и тротуаров. — М.: Стройиздат, 1986. — 320 с.

2. Орловский Ю.И. Бетоны, модифицированные серой. Дис. ... докт.техн. наук. — Львов, 1992. — 529 с.

3. Коновалов С.В., Коганзон М.С. Практическая методика расчета жестких дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок. — М.: Высшая школа, 1970. — 220 с.

4. Шийко О.Я. Бетон на безгипсовом портландцементе, твердеющий при отрицательных температурах. Дис. ... канд.техн. наук. — Львов, 1988. — 240 с.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 69.025.22

Ш.С. ЖОЛДЫБАЕВ, канд.техн. наук (ЦНИИЭП жилища)

Трехслойные плиты перекрытий со средним слоем из пенополистирола

Обеспечение теплоизоляции жилых помещений над техподпольем путем устройства утепленной конструкции пола, выполняемой в настоящее время на строительной площадке, не согласуется с задачами индустриализации строительства.

ЦНИИЭП жилища разработаны конструкции трехслойных комплексных плит перекрытий, изготовляемых на существующем оборудовании по обычной конвейерной технологии заводов КПД.

В качестве базовых для изготовления опытных выбраны характерные типовые плиты наиболее распространенных серий. Все плиты спроектированы на восприятие равномерно распределенной нагрузки. Основные характеристики конструкций приведены на рис. 1.

Общая толщина плит перекрытий составляет 160 мм, в том числе нижний слой толщиной 70...80 мм и верхний слой толщиной 50...60 мм из тяжелого бетона класса В15, средний слой из пенополистирола марки ПСБ (γ = 40 кг/м^3) толщиной 30 мм. Для обеспечения прочности приопорных сечений, а также совместной работы нижнего и верхнего бетонных слоев по контуру плиты предусмотрены бетонные ребра шириной 150 мм.

Трехслойные плиты перекрытий армируются основной сеткой С-1 из стержневой арматуры диаметром 6...8 мм класса А-III и арматурной проволоки диаметром 5 мм класса Вр-1, располагаемой в нижнем бетонном слое; конструктивной сетки С-2 из проволоки диаметром 5 мм класса Вр-1, располагаемой в верхнем бетонном слое, и конструктивных вертикальных каркасов, устанавливаемых в контурных ребрах. Плиты П2...П5 армированы дополнительной сеткой С-3, располагаемой в нижнем бетонном слое в приопорных участках, из стержневой арматуры диаметром 8 мм класса А-III и проволоки диаметром 5 мм класса Вр-1.

Плиты перекрытий изготовляли в экспериментальном цехе ЦНИИЭП жилища. Заготовленные арматурные сетки устанавливали в предварительно смазанную масляной эмульсией форму. Бетонную смесь укладывали в форму и уплотняли вибрацией без заглаживания, затем на нижний бетонный слой укладывали плиты пенополистирола, после чего производилась укладка бетона верхнего слоя с уплотнением и заглаживанием. Образование контурных ребер осуществлялось путем раздвижки плит пенополистирола. Одновременно с бетонированием образцов изготовляли стандартные кубы и призмы.

Плиты испытывали в горизонтальном положении с опиранием по контуру на железобетонные фундаментные блоки через слой песка. Углы всех плит не закреплялись и могли свободно подниматься. Нагрузка создавалась штучными грузами весом 3...5 кН, которые раскладывались на деревянные прокладки, обеспечивающие равно-

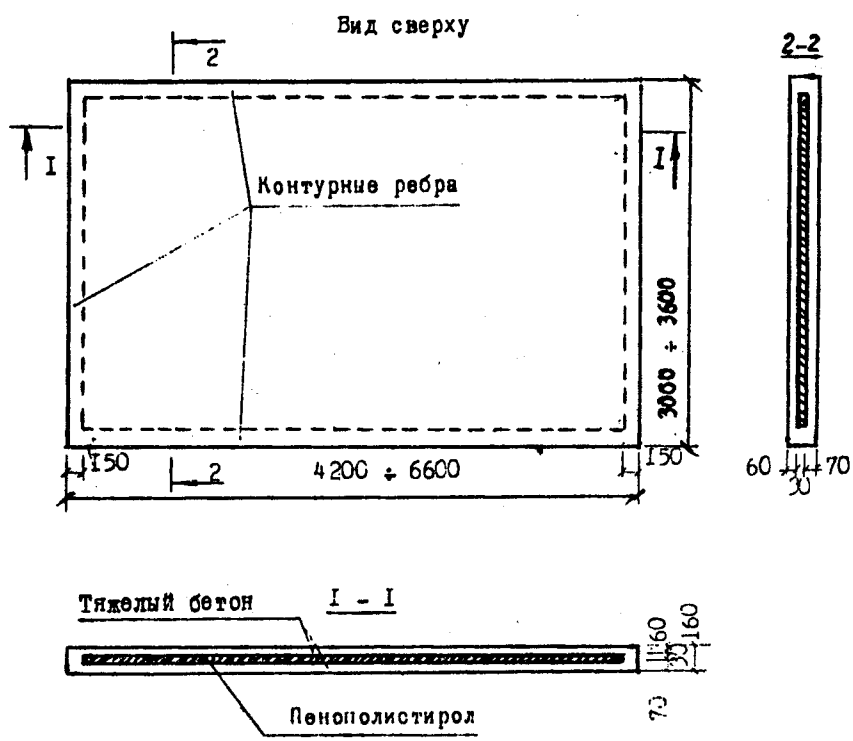


Рис. 1. Принципиальная схема трехслойной комплексной плиты перекрытия крупнопанельных жилых зданий

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

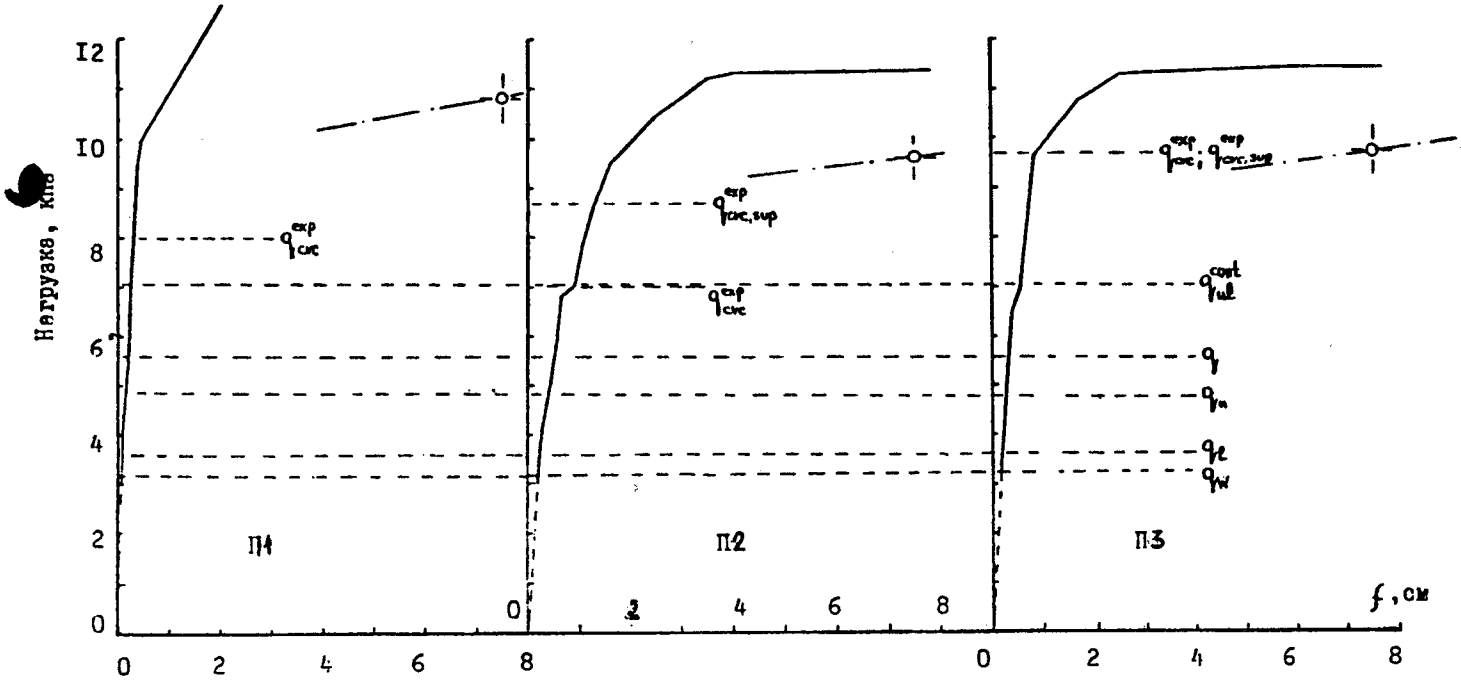


Рис. 2. Зависимости нагрузка—прогиб плит перекрытий

Нагрузки: q_w — от собственного веса; q_l, q_n, q — нормативные и расчетная; q_l, q_n, q_{ul}^{cont} — контрольные по проверке жесткости, трещиностойкости и прочности; q_{crc}^{exp}, $q_{crc,sup}^{exp}$ — образования трещин в пролете и у опор сверху; —o— — теоретическая величина предельного прогиба; —·— — теоретическое значение несущей способности

мерную передачу усилий на плиту. После каждого этапа нагружения производилась выдержка в течение 10 мин, при контрольных нагрузках — в течение 30 мин.

В процессе испытаний измеряли прогибы и осадки опор прогибомерами с ценой деления 0,01 мм. Ширину раскрытия трещин на различных этапах нагружения измеряли при помощи переносного микроскопа и трафаретом с ценой деления 0,05 мм.

На начальных этапах нагружения, вплоть до образования первых трещин, деформирование образцов происходило по зависимостям, близким к упругой работе (рис. 2).

Первые трещины образовались на потолочной поверхности в середине пролета при нагрузке 0,51...0,86, в среднем — 0,66 от разрушающей с последующим их развитием и образованием новых трещин и средней части плиты. Ширина раскрытия этих трещин изменялась от 0.05 мм в момент образования до 1...3 мм к моменту исчерпания несущей способности. Расположение трещин показано на рис. 3.

Для плит, свободно опертых по контуру и при незакрепленных углах, величины теоретических нагрузок перед образованием трещин в пролете вычислялись по формулам теории упругости [1]. Опытные значения нагрузки, соответствующие образованию нормальных трещин в пролете, превышали теоретические в среднем в 1,11 раз с рассеиванием — от 1,0 до 1,21 раза.

При дальнейшем увеличении нагрузки трещины образовывались и в приопорных сечениях, где верхний бетонный слой примыкает к торцевому ребру. Так, при нагрузке 0,6...0,86 от разрушающей образовывались верхние надопорные нормальные трещины. Ширина их раскрытия изменялась от 0,05 мм в момент образования до 1 мм к моменту исчерпания несущей способности.

Следует отметить, что трещины в нижнем слое в этих же сечениях не образовались; это подтверждает теоретические предпосылки, что приопорные сечения плит, опертых по контуру, работают на поперечные силы с более значительным запасом, чем у балочных плит. Благоприятным фактором здесь, по-видимому, является возможность некоторого перераспределения поперечной силы вдоль опорного контура, в частности, от середины к углам.

При нагрузке, контрольной по проверке трещиностойкости, трещины в расчетных сечениях не образовались. Следовательно, образцы по трещиностойкости удовлетворяют требованиям ГОСТ 8829-85 и проектным нагрузкам. При нагрузке, контрольной по проверке жесткости, опытные прогибы плит перекрытий составляли 1/12 000...1/44 000 пролета, что в 60...200, а с учетом длительного действия нагрузки в 40...100 раз меньше допустимой СНиП [2] предельной величины 1/200 пролета.

Исчерпание несущей способности плит перекрытий происходило в пролете при

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

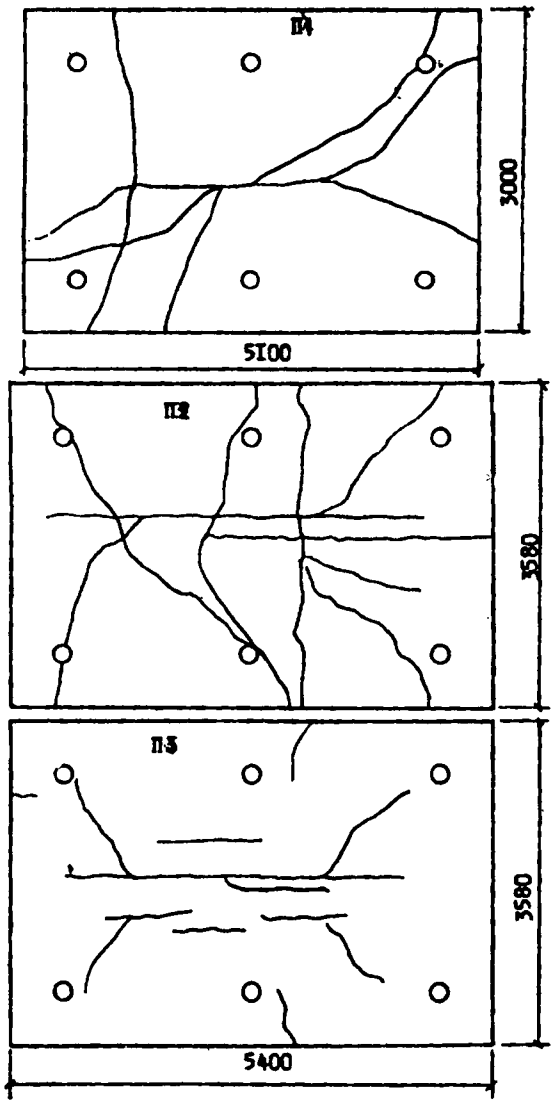


Рис. 3. Расположение трещин на потолочной поверхности плит

значительном нарастании прогибов и умеренном раскрытии пролетных и приопорных трещин. Разрушающая нагрузка в 2,01...2,26 раза выше расчетной, т.е. фактический коэффициент запаса $C_ф$ = = 2,01...2,26 (при требуемом C = 1,25).

Анализ несущей способности испытанных плит проводили по деформированной схеме с учетом пространственной работы. Опытные значения несущей способности образцов превысили теоретические в среднем в 1,21 раза с рассеиванием от 1,16 до 1,35 раза.

В заключение можно сделать вывод о наличии существенных резервов трещиностойкости, жесткости и несущей способности трехслойных плит перекрытий с ребрами вдоль опорного контура. Их можно рекомендовать в качестве несущих и ограждающих конструкций перекрытий над техподпольями и под чердачными помещениями жилых зданий.

Библиографический список

1. **Рекомендации по расчету и конструированию сплошных плит перекрытий крупнопанельных зданий.** — М.: ЦНИИЭП жилища, 1989. — 96 с.

2. **СНиП 2.03.01—84.** Бетонные и железобетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1986.

Вниманию потребителей

Мини-заводы и универсальные установки для изготовления стеновых, фундаментных и теплоизоляционных блоков из неавтоклавного пенобетона, серобетона и полимербетона.

Мини-заводы по выпуску воднодисперсных красок для внутренних и наружных работ.

Плиты фасадные половые облицовочные под натуральный камень, цветные суперцементы М800-1000.

Доступное сырье. Цены в 10-12 раза ниже мировых.

Авторский надзор ведущих специалистов стройиндустрии.

МГП "ТЕХНА" НИИЖБ Минстроя РФ

Тел. 174-74-08, 174-74-09, 174-74-16 факс с 10 до 18.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 691.327

А.Ф. МИЛОВАНОВ, д-р техн.наук, проф. (НИИЖБ)

Влияние температуры на бетон

При эксплуатации железобетонные конструкции подвергаются воздействию как климатической, так и технологической температуры. Первая изменяется как в течение суток (день, ночь), так и в течение сезона (зима, лето). В северной строительной зоне преобладают низкие отрицательные температуры и происходит замораживание и оттаивание бетона. В южной строительной зоне преобладают повышенные температуры, низкая влажность воздуха и солнечная радиация.

Технологические температуры в подавляющем большинстве случаев стационарны. При низкой (криогенной) температуре бетон охлаждается до минус 181°С в баках-аккумуляторах для сжижения газов. В цехах с горячим производством бетон подвергается воздействию повышенных температур от 50 до 200°С. В различных тепловых агрегатах, дымовых трубах и боровах жаростойкий бетон нагревается от 200 до 1200°С.

Вяжущее является основной частью бетона, которое во многом определяет его физико-механические свойства при воздействии температуры.

В южной строительно-климатической зоне (жаркий климат) преимущественно следует применять высокопрочные быстротвердеющие портландцементы, а также низкоалюминатные портландцементы, в которых трехкальциевого алюмината должно быть не более 8%. Это обусловлено тем, что формирование структуры бетона зависит в основном от ускоренной гидратации вяжущего, вызванной теплым наружным воздухом и интенсивным испарением влаги из бетона под воздействием пониженной влажности воздуха. При выборе заполнителя для бетона предпочтение следует отдавать карбонатным породам, искусственным и естественным пористым заполнителям.

Быстрый набор прочности цементного камня на ранних этапах твердения бетона приводит к образованию плотных оболочек новообразований, которые препятствуют доступу воды к непрогидратированным цементным зернам. При этом гидратация протекает быстро и условия для дальнейшего роста прочности ограничены. Одновременно идет процесс возникновения и развития микротрещин в бетоне от пластической усадки в начальный период его твердения. Нарушение структуры бетона происходит также от периодического суточного и сезонного изменения температуры и влажности бетона, которые препятствуют дальнейшему повышению прочности на сжатие и растяжение (рис. 1, кривая *3*) и модуля упругости бетона (рис. 3, кривая *2*) в жаркий период года.

Солнечная радиация в дневное время вызывает добавочное нагревание и высушивание бетона, что также способствует более интенсивному нарушению его структуры, снижению прочности на сжатие, растяжение и модуля упругости. У легкого бетона нарушение структуры проявляется в меньшей степени, чем у тяжелого, так как пористый заполнитель поглощает часть влаги и сглаживает неблагоприятное влияние изменений температуры и влажности воздуха жаркого климата. Поэтому в этих условиях более рационально применять легкие конструкционные бетоны.

При изготовлении железобетонных конструкций в жаркий период (летом) происходит большее снижение прочности бетона на сжатие и растяжение, чем при изготовлении их зимой. Бетон в массивных конструкциях менее подвержен влиянию жаркого климата.

В северной строительно-климатической зоне (суровых северных районах) желательно применять алитовые высокоалюминатные портландцементы. При низких отрицательных температурах гидратация цемента и твердение бетона хотя и замедленно, но происходят, и ими можно управлять, применяя химические добавки и предварительно выдерживая бетон при положительных температурах. Содержащаяся в порах бетона вода замерзает не вся одновременно при переходе температуры через 0°С, а постепенно, по мере понижения ее до минус 80°С. Чем меньше размер пор и капилляр, тем ниже температура замерзания воды. Увеличение содержания льда в порах и капиллярах бетона вызывает возрастающее в них давление, и напряжения в скелете цементного камня и в бетоне возрастают. Это приводит к нарушению структуры последнего.

Попеременное замораживание и оттаивание более сильно нарушает структуру бетона, что выражается в снижении его прочности на сжатие и растяжение (см.рис. 1, кривая *3*) и модуля упругости (см.рис. 3, кривая *1*).

При низких технологических (криогенных) температурах поры бетона заполняются льдом, находящимся в состоянии объемного сжатия и уже не являющимся слабым местом в структуре материала. С понижением температуры прочность на сжатие льда увеличивается. Понижение температуры до минус 120—150°С приводит к значительному увеличению прочности бетона на

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

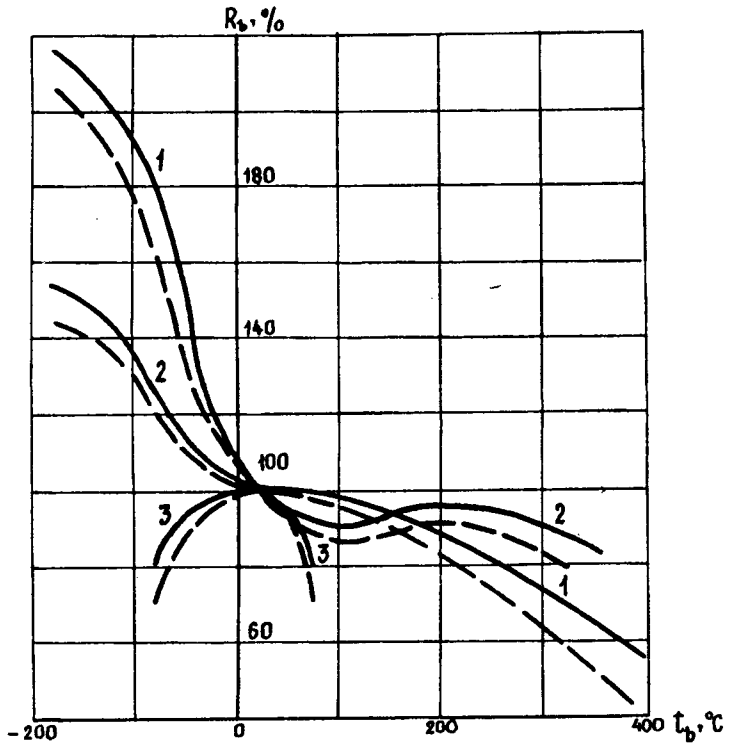


Рис. 1. Влияние температуры на прочность бетона
——— — при сжатии; - - - - - — при растяжении
1 — бетон, высушенный при технологической температуре; *2* — бетон естественной влажности при технологической температуре; *3* — то же, при климатической температуре

сжатие и растяжение (см.рис. 1, кривые *1* и *2*) и модуля упругости (см.рис. 3, кривая *1*). При дальнейшем понижении температуры до минус 185°С прочность бетона на сжатие и растяжение и модуль упругости бетона увеличиваются незначительно. С понижением температуры до минус 100°С упругие деформации уменьшаются, а пластические увеличиваются (рис. 4). Степень насыщения бетона влагой оказывает наиболее существенное влияние на нарастание его прочности и модуля упругости. Чем выше содержание влаги в бетоне, тем больше увеличиваются его прочность и модуль упругости при первом замораживании.

Прочность бетона при воздействии низких температур зависит от степени водонасыщения, температуры замораживания и количества циклов замораживания и оттаивания. Чем выше марка бетона по морозостойкости, тем лучше он сопротивляется воздействию низких температур, и прочность его на сжатие и растяжение больше. При низких температурах бетон должен иметь заполнители с высокой прочностью и низкой пористостью. Температурные деформации заполнителя и цементного камня должны быть по возможности одинаковыми. Бетон следует готовить с минимальным водоцементным отношением, для чего рекомендуется применять пластифицирующие добавки.

При повышенных технологических температурах в тяжелом бетоне в качестве заполнителей в основном используются горные породы. Прочность на сжатие гранита после нагрева до 200°С повышается, так как температура снижает внутренние напряжения, которые возникли в породе при быстром и неравномерном охлаждении расплавленной магмы. После нагрева до 600°С и выше в граните появляются трещины, и прочность на сжатие снижается вследствие резкого увеличения объема кварца, который при температуре 575°С переходит из β в α- модификацию.

Прочность на сжатие известняка после нагрева до 600°С выше, чем при нормальной температуре, что вызвано его упрочнением. При температурах нагрева до 700—900°С прочность его снижается из-за диссоциации вследствие удаления углекислоты. После нагрева выше 700°С и последующем охлаждении в известняке появляются трещины. Поливка водой приводит к разрушению известняка. Горные породы, содержащие кварц и известняки, при нагреве до 200—300°С вполне пригодны в качестве заполнителей для тяжелых бетонов. Однако наличие в бетоне крупного заполнителя вызывает большее снижение прочности на сжатие и растяжение после нагрева по сравнению с раствором.

Нагрев до 100°С бетона естественной влажности снижает его прочность на сжатие и растяжение (см.рис. 1, кривая *1*) и модуль упругости (см.рис. 3, кривая *4*). При дальнейшем повышении температуры бетон постепенно высыхает и прочность его несколько возрастает по сравнению с прочностью при 100°С. Если бетон во время нагрева не высыхает, то при температурах 150—250°С наблюдается снижение его прочности на сжатие и растяжение. Высушенный бетон при нагреве до 150°С почти не снижает прочность на сжатие. При дальнейшем повышении температуры прочность на сжатие и растяжение значительно снижается (см.рис. 1, кривая *2*). С повышением температуры до 200°С увеличиваются упругие и пластические деформации бетона (рис. 4).

Нагревание предварительно нагруженного (до напряжений сжатия 0,2—0,5$R_в$) бетона повышает на 10—25% его прочность на сжатие по сравнению с прочностью ненагруженного бетона. В охлажденном состоянии (после нагрева) прочность его на сжатие на 10—20% ниже, чем в нагретом состоянии до тех же температур. Увеличение количества крупного заполнителя и повышение водоцементного отношения способствуют большему

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

снижению прочности бетона на сжатие после нагрева. Прочность бетона на сжатие с крупным заполнителем из гранита несколько больше, чем из известняка. Молодой бетон в возрасте до 7—14 сут при нагреве до 300°С снижает прочность на сжатие на 30% больше, чем старый бетон при нагреве в возрасте от 1 мес до 5 лет.

После нагрева тяжелого бетона выше 500—600°С на поверхности образцов образуются мелкие трещины, которые при длительном пребывании бетона на воздухе увеличиваются, и бетон разрушается. При нагреве выше 200—250°С прочность бетона снижается во времени, поэтому тяжелые бетоны рекомендуется применять при температурах нагрева не выше указанного диапазона.

При высоких технологических температурах (от 200 до 800°С) в портландцементном камне происходит интенсивная дегидратация клинкерных минералов, что вызывает снижение прочности и потерю массы камня. После нагревания при действии влаги на цементный камень наблюдается вторичная гидратация (в основном за счет окиси кальция), которая увеличивает объем и нарушает структуру. Чтобы придать портландцементу жаростойкие свойства, в него добавляют тонкомолотые минеральные добавки, которые, вступая во взаимодействие с окисью кальция, устраняют возможность ее гашения и способствуют сохранению необходимой прочности и структуры портландцементного камня при нагревании и после его охлаждения.

После нагрева прочность на сжатие портландцементного камня с тонкомолотой шамотной добавкой (вяжущего) выше, чем одного цементного камня. Глиноземистый и высокоглиноземистый цементы обладают достаточными жаростойкими свойствами. При нагревании до 400°С почти заканчивается дегидратация гидроалюминатов. После нагрева свободной извести в этих цементах не обнаруживается. Жидкое стекло с отвердителем из кремнефтористого натрия и шамотной добавкой является

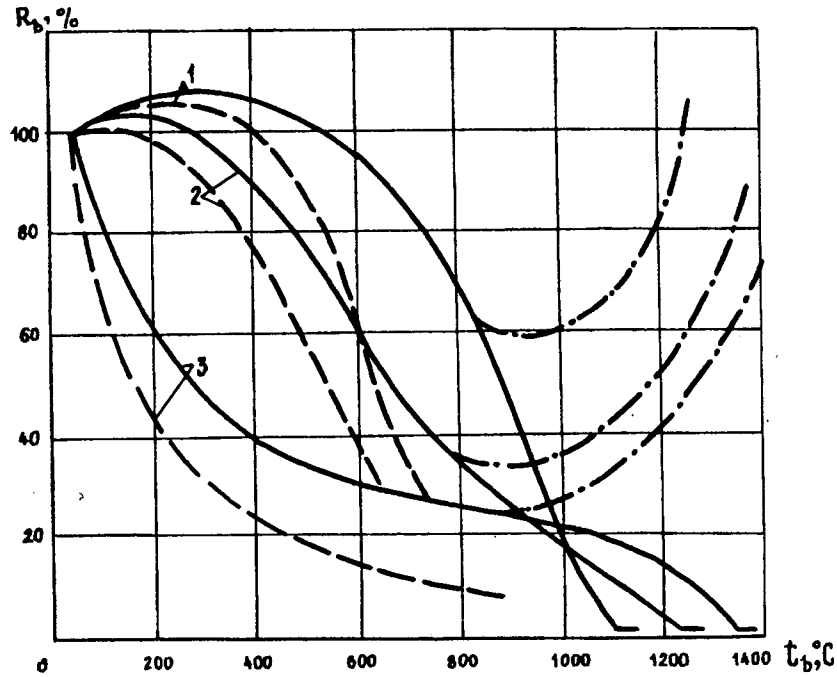


Рис. 2. Влияние температуры на прочность жаростойкого бетона
——— — при сжатии; - - - - — при растяжении
жаростойкий бетон: *1* — на жидком стекле; *2* — на портландцементе; *3* — на глиноземистом цементе

вяжущим, которое обладает высокими жаростойкими свойствами.

Портландцемент с тонкомолотой добавкой, жидкое стекло с отвердителем и тонкомолотой

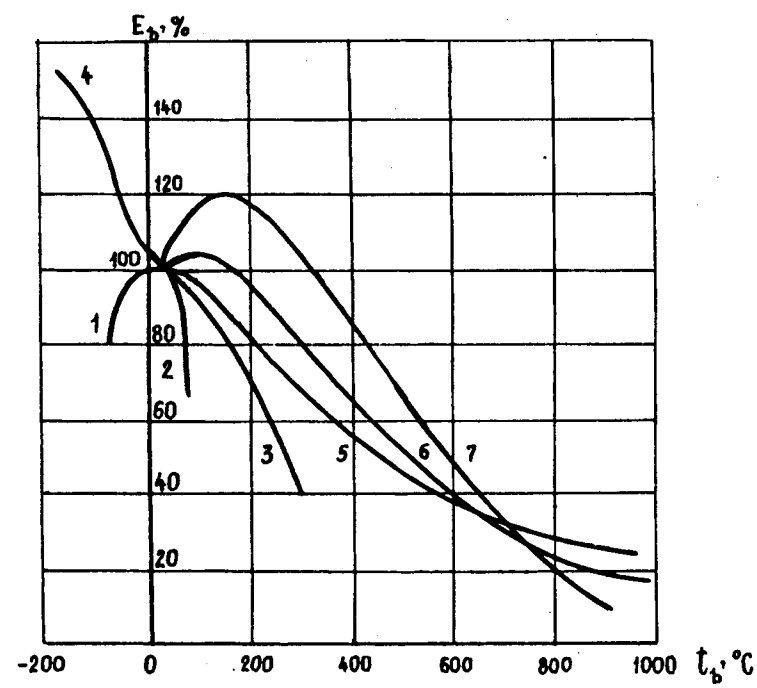


Рис. 3. Влияние климатической и технологической температуры на модуль упругости бетона
тяжелого в суровых условиях севера (*1*); в жарком климате (*2*); при технологических температурах: низких (*3*), повышенных (*4*); жаростойкого на глиноземистом цементе (*5*), на портландцементе (*6*), на жидком стекле (*7*)

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

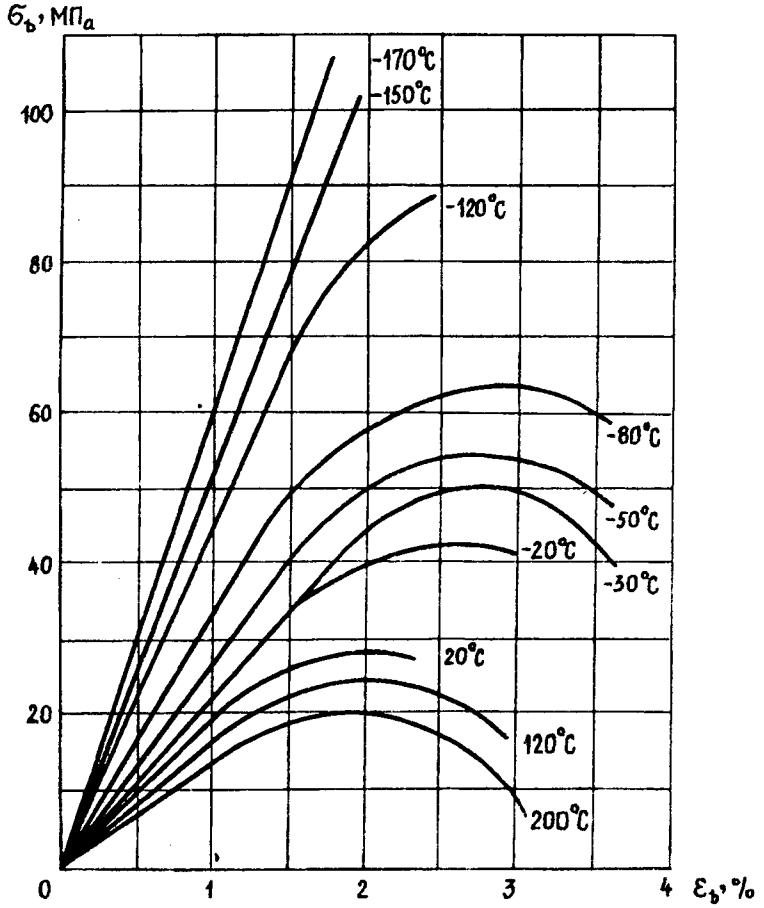


Рис. 4. Диаграмма сжатия бетона естественной влажности при низкой и повышенной технологических температурах

добавкой, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы поразному изменяют прочность на сжатие при воздействии высоких температур, что сказывается на свойствах жаростойких бетонов при их нагреве. В качестве заполнителей для жаростойких бетонов используют естественные и искусственные материалы, обладающие малыми температурными деформациями и достаточной огнеупорностью.

Жаростойкие бетоны на портландцементе и жидком стекле с шамотными заполнителями при нагреве соответственно до 300 и 500°С не снижают прочности на сжатие (рис. 2, кривые *1* и *2*). Жаростойкий бетон на глиноземистом цементе при нагреве до 300°С снижает прочность на сжатие, но зато при нагреве выше 1000°С имеет наибольшую относительную прочность на сжатие (см.рис. 2, кривая *3*). При нагреве до 800—1000°С прочность жаростойких бетонов в горячем и охлажденном после нагрева до тех же температур состоянии примерно одинакова. При более высоких температурах прочность на сжатие в нагретом и охлажденном состоянии существенно отличается. При этих высоких температурах в жаростойких бетонах появляется жидкая фаза, из-за которой в нагретом состоянии начинают существенно развиваться деформации сжатия. Прочность на сжатие в этом случае для несущих конструкций определяется по предельным деформациям в 2%. При остывании жаростойкого бетона жидкая фаза затвер-

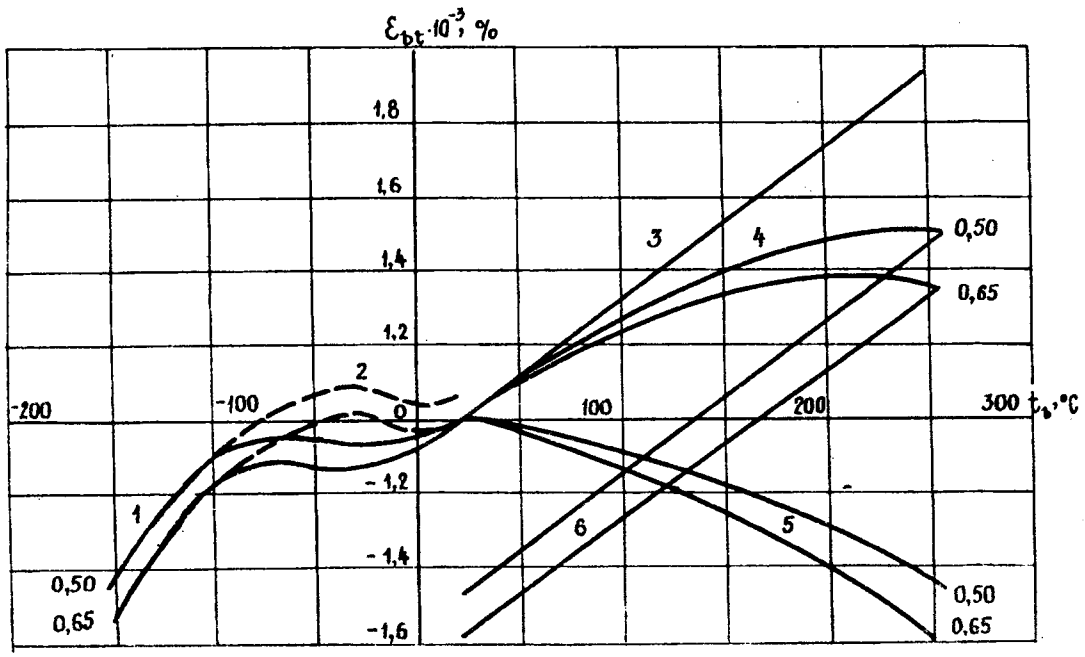


Рис. 5. Температурно-усадочные деформации бетона
1 — при замораживании; *2* — при оттаивании; *3* — при нагреве сухого бетона; *4* — при нагреве бетона естественной влажности; *5* — усадочные деформации; *6* — при охлаждении бетона естественной влажности;
0,50 и 0,65 — водоцементные отношения

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

девает и превращается в керамический черепок, который значительно увеличивает прочность бетона на сжатие в охлажденном состоянии.

Прочность на растяжение жаростойких бетонов при нагреве снижается значительно больше, чем на сжатие.

В жаростойких бетонах с повышением температуры увеличиваются упругие и пластические деформации, что снижает их модуль упругости (см.рис. 3). Чем длительнее нагревается жаростойкий бетон до приложения нагрузки, тем меньше развиваются пластические деформации и бетон становится более упругим. С увеличением циклов нагрева и охлаждения упругие деформации увеличиваются, а пластические не изменяются.

Температурная деформация бетона в основном зависит от вида заполнителя, влажности бетона и значения температуры. При низких температурах бетону свойственны деформации сокращения, которые с понижением температуры до минус 20°С увеличиваются (рис. 5, кривая *1*). При температурах минус 40—60°С происходит замедление сокращения бетона из-за увеличения объема льда. При более низких температурах деформации сокращения бетона увеличиваются пропорционально снижению температуры. Чем меньше водоцементное отношение, тем больше сокращается бетон.

При повышении температуры от минус 60°С до нуля температурные деформации расширения бетона превосходят таковые сокращения из-за того, что поровая влага внутри бетона замерзает не сразу. При повышении температуры влажный цементный камень расширяется значительно меньше, чем заполнитель, и это расширение уменьшается при удалении из геля адсорбционно связанной воды. При этом происходит развитие температурной деформации усадки.

Температурные деформации бетона естественной влажности оказываются меньше, чем этот показатель у сухого бетона (рис. 5, кривые *3* и *4*) из-за усадки бетона (кривая *5*). Температурные расширения и сокращения бетона — обратимые деформации (рис. 5, кривая *6*); температурная усадка и набухание бетона — необратимые деформации. Чем выше водоцементное отношение, тем больше деформации температурной усадки бетона.

Изменения прочности при сжатии и растяжении, модуля упругости и температурно-усадочных деформаций бетона при воздействии климатических и технологических температур необходимо учитывать в расчетах, так как эти изменения влияют на образование и раскрытие трещин, деформации и прочность конструкций.

УДК 666.943.2:658.567.1

В.В. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., В.В. РЕМНЕВ, канд.техн. наук (НИИЖБ)

Жаростойкие бетоны и перспективы их применения

Необходимым условием успешного развития научно-технического прогресса в строительстве тепловых агрегатов является широкое применение новых эффективных индустриальных конструкций и материалов. В настоящее время в мировой практике огнеупорной промышленности можно отметить тенденцию роста производства и применения жаростойких бетонов. Например, в США и Японии, занимающих ведущие позиции в этой области, выпуск жаростойких бетонов и изделий из них составляет: в США — более 50%, в Японии — около 40% общего производства всех видов огнеупоров [1].

В исследованиях по разработке и совершенствованию жаростойких бетонов можно выделить следующие основные направления:

создание новых, относительно дешевых вяжущих веществ для получения жаростойких бетонов;

использование в качестве составляющих компонентов бетонов различных отходов промышленности;

снижение плотности жаростойких бетонов.

В основном в жаростойких бетонах применяются следующие разновидности вяжущих;

гидравлические — портландцемент, быстротвердеющий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый, высокоглиноземистый и другие цементы;

воздушные — жидкое стекло, периклазовый цемент и др.; химические связующие — силикат натрия, фосфатные и другие подобные соединения.

При строительстве тепловых агрегатов из жаростойких бетонов в качестве вяжущего наиболее широко используется портландцемент. Обязательными компонентами такого бетона являются минеральные тонкомолотые добавки и заполнители, обладающие необходимой огнеупорностью. В зависимости от вида добавок и заполнителей бетоны на портландцементе применяют до 1200°С.

Известно, что при гидратации глиноземистого и высокоглиноземистого цементов гидрат оксида кальция в свободном состоянии не выделяется, поэтому жаростойкий бетон на основе таких цементов приготовляют без тонкомолотых добавок.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

По сравнению с другими гидравлическими вяжущими, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы имеют более высокую стоимость. Использование таких цементов в жаростойких бетонах с температурой службы ниже 800°С экономически нецелесообразно и технически не оправданно. Бетон на глиноземистом цементе с различными огнеупорными заполнителями можно применять в условиях службы до 1400°С. Высокоглиноземистый цемент обладает более высокой огнеупорностью, незначительной усадкой и малым коэффициентом термического расширения. На таком цементе можно получать бетоны, способные выдерживать температуру до 1700°С.

В последнее время появились новые разновидности вяжущих гидравлического твердения. Известно, что введение в портландцемент тонкомолотых добавок приводит к повышению водопотребности цементного камня, что отрицательно сказывается на его прочностных характеристиках. Поэтому в процессе совместного помола составляющих комплексного гидравлического вяжущего (портландцемента, шамота, активного кремнезема) дополнительно используется гидрофобный органический модификатор. В ходе помола происходит механо-химическая активация компонентов смешанного вяжущего, что приводит к частичному диспергированию зерен компонентов по слабым связям и механодеструкции элементов их структуры. В свою очередь, механодеструкция способствует существенному увеличению количества активных центров в единице объема. Вероятно, при этом происходит своеобразное капсулирование образованных в процессе механоактивации тонкодисперсных и активных поверхностей указанных материалов молекулами органического модификатора. При этом не исключена возможность образования органоминеральных комплексов межд дисперсными частицами минералов и молекулами модификатора [2]. Это приводит к существенному снижению водопотребности получаемого комплексного вяжущего и длительному сохранению его гидратационной активности, что повышает прочностные характеристики цементного камня.

Жаростойкие вяжущие отличаются более высокой удельной поверхностью, равной 4500...5000 см^2/г. Нормальная густота вяжущих изменяется в пределах от 18 до 21%, (портландцементов — 24...28%). В полученных вяжущих дополнительным источником образования низкоосновных гидросиликатов кальция служит пуццолановая реакция, протекающая с поглощением выделяющегося при гидратации клинкерных минералов портлантида. Активность многокомпонентного жаростойкого вяжущего равна 83,8 МПа.

При микрокристаллическом исследовании цементного камня установлено, что основная масса образца, нагретого до 1250°С, мелкокристаллическая, состоящая из вновь образовавшихся минералов, а также из стекла, которое скапливается вокруг пор и образует извилистые прожилки. Характерно присутствие большого количества удлиненных, собирающихся в радиальные пучки мелких кристаллов. Реакции в твердом состоянии способствуют спеканию реагирующих порошков, т.е. сцеплению, а затем объединению мелких кристалликов в более крупные кристаллические агрегаты, уменьшению объема пор и дальнейшему упрочнению монолита. В шлифе обнаружены анортит, ранкинит, форстерит, а также кристаллы муллита.

Особенности гидратации и микроструктуры цементного камня представляют значительный интерес с точки зрения обоснования и прогнозирования свойств бетонных смесей и бетонов на основе жаростойких вяжущих. В частности, пониженное содержание воды затворения и образующейся при гидратации вяжущего свободной извести позволяет рассчитывать на повышение термостойкости бетонов, а длинноволокнистое строение в сочетании с более высокими плотностью и прочностью — на существенное улучшение строительно-технических свойств и повышение долговечности бетонов. Многообразие вещественного состава вяжущих позволяет регулировать необходимые свойства бетонов в широких пределах. Это создает предпосылки для наиболее полной реализации потенциальных возможностей входящего в их состав портландцемента применительно к конкретным условиям, а также учитывать требования, предъявляемые к жаростойкому бетону по темпам твердения, прочности. огнестойкости, термостойкости и другим свойствам.

Жаростойкие бетоны на основе разработанных вяжущих и муллито-корундовом заполнителе обладают следующими строительно-техническими характеристиками:

Предел прочности при сжатии, МПа:	
после 28 сут нормального твердения	43
после термовоздействия 1000°С в течение 1 ч, без предварительной сушки	42
после термовоздействия 800°С, с предварительной сушкой при 100°С	45
Средняя плотность, кг/м^3	2,2
Термостойкость (800°С —вода)	29
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1520
Максимальная температура применения при одностороннем нагреве, °С	1600
Огневая усадка, %	0,3
Огнеупорность, °С	1700
Морозостойкость, циклы	100
Водонепроницаемость, атм	12

Технология приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси не отличается от традиционной и внедрена при строительстве и ремонте теплозащитных покрытий сооружений.

Используя аналогичные подходы в получении вяжущих, разработан самовспучивающийся жаростойкий материал. После затворения водой сухой смеси через 30 мин происходит увеличение ее объема в 2...2,5 раза. Это позволяет получить жаростойкий теплоизоляционный материал объемной массой 400...450 кг/м^3, прочностью при сжатии 2...3 МПа после термического воздействия 800°С в течение 1 ч. Температура службы такого материала 1100°С.

В отличие от цементных бетонов жаростойкий бетон на жидком стекле при нагревании

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

значительно меньше снижает прочность. Такие бетоны нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и эксплуатируются не только в условиях высоких температур, но и в различных агрессивных средах.

Свойства жароупорности бетона на основе наиболее распространенного натриевого жидкого стекла с добавкой отвердителя, содержащего в своем составе различные силикаты щелочноземельных металлов, обусловливаются свойствами щелочного натриевого силиката, характером продуктов реакции, выделяющихся при твердении бетона, видом и количеством заполнителя, а также рядом других факторов. Большое влияние на жароупорность бетона оказывают физико-химические процессы, протекающие при его нормальном твердении, а также изменение полученных свойств при воздействии высоких температур.

Вид отвердителей жидкого стекла особенно сказывается на поведении бетонов в агрессивных средах. В отличие от бетонов с отвердителем из кремнефтористого натрия при использовании нефелинового шлама и феррохромового шлака получаются более водостойкие и стойкие в среде сернистого газа бетоны.

Использование жаростойкого бетона на жидком стекле с отвердителями из материалов, содержащих силикаты кальция, имеет такие преимущества, как увеличение долговечности конструкций за счет повышенных прочностных характеристик, сокращение сроков их ремонта ввиду высоких адгезионных свойств такого бетона, а также ускорение ввода сооружения в эксплуатацию за счет быстрого набора бетоном прочности.

Анализируя особенности применения жидкого стекла для жаростойких бетонов, можно отметить следующее. С позиций формирования огнеупорных свойств бетонов, прежде всего огнеупорности, огневой усадки, содержание жидкого стекла в бетоне должно быть сведено к минимуму. Повышение вяжущих свойств жидкого стекла возможно путем его модифицирования, а также правильного и обоснованного выбора твердеющей композиции жидкое стекло — отвердитель — активный заполнитель.

В огнеупорной промышленности частично используется последний прием. Заполнители, применяемые в жаростойких бетонах, отличаются своими свойствами: пористостью, способностью реагировать с вяжущим, средней плотностью и др. Свойства заполнителя оказывают влияние не только на начальную прочность жаростойкого бетона, но также и на изменение прочности при сжатии в процессе нагревания и после воздействия высоких температур. В [3] исследовано влияние различных заполнителей (шамотного, хромитового, магнезитового, динасового и корундового) на свойства жаростойкого бетона на жидком стекле. Наилучшие результаты получены при использовании в качестве заполнителя шамота.

Практический интерес представляет применение в этих целях боя, брака и лома различных шамотных изделий, а также бывших в употреблении жаростойких бетонов на шамотных заполнителях. Утилизация вышеуказанных отходов, а также других отходов промышленности (например, феррохромовых шлаков) служит положительным фактором в деле охраны окружающей среды и резко снижает стоимость получаемых бетонов.

Феррохромовый саморассыпающийся шлак имеет удельную поверхность в 1,5 раза выше, чем у портландцементов. Это позволяет полностью исключить технологический передел помола отвердителя, что заметно снижает его стоимость. Однако эксперименты по определению оптимального количества шлака в составе жидкостекольного вяжущего позволили установить, что сроки схватывания вяжущего составляют всего 15 мин. Столь короткие сроки схватывания делают невозможной укладку жаростойкой бетонной смеси в конструкции.

В ходе исследований разработана бетонная смесь с улучшенными технологическими свойствами (осадка конуса 20...25 см, жизнеспособность 50 мин). Указанный эффект достигается за счет применения в бетоне недефицитного модификатора "К". Эксперименты по подбору состава бетона, стендовые испытания газокислородной горелкой и плазменным генератором показали, что прочностные характеристики, жаростойкость, долговечность бетона с этим модификатором такие же, как и у бетона без него.

На основании полученных данных разработана следующая технология укладки жаростойких бетонов в реконструируемое сооружение. В небольшие расходные контейнеры объемом на один замес имеющегося в наличии бетоносмесителя дозировались сухие составляющие бетона: тонкомолотый шамот, отвердитель (феррохромовый шлак), шамотные песок и щебень. Требуемое в смену количество расходных контейнеров складировалось в непосредственной близости от бетоносмесителя принудительного перемешивания. Бетонную смесь готовили в такой последовательности: вначале перемешивали сухие составляющие, затем добавляли жидкое стекло с модификатором "К". Из бетоносмесителя смесь подавали в пневмобетононасос или в бадью и укладывали в сооружение. При этом подвижность бетонной смеси составляла 25 см осадки конуса, а жизнеспособность достигала 60 мин. Смесь уплотняли навесными и глубинными вибраторами, а укладку ее в густоармированную конструкцию сооружения производили при температуре наружного воздуха от +10 до +30°С.

Жаростойкие бетоны имеют прочность при сжатии 18...20 МПа, температурная усадка после нагревания до 1200°С не превышает 0,4%.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить модифицированный жаростойкий бетон с улучшенными технологическими характеристиками, что дало возможность осуществить качественную укладку бетонной смеси в густоармированную конструкцию реконструируемого сооружения

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

без снижения прочностных и огнестойких характеристик бетона.

Воздушно-твердеющий бетон на периклазовом цементе затворяют 17...20%-ным водным раствором сернокислого магния. Структурные изменения бетонов при воздействии высоких температур обусловлены двумя противоположно направленными процессами: усадкой периклазового цемента вследствие его спекания и ростом объема зерен заполнителей в результате образования шпинели и твердого раствора магнезиальных шпинелей, что компенсирует усадку цемента. Такие бетоны применимы в условиях службы при температуре до 1700°С.

В жаростойких бетонах на фосфатных связующих обычно используют ортофосфорную кислоту или фосфаты различной степени замещения. К наиболее используемым связующим этого вида относятся алюмофосфатное, алюмосиликатофосфатное, алюмохромфосфатное, магнийфосфатное, хромфосфатное и др. Изделия, изготовленные из бетонной смеси на фосфатном связующем, затвердевают и приобретают прочность в результате обязательной термической обработки при температуре 500°С. Бетон на фосфатных связующих в зависимости от применяемых заполнителей может работать при температуре до 1700°С [4].

На основе тонкомолотых силиката натрия и различных огнеупорных компонентов можно получать жаростойкие бетоны с широким диапазоном температуры применения. Отформированные бетонные изделия подвергаются термической обработке до 200°С. Температура применения этих изделий до 1600°С [5].

Таким образом, бетоны, приготовленные на различных видах вяжущих и заполнителях, могут быть использованы в тепловых агрегатах с заданными температурами службы. Процесс производства изделий и монолитных конструкций из жаростойкого бетона принципиально не отличается от традиционного из обычного строительного бетона.

Экономическая эффективность жаростойкого бетона обусловлена тем, что изделия на его основе в 2...3 раза дешевле огнеупорных. Использование бетона позволяет применять индустриальные методы строительства и увеличивает срок службы тепловых агрегатов. Из такого бетона можно изготовлять конструкции и изделия разной конфигурации, что позволяет создавать любые конструктивные решения тепловых агрегатов и обеспечивать оптимальные условия для наиболее эффективных технологических процессов.

Библиографический список

1. **Жаростойкие бетоны — эффективные материалы стройиндустрии.** — М.: ЦБНТИ, 1975. — 15 с.

2. Бабаев Ж.Т., Башлыков Н.Ф., Сердюк В.Н. **Основные принципы получения высокоэффективных вяжущих низкой водопотребности** //Пром-сть строит. материалов. Сер. 3. Промышленность сборного железобетона/ ВНИИЭСМ. — М., 1991. — Вып. 1. — 77 с.

3. Тарасова А.П. **Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе.** — М.: Стройиздат, 1982. — 133 с.

4. **Исследования огнеупорных и теплоизоляционных фосфатных материалов.** //Науч.тр./ЦНИИСК им. Кучеренко/ — М.: 1987. — 165 с.

5. **Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол** /Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, М.И. Зейфман, Б.Д. Тотурбиев. — М.: Стройиздат, 1986. — 144 с.

УДК 691.54:666.9.015.42

С.С. КАПРИЕЛОВ, канд.техн.наук (НИИЖБ)

Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов

В последнее время возрастает интерес к проблеме использования ультрадисперсных материалов (УДМ*) в технологии бетона и, следовательно, к вопросам, связанным с формированием структуры камня при гидратации "смешанного" вяжущего, под которым подразумевается смесь цемента и УДМ.

Исследования смешанных систем с различными по химико-минералогическому составу УДМ, полученными конденсацией из газовой фазы и при тонком помоле (см. таблицу), позволяют выявить общие закономерности структурообразования.

Процесс формирования структуры может быть условно разделен на две стадии: первую, когда система находится в

*Термин распространяется на материалы с размером частиц менее 1 мкм [1, 2].

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДМ	Обозначение	Содержание SiO_2, %	Средний размер частиц, мкм	Удельная поверхность по БЭТ, $м^2/г$	Гидравлическая активность, мгСаО/г
Конденсированные:					
пыль производства ферросилиция – микрокремнезем	МК	90,1	0,25	20,2	102
пыль производства феррохрома	Афх	16,0	0,43	6,3	15
Тонкомолотые:					
кварцевый песок	П	98,5	0,3–0,5	18,6	10
трепел	Т	45,0	0,3–0,5	40,0	92

Примечания: 1. Все УДМ, за исключением кварцевого песка, содержат аморфный SiO_2, в песке – кристаллический SiO_2. 2. Частицы конденсированных УДМ – сферической формы, тонкомолотых – неправильной формы.

пластичном состоянии, что предопределено наличием обратимых коагуляционных контактов (с момента приготовления до конца схватывания), и вторую, когда система обретает достаточную структурную прочность, что предопределяется наличием необратимых фазовых контактов (с момента конца схватывания на весь последующий период существования системы).

На первой стадии вокруг частиц твердой фазы в суспензиях образуются адсорбционно-сольватные слои воды, толщина которых зависит от дисперсности частиц. Это адсорбционно связанная вода, которая находится в поле поверхностных сил и может рассматриваться как полимолекулярный смачивающий слой, способный создавать "расклинивающее давление" [3]. С отдалением от поверхности частиц адсорбционный слой переходит в объемную фазу свободной воды, количество которой является решающим фактором, влияющим на текучесть системы.

Как показывают расчеты, на частицах УДМ образуется слой адсорбционно связанной воды, по объему сопоставимый с объемом частицы. Таким образом, количество свободной воды, предопределяющей текучесть, сокращается на величину, сравнимую с объемом УДМ, а вязкость системы соответственно повышается по мере увеличения в ней объемной концентрации микронаполнителя.

Частицы УДМ, покрытые адсорбционными слоями воды, заполняют промежутки между грубодисперсными частицами цемента, создавая вязкопластичную среду, благодаря которой суспензия, в отличие от обычной цементно-водной, обретает особые свойства: повышенную вязкость, пластическую прочность и тиксотропность (рис. 1).

Эти свойства связаны как с присутствием в системе ультрадисперсных частиц, которые за счет многочисленных коагуляционных контактов повышают вязкость, так и с важной ролью адсорбционных слоев воды вокруг них.

С одной стороны, количество адсорбционно связанной воды свидетельствует о соответствующем сокращении объема свободной воды — главного фактора, влияющего на текучесть, и соответственно вязкость. С другой, адсорбционная пленка уменьшает межмолекулярное взаимодействие твердой фазы и, снижая силу сцепления между частицами на два порядка ($5{,}5\times10^{-9}$ Н по сравнению с $5{,}5\times10^{-7}$ Н в газовой дисперсионной среде [4]), ослабляет коагуляционные контакты, придавая им обратимый характер. Поэтому смешанная система, обладая повышенной вязкостью и сравнительно высокой пластической прочностью (см.рис. 1), из-за слабых, хотя и многочисленных коагуляционных контактов при получении вибрационного импульса разжижается. После прекращения вибрационного воздействия коагуляционные контакты восстанавливаются, система может быстро структурироваться и снова становиться вязкой, что является признаком тиксотропности.

По данным эксперимента (рис. 1, Б и рис. 2) можно заключить, что при дозировке УДМ в количестве до 5% массы цемента вязкость системы существенно не увеличивается, поэтому для обеспечения необходимой текучести суспензий не требуется дополнительного количества воды затворения. Возможно, это связано с тем, что при невысоких дозировках УДМ создается

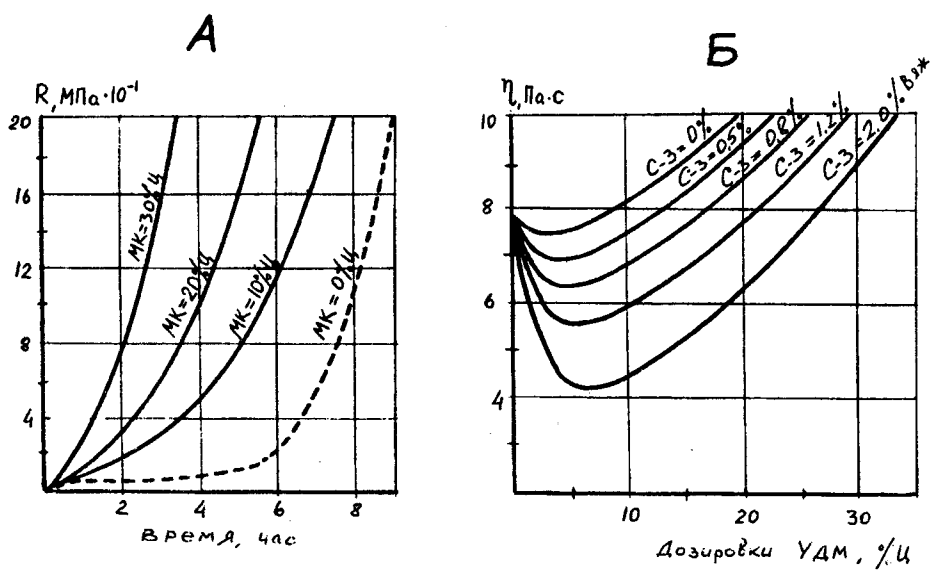


Рис. 1. Кинетика пластической прочности (А) и вязкость (Б) суспензий с В/(Ц + УДМ) = 0,29 в зависимости от дозировок конденсированного УДМ — микрокремнезема (МК) и суперпластификатора С-3

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

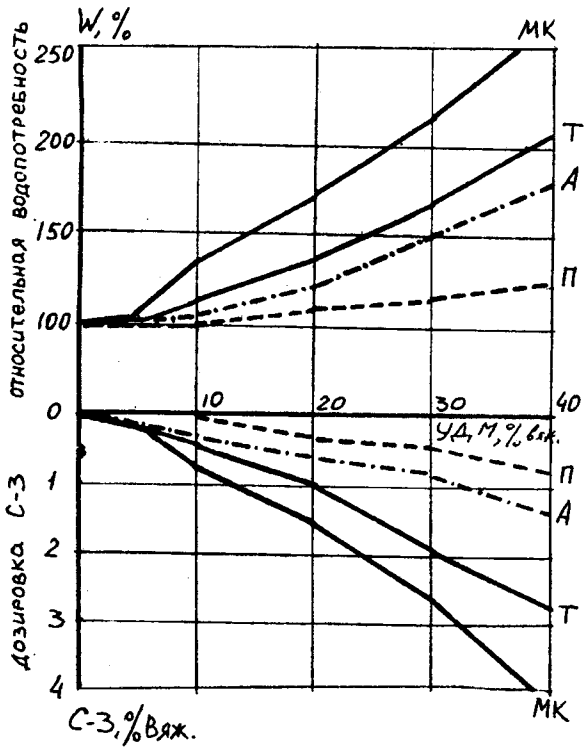


Рис. 2. Влияние различных видов УДМ на водопотребность (*W*) и дозировки С-3, необходимые для получения теста нормальной густоты

баланс между факторами, влияющими на текучесть: сокращение объема свободной воды в системе и незначительное увеличение количества коагуляционных контактов компенсируется слабостью этих контактов из-за оболочки адсорбционно связанной воды вокруг частиц.

Повышенные дозировки УДМ уже приводят к увеличению водопотребности, величина которой зависит от удельной поверхности микронаполнителя и его объемного содержания в системе.

Для снижения водопотребности смешанной системы необходимы водоредуцирующие добавки. Наиболее эффективная из них — продукт конденсации нафталинсульфокислоты с формальдегидом (суперпластификатор С-3) [5]. Он вносит существенные коррективы в поведение системы, находящейся в пластичном состоянии [6]. Если для смешанной системы без СП с увеличением содержания УДМ характерно удлинение сроков начала и конца схватывания, то при введении СП в оптимальных дозировках сроки схватывания практически не изменяются (рис. 3).

Таким образом, на первой стадии формирования структуры для смешанной системы характерны повышенная пластическая прочность и вязкость, или повышенная водопотребность, а также ярко выраженная тиксотропность. Эти свойства представляются основными на данной стадии и находятся в прямой зависимости от размеров и удельной поверхности частиц, объемного содержания УДМ и соответственно объема адсорбционно связанной воды, т.е. физических факторов, которые связаны с физическими характеристиками УДМ и консистенцией суспензии. Химико-минералогические характеристики УДМ и связанная с ними пуццолановая активность на основные свойства системы существенного влияния не оказывает, так как на ранней стадии структурообразования новые фазы-кристаллогидраты, возникшие в результате протекания химических процессов (гидратации), занимают незначительный объем и не могут влиять на состояние системы.

На второй стадии количество гидратных новообразований и необратимых контактов срастания между ними увеличивается настолько, что система обретает структурную прочность.

Химические процессы, на первой стадии несколько заторможенные из-за адсорбционно-сольватной пленки из молекул СП и воды, приобретают важное значение, так как могут приводить к существенному изменению фазового состава системы. Эти изменения заключаются в смещении баланса между первичными кристаллогидратами (портландит и высокоосновные гидросиликаты кальция — ГСК) и вторичными, более устойчивыми мелкокристаллическими гидратами (низкоосновные ГСК) в сторону последних. Смещение баланса зависит, в первую очередь, от химических факторов — химико-минералогическо-

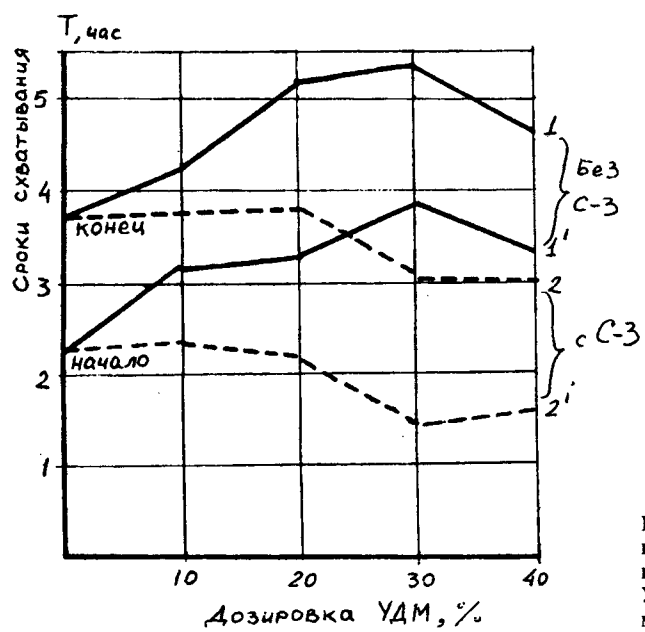


Рис. 3. Сроки схватывания цементного теста с добавкой конденсированного УДМ — микрокремнезема (МК)

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

го состава и пуццолановой активности УДМ. В частности, оно тем больше, чем выше пуццолановая активность. Это отчетливо видно из результатов эксперимента с системой со смешанным вяжущим, состоящим из минерала C_3S и разных УДМ (рис. 4).

Следствием этих процессов является образование фазовых контактов (контактов срастания между кристаллогидратами), которые оказывают доминирующее влияние на структурообразование. Прочность же структуры предопределяется, как известно, прочностью кристаллогидрата и общей поверхностью контактов.

Полученный в результате фазовых превращений низкоосновный гидросиликат типа CSH (I) имеет более дисперсную, чем первичные гидраты, структуру и прочность, почти вдвое превышающую прочность CSH (II), достигающую 1000 МПа [7]. Поэтому преобладание в структуре цементного камня этого малорастворимого и устойчивого кристаллогидрата является необходимым условием существенного повышения прочности и стойкости бетона, а способствующие этому химические факторы процесса структурообразования на данной стадии становятся решающими.

Однако изменение фазового состава камня в сторону увеличения содержания CSH (I) является необходимым, но не достаточным условием резкого упрочнения структуры. Важно, чтобы частицы УДМ, не участвовавшие в пуццолановой реакции, не обволакивали поверхность новых фаз и не препятствовали образованию контактов срастания между кристаллогидратами CSH (I), скрывая тем самым эффект от благоприятного присутствия высокопрочной фазы. Это условие может быть соблюдено при оптимизации объемной концентрации (дозировки) УДМ в смешанной системе с учетом пуццолановой активности микронаполнителя.

При низкой пуццолановой активности УДМ оптимальной дозировкой может быть объем микронаполнителя, сопоставимый с объемом капиллярных пор (от $1x10^{-1}$ до $2x10^3$ мкм) и необходимый для заполнения соответствующих пустот, а также уплотнения структуры. Эффект заполнения пустот является физическим фактором и наблюдается независимо от пуццолановой активности УДМ. Однако увеличение дозировки сверх объема указанных пор в зависимости от пуццолановой активности может привести к противоположным результатам. Из экспериментальных данных (рис. 5) следует, что при отсутствии условий для пуццолановой реакции и повышенном объемном содержании микронаполнителя эффект заполнения пустот и уплотнения структуры не может компенсировать негативного воздействия инертного УДМ на контакты срастания, поэтому прочность снижается. Те же повышенные дозировки

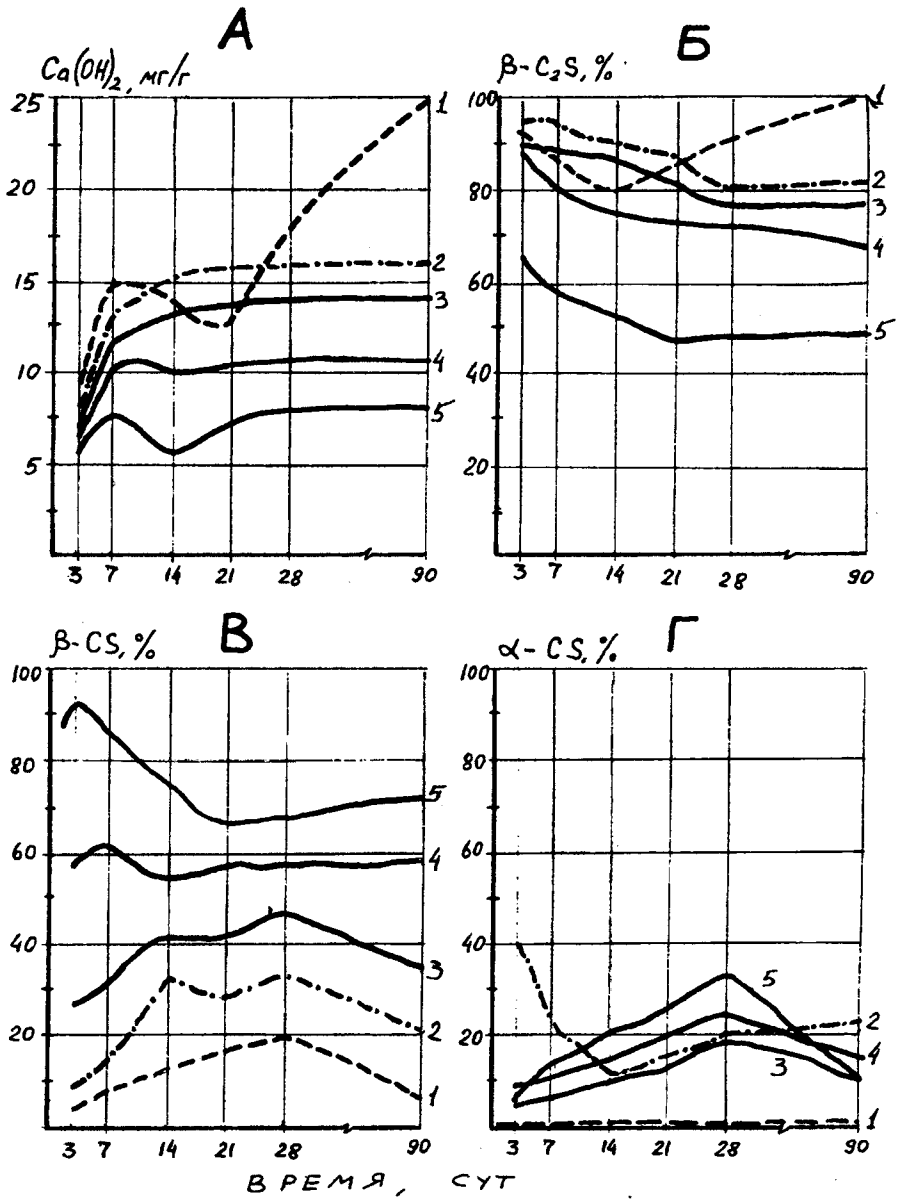


Рис. 4. Состав гидратных новообразований в системе со смешанным вяжущим (C_3S + УДМ) при В/Вяж = 0,4

А — изменение содержания портландита — $Ca(OH)_2$; *Б* — то же, ГСК типа CSH (II); *В* — то же, ГСК типа CSH (I) — волластонита (β-CS); *Г* — то же, ГСК типа CSH (I) — псевдоволластонита (α-CS);

1 — образец на мономинеральном вяжущем — C_3S; *2* — C_3S + 20% П; *3* — C_3S + 20% Афх; *4* — C_3S + 20% Т; *5* — C_3S + 20% МК

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

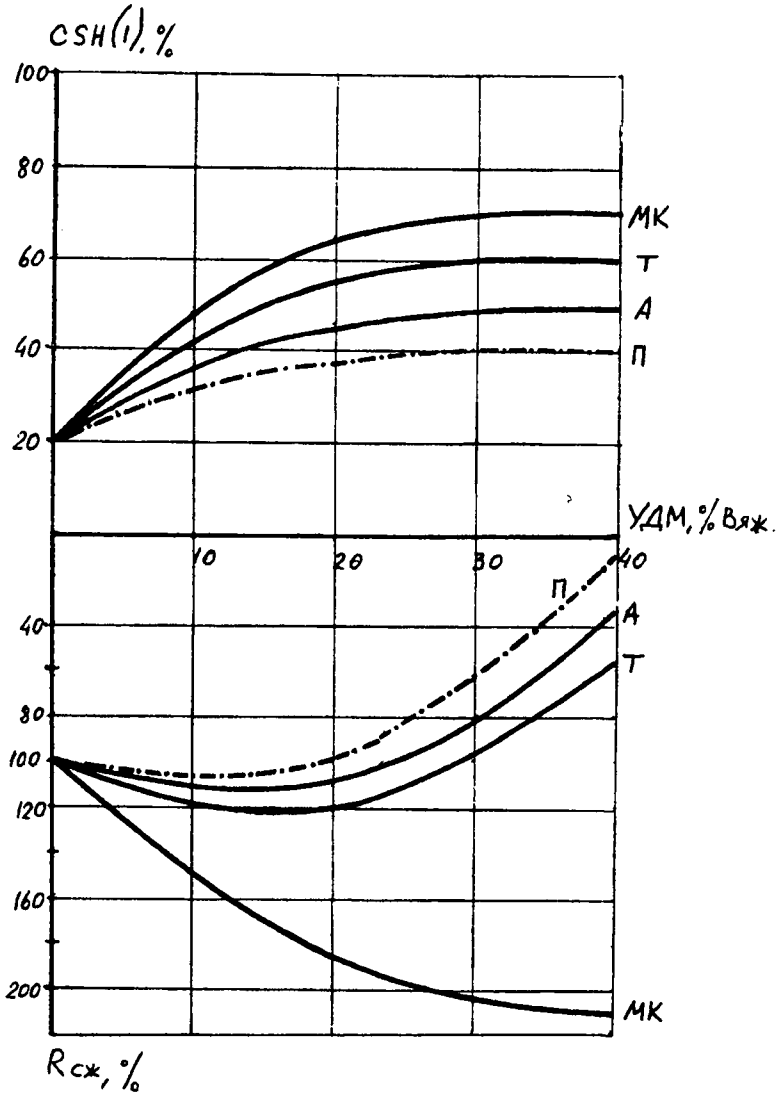


Рис. 5. Изменение содержания низкоосновных ГСК — CSH (I) и относительная прочность камня в зависимости от вида и дозировки УДМ

активного УДМ приводят к изменениям фазового состава и резкому приросту прочности.

Выводы

1. В механизме структурообразования смешанной системы выделяются два фактора, обусловленные свойствами УДМ и присутствием СП, которые можно условно обозначить как физический и химический.

Первый фактор, связанный с размером и высокой поверхностной энергией частиц УДМ, выражается в заполнении объема между грубодисперсными частицами цемента и образовании многочисленных коагуляционных контактов, формирующих малопрочную структуру, в сокращении объема свободной воды, предопределяющей текучесть системы, на величину, сопоставимую с объемом введенного УДМ, и в заполнении пространства между кристаллогидратами в образовавшейся структуре. Этот фактор доминирует на ранней стадии структурообразования, когда система находится в пластичном состоянии, оказывая влияние на реологические свойства системы.

Второй фактор, связанный с химико-минералогическим составом УДМ, выражается в изменении баланса между гидратными новообразованиями в структуре в сторону увеличения содержания более прочных и устойчивых вторичных гидратов типа CSH (I). Этот фактор представляется главным на последующей стадии, когда система обретает структурную прочность в связи с образованием необратимых фазовых контактов.

2. Смещение баланса гидратных новообразований в сторону увеличения количества низкоосновных ГСК типа CSH (I) является необходимым условием повышения прочности и плотности цементного камня и соответственно получения высокопрочных, высокоплотных и долговечных бетонов. Однако это условие может стать достаточным, когда не участвующий в образовании новых гидратных фаз УДМ (это может быть как инертный, так и пуццолановоактивный материал в избыточном количестве) не будет обволакивать поверхность новых фаз и этим препятствовать образованию контактов срастания между кристаллогидратами.

Библиографический список

1. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия //Избранные труды. — М.: Наука, 1978, С. 368.

2. Тананаев И.В., Федоров В.Б., Калашников Е.Г. Успехи физико-химии энергонасыщенных сред //Успехи химии, 1987, Вып. 2, том LVI, С. 193—215.

3. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. — М.: Наука, 1984, С. 160.

4. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. — М.: Химия, 1980, С. 320.

5. Батраков В.Г., Каприелов С.С.,Шейнфельд А.В. Эффективность применения ультрадисперсных отходов ферросплавного производства //Бетон и железобетон, 1989, № 8, С. 24—25.

6. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Микрокремнезем в бетоне //ВНИИНТПИ. Сер.: Строительные материалы. Вып. 1, 1993, С. 55.

7. Тимашев В.В. Влияние физической структуры цемента на его прочность //Цемент, 1978, № 2, С. 6—8.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 691.328:697.329

Л.Б. АРУОВА, инж. (НИИЖБ)

Гелиотермообработка железобетонных изделий с использованием пленкообразующих составов

Самый энергоемкий технологический передел в производстве сборных железобетонных изделий — тепловая обработка. Сегодня в условиях возрастающей ограниченности невоспроизводимых топливно-энергетических ресурсов, усложнения и удорожания их добычи огромное значение придается широкомасштабному использованию солнечной энергии.

Одним из эффективных способов ухода за бетоном в условиях сухого жаркого климата является нанесение на неопалубленные поверхности железобетонных изделий вододисперсных пленкообразующих составов, которые в течение ограниченного времени формируют на поверхности бетона влагонепроницаемое покрытие.

Основные требования, которые предъявляются к пленкообразующим составам, это нетоксичность, экологическая безвредность, пожаро- и взрывобезопасность. Данный способ особенно эффективно использовать в жаркие летние месяцы, когда влажность среды низкая и испарение из бетона происходит очень быстро. Однако для интенсивного твердения бетона при использовании солнечной энергии одного пленкообразующего состава недостаточно, и проблему можно решить выдерживанием забетонированных изделий под пленкообразующим составом в светопрозрачных камерах. В этих камерах обеспечиваются благоприятные температурно-влажностные условия для твердения бетона, предотвращается быстрое остывание в несолнечное время суток, обеспечивается защита от ветра, что исключает лишний тепловой съем с изделий. Исследования, проведенные в НИИЖБе и в естественных условиях Казахстана (г. Актау), подтвердили эффективность предложенного решения.

В исследованиях применялся тяжелый бетон класса В15 состава 1:2,35:3,48 с В/Ц = 0,6, ОК = 6—8 см, приготовленный на портландцементе Воскресенского завода марки 400, гранитном щебне Пикерантского карьера фракции 5...20 мм и кварцевом песке с $M_{кр}$ = 1,88.

Образцы-кубы размером 10x10x10 см и образцы-призмы размером 10x10x30 см формовали в лабораторных условиях. После нанесения вододисперсного пленкообразующего состава на свежеотформованные образцы они подвергались электротермообработке. Одновременно из каждого замеса формовали образцы, которые твердели в нормальных температурно-влажностных условиях, и образцы, которые подвергались электротермообработке без покрытия пленкообразующим составом. Образцы испытывали в возрасте 3, 7, 28 и 90 сут по стандартным методикам (ГОСТ 10180—90).

Электрообогрев вели при скорости подъема температуры до 20°С/ч; изотермический обогрев при температуре 60°С длился 10 ч, остывали образцы до распалубки.

Результаты испытания бетонных образцов на прочность представлены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что прочность на сжатие и на растяжение при изгибе образцов, подвергнутых электрообогреву под пленкообразующим составом, выше аналогичных показателей образцов, твердевших в тех же условиях без покрытия пленкообразующим составом. Больше того, образцы под пленкообразующим составом достигли более высокой прочности по сравнению с образцами из бетона того же состава, твердевшими в нормальных температурно-влажностных условиях.

Таким образом, пленкообразующий состав, нанесенный на

Таблица 1

Условия твердения	Прочность бетона на сжатие в возрасте, сут				Прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте, сут		
	3	7	28	90	7	28	90
Нормальное твердение	----	----	23,0 100	----	----	3,2 100	----
Электрообогрев с использованием пленкообразующего состава	20,4 88,7	24,8 107,8	29,1 126,5	33,0 143,5	3,75 117,2	4,8 150	5,04 162,5
Электрообогрев без пленкообразующего состава	----	21,0 91,3	25,1 109,1	----	3,3 103,1	4,1 128,1	----

Примечание. Над чертой показана прочность бетона в МПа; под чертой — в % от прочности бетона нормального твердения в 28-суточном возрасте.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 2

Условия твердения	Прочность бетона на сжатие в возрасте, сут				Прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте, сут		
	3	7	28	90	7	28	90
Нормальное твердение	—	—	31,5 100	—	—	5,3 100	—
Гелиотермообработка в светопрозрачной камере с использованием пленкообразующего состава	25 79,4	37,0 119,3	37,7 119,6	38,0 120,6	4,6 86,4	5,8 109,4	6,02 113,2
Пропаривание по стандартному режиму	—	35,0 112,9	38,0 120,6	38,4 121,8	4,0 75,5	5,4 107,9	—

Примечание. Над чертой показана прочность бетона в МПа, под чертой — в % прочности бетона нормального твердения в 28-суточном возрасте.

поверхность свежеуложенного бетона, увеличивает его прочность на 20...17% по сравнению с непокрытым бетоном и создает более благоприятные условия для твердения бетонных изделий в совокупности с гелиотермообработкой. Это объясняется прежде всего тем, что пленкообразующий состав уменьшает потери влаги, а гелиотермообработка способствует более интенсивному твердению бетона.

В естественных условиях исследования проводились на тяжелом бетоне класса В22,5 состава 1:1,6:2,68 с В/Ц = 0,55, приготовленном на сульфатостойком портландцементе с минеральными добавками Чимкентского завода марки 400, известняковом щебне фракции 5...20 мм и кварцевом песке с $M_{кр}$ = 2,74.

Все работы выполнялись на гелиополигоне при максимальной температуре воздуха 35°С и минимальной относительной влажности 40%.

На свежеотформованные образцы-кубы размером 10x10x10 см и образцы-призмы размером 10x10x40 см наносили пленкообразующий состав, затем все образцы помещали в светопрозрачные камеры из полимерных материалов.

Одновременно из каждого замеса формовали образцы-кубы и образцы-призмы, которые твердели в нормальных температурно-влажностных условиях, и образцы, которые пропаривались в лабораторной камере при температуре 80°С по режиму 2+8+2 ч. Испытания образцов проводились в 3-, 7-, 28- и 90-суточном возрасте по стандартным методикам.

Результаты испытания бетонных образцов на прочность представлены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что прочность образцов, подвергнутых гелиотермообработке в светопрозрачных камерах с использованием пленкообразующего состава, не уступает прочности образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке. Так, образцы-кубы к 7-суточному возрасту достигли 112...119% и к 28-, 90-суточному возрасту 119...121,8% прочности бетона, находившегося 28 сут в нормальных температурно-влажностных условиях. Образцы-призмы к 7-суточному возрасту набрали 75...87% и к 28, 90 сут — 102...113% прочности бетона, твердевшего 28 сут в нормальных температурно-влажностных условиях.

Таким образом, пленкообразующие составы, наносимые на поверхность свежеуложенных бетонных образцов, в значительной степени исключают испарительное охлаждение, а выдерживание в светопрозрачных камерах исключает быстрое остывание в несолнечное время суток.

Проводимые исследования подтверждают эффективность безвлажностного ухода за бетоном с применением вододисперсных пленкообразующих составов в светопрозрачных камерах. Гелиотермообработка обеспечивает интенсивное твердение бетона и гарантирует получение железобетонных изделий высокого качества при экономии энергоресурсов и воды, поскольку в течение 6—7 мес можно исключать использование дублирующих источников энергии.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА
ИЮНЬСКИЕ НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "СТРОЙИЗДАТ"

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Авторы — Л.М. Ковальчук, С.Б. Турковский, Ю.В. Пискунов и др.

Деревянные конструкции, по сравнению с традиционными железобетонными и металлическими, являются наименее энергоемкими при производстве и экологически чистыми при эксплуатации. Уровень производства таких конструкций, особенно изготовленных из цельной древесины, во все времена оставался довольно высоким, а сегодня еще более возрос.

Эта книга представляет результаты исследований и новые разработки в области деревянных конструкций как из клееной, так и из цельной древесины. Подробно рассмотрены особенности их проектирования, изготовления и применения, приведены требования к материалам, используемым при производстве деревянных конструкций. Описаны приемы, обеспечивающие прочность и долговечность конструкций из дерева.

Для специалистов, работающих в строительной отрасли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 691.31

К.И. ЛЬВОВИЧ, канд.техн. наук (АО НИПТИ "Стройиндустрия")

Стеновой блок из мелкозернистого бетона

Развитие в России индивидуального и муниципального малоэтажного строительства определяется, в первую очередь, рынком материалов и изделий, практически не выпускающихся на существующих предприятиях крупнопанельного и блочного домостроения. Номенклатура изделий, производимых на КПД и ДСК для жилищного строительства, характеризуется острым дефицитом штучных, главным образом стеновых материалов.

Начавшаяся структурная перестройка производства сборного железобетона нашла отражение в концепции мини-завода — предприятия малой мощности, с ограниченным объемом инвестиций, коротким инвестиционным циклом, в то же время позволяющим организовать выпуск штучных бетонных изделий, номенклатура которых обеспечивает комплектацию всего здания от фундамента до кровли. Ориентация на разработку мини-заводов оказалась полностью оправданной, так как позволила приступить к созданию сети быстроокупаемых предприятий стройиндустрии.

Анализ зарубежной практики и собственного опыта малоэтажного домостроения позволяет сделать некоторые обобщения:

1. Ограниченность инвестиций и опережающий зарплату рост стоимости строительных материалов предопределяют целесообразность использования наиболее дешевого оборудования и упрощенных технологий.

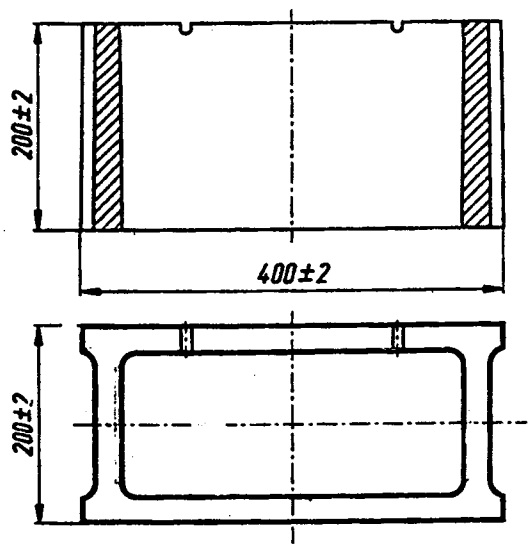
2. Приоритет в области технологических процессов и оборудования для производства штучных бетонных изделий должен быть отдан разработкам, обеспечивающим получение дешевых изделий гарантированного качества.

3. Предпочтительно использовать местное сырье, стоимость которого в настоящее время в основном определяет себестоимость продукции.

4. Наиболее широко распространенным и дешевым заполнителем на территории России является песок.

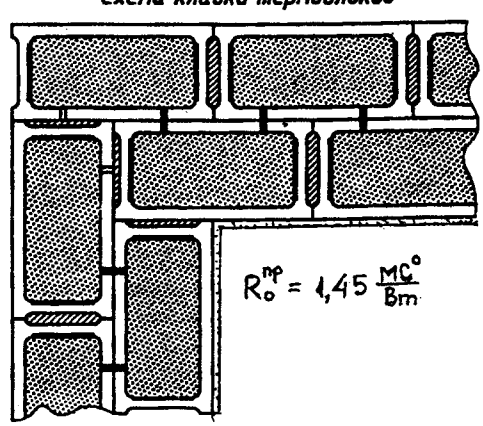
Исследования, проведенные ранее в МНИПТИ "Стройиндустрия", позволили разработать технологию и оборудование для получения полного комплекта изделий из песчаного бетона для малоэтажного строительства (фундаменты, перегородки, перекрытия, черепица, элементы благоустройства), т.е. все, кроме стеновых блоков.

Необходимость обеспечения теплозащитных свойств ограждающих конструкций не позволяет изготавливать стеновые блоки из песчаного бетона — материала, обладающего низкими теплофизическими характеристиками. С другой стороны, применение керамзита, полистирола и других легких заполнителей привело бы к значительному удорожанию блоков и усложнению технологического процесса: дополнительные склады, тракты подачи,



Стена толщиной 41 см =20+20+1 штукат.
Заменяет: 87см кирпичной кладки
65см керамзитобетона
Удовлетворяет требованиям по теплотехнике при температуре -48°С

Схема кладки термоблоков



	Прочность (марка бетона)	Морозостойкость	Водонепроницаемость	Объемная масса, кг/м³	λ Вт/м°С
Блок-опалубка	М 400	F 100	W 6	2300	1,62
Заполнитель - пеноцемент	М 5	—	—	350	0,10

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

перевозка дорогостоящих заполнителей из других районов и т.п.

Таким образом, основной задачей в концепции мини-завода становится разработка стенового материала из песчаного бетона, отвечающего как требованиям по несущей способности, так и теплотехническим требованиям. Это тем более существенно, что стеновые материалы (включая перегородки) составляют почти 80% общего объема бетонных изделий, используемых при строительстве домов.

Новый стеновой элемент — термоблок (патент России N 2029603) — включает блок-опалубку (оболочку) из прочного, плотного песчаного бетона, воспринимающую нагрузку, и заполнение из пеноцемента, выполняющее роль теплозащитного материала (см.рисунок). Такое разделение функций в изделии удовлетворяет всем поставленным требованиям, а также решает еще ряд задач, упрощающих строительство дома и улучшающих его архитектуру.

Разработана схема кладки стены только из ложковых блоков, что позволяет избежать появления "мостиков холода". Поперечную перевязку стены предлагается осуществлять не тычковым блоком, а "П"-образными арматурными элементами, соединяющими соседние ряды кладки через пазы на нелицевой грани блока (см.рисунок). При сборке в кладку с перевязкой в сеседних рядах на половину длины блока пазы оказываются один против другого. Кладка получается надежно перевязанной при установке арматурных элементов через два ряда в третьем.

В конструкцию термоблока заложена возможность сооружения "бесшовных" стен, что обеспечивается наличием заполняемой раствором шпонки, позволяющей "спрятать" вертикальные швы. Можно также "спрятать" и горизонтальные швы, для чего разработана специальная модификация термоблока.

Как известно, на отечественных вибропрессах ВИП-13, ВИП-2ПБ для изготовления пустотных блоков (как и на вибропрессах с подъемной матрицей ряда зарубежных фирм) блоки формуются на поддоне. Таким образом, при изготовлении термоблоков первый этап — формование оболочки — не отличается от принятой технологии вибропрессования щелевых блоков. В оборудовании требуется замена только матрицы и пуансона.

Изготовление оболочки вибропрессованием обеспечивает некоторые возможности по улучшению архитектуры зданий: практически без дополнительных затрат (только изменением конфигурации матрицы) можно получить рельефный блок, блок с криволинейным очертанием передней грани и т.п.; можно формовать "парные" блоки с последующим их раскалыванием по лицевой грани и получать камневидную фактуру стены, практически не отличимую от гранита, известняка и др.; можно изготовлять цветные блоки путем введения в цементно-песчаную смесь пигментов либо окрашиванием лицевой поверхности. Можно сочетать указанные приемы.

Таким образом, на первом этапе изготовления изделия, например на вибропрессе ВИП-13, одновременно формуется 5 оболочек, которые представляют собой полые параллелепипеды, расположенные на металлическом поддоне и подготовленные для заполнения пеноцементной массой на следующем технологическом посту.

Поскольку пеноцемент в стадии эксплуатации со всех сторон защищен плотным и прочным песчаным бетоном, то практически единственным требованием, предъявляемым к материалу, является теплозащита, что равноценно требованию минимальной объемной массы. Теплоизоляционному материалу еще, видимо, следует предъявлять требование минимальной прочности в 3—5 кгс/см^2, что позволит обеспечить его сцепление с оболочкой в процессе термообработки и тем самым исключить возможность выпадания заполнения в процессе транспортировки и монтажа термоблока.

Исследовательские работы, ставящие целью получение пеноцемента объемной массой 300—350 кг/м^3, включали анализ возможностей его приготовления на различных пенообразователях и подготовку рекомендаций по необходимому для этого оборудованию. Процесс состоит из двух стадий: приготовление стабильной пены путем смешивания воды и пенообразователя в высокоскоростном смесителе и введение цемента в готовую пену при перемешивании.

Наиболее устойчивые результаты получены при приготовлении пены в турбулентном растворосмесителе (модификация серийного смесителя СБ-133) на основе раствора СДО с известковым молоком. Для получения качественного пеноцемента необходимо:

обеспечить низкую объемную массу пены до введения цемента, но не за счет увеличения кратности пены, а путем создания однородной структуры с равномерно распределенными пузырьками воздуха;

обеспечить дробление пены на мелкие пузырьки с пленками такой толщины, чтобы получить стабильную пеноцементную массу;

частицы цемента должны распределяться равномерно по всей поверхности пленки для формирования в процессе гидратации прочного каркаса из затвердевшего цементного геля и в то же время не "прорывать" собственным весом тонкие пленки.

Поэтому качество пены необходимо оценивать как на этапе ее приготовления, так и на этапах ее перемешивания с цементом, твердения и сушки. Окончательным критерием качества было получение минимальной объемной массы пеноцемента при прочности 3—5 кг/см^2 после высушивания образцов до их постоянной массы.

Оседания пеноцемента, полученного на основе СДО и извести, не наблюдалось в течение 4 ч. При разработке режима тепловлажностной обработки свежеотформованные оболочки из вибропрессованного песчаного бетона заполнялись пеноцементом и помещались в камеру ТВО. Сцепление заполнителя с оболочкой после

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

проведения ТВО было надежным, в ряде случаев наблюдалось вспучивание пеноцемента на 2—4 мм, что, по нашему мнению, никак не сказывается на строительно-технических и эксплуатационных свойствах термоблока. По существу, тепловлажностную обработку термоблока следует проводить по режиму, оптимальному для его оболочки.

Разработано оборудование для приготовления и разливки пеноцемента.

МНИИТЭПом проведены теплотехнические расчеты стены из термоблоков толщиной 41 см (20+20+1 см штукатурки). При объемной массе пеноцемента γ = 350 кг/м^3 (λ = 0,1 Вт/м·°С) стена соответствует требованиям СНиП по теплозащите для температуры наиболее холодной пятидневки —48°С. Сопротивление теплопередаче R = 1,46 м^2·°С/Вт. Равная (по теплозащите) толщина стены из глиняного кирпича составляет 87 см, из сплошных керамзитобетонных блоков с γ = = 1200 кг/м^3 — 65 см. Масса термоблока — 14,8 кг при объеме изделия 16 л.

Способность термоблока воспринимать нагрузки может изменяться в широком диапазоне. Действительно, увеличение толщины оболочки (от 25 мм — минимально допустимой по технологическим требованиям) и марки песчаного бетона (от М200 до М600) позволяет значительно повысить несущую способность блоков, в том числе до уровня, допускающего строительство многоэтажных домов. С другой стороны, далеко не исчерпаны возможности снижения объемной массы теплозащитного заполнения как из пеноцемента, так и из других эффективных материалов, например, на основе пеногипса с объемной массой 200 кг/м^3.

Для районов с жарким климатом разработана модификация термоблока, не имеющая "мостиков холода" при однорядной кладке.

Относительная стоимость 1 м^3 стеновых изделий в ценах франко-завод для предприятий московского региона составляет (при стоимости термоблоков, принятой за 1,0): вибропрессованные щелевые блоки на керамзитовом гравии и золе — 1,51; сплошные несуще-теплозащитные блоки из пеноцемента — 2,06; блоки из автоклавного ячеистого бетона — 1,32. Указанная разница в стоимости блоков в действительности оказывается еще более высокой при сопоставимой по теплотехническим свойствам толщине стен.

Более подробные сведения о стеновых термоблоках можно получить в АО НИПТИ "Стройиндустрия" по адресу: 105058, Москва, Ткацкая ул., 46; тел. 369-54-50.

ТЕОРИЯ

УДК 620.1:691.327:539.4

Г.А. ГЕНИЕВ, д-р техн.наук, проф. (ЦНИИСК)

Практический метод расчета длительной прочности бетона

Вопросам определения длительной прочности бетона и законов его деформирования во времени посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований отечественных и зарубежных авторов.

В статье предлагается вариант критерия длительной прочности тяжелого бетона, основанный на рассмотрении простейшей реологической модели изменения его деформационных параметров во времени. Использование простейшей реологической модели деформирования бетона, в отличие от более совершенных физических моделей, основанных либо на наследственной теории ползучести [1], либо на методах механики разрушения [2], было обусловлено стремлением получить достаточно простые аналитические выражения для критериев его длительной прочности, удобные для практического применения.

Критерий длительной прочности формулируется для элементарного объема бетона, находящегося в условиях однородного трехосного напряженного состояния.

Из многочисленных экспериментальных исследований известно, что фактор времени вызывает в бетоне проявление двух характерных разнонаправленных процессов: процесс нарастания прочности во времени (процесс старения бетона), определяемый физико-механическими изменениями его структуры, и процесс снижения прочности находящегося в напряженном состоянии бетона, связанный с проявлением его реологических свойств — ростом деформаций во времени, приводящим к определенным нарушениям внутренних связей в материале на микро- и макроуровнях.

Используемая в настоящей работе модель деформирования бетона состоит из последовательно соединенных элемента 0, характеризуемого нелинейными физическими зависимостями деформационной теории пластичности бетона [3], и элемента 1, представляющего собой модель Кельвина—Фойгта, состоящую из параллельно соединенных упругого элемента e и чисто вязкого k, характеризуемого модулем вязкого сопротивления K = = const, [K]... Па· с.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Будем считать, что физической причиной исчерпания прочности бетона является достижение величиной интенсивности деформаций сдвига Г ее предельного значения Γ_s, существенно зависящего от вида сложного (трехосного) напряженного состояния бетона

$$\Gamma = \sqrt{2/3}\ \sqrt{(\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3-\varepsilon_1)^2},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ — главные линейные деформации. При этом элемент 0 модели определяет величину "мгновенной" нелинейной интенсивности деформаций бетона Γ_0, элемент 1 — развивающуюся во времени Γ_1. Критерий длительной прочности основывается на нормировании суммарной величины интенсивности деформаций сдвига последовательно соединенных элементов 0 и 1

$$\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_1 = \Gamma_s.. \qquad (1)$$

Для сокращения не представляющих принципиального значения выкладок в настоящей статье ограничимся рассмотрением случая воздействия на элементарный объем бетона постоянной во времени интенсивности касательных напряжений T = const, инициированной в момент времени $t = 0$;

$$T = (1/\sqrt{6})\ \sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные нормальные напряжения.

Согласно результатам работы [4], учет эффекта старения бетона сводится к определению его предела прочности при одноосном напряженном состоянии $R(t)$ в момент времени t по формуле

$$R(t) = R_m[1 - (1 - R_{28}/R_m)^{\frac{t+t_0}{28}}], \qquad (2)$$

где t_0 — время в сутках от момента изготовления (укладки) бетона до момента приложения внешней нагрузки; t — время действия внешней нагрузки; R_m — максимальная (асимптотическая) прочность ненагруженного бетона при $t_0 \to \infty$; R_{28} — прочность бетона в возрасте 28 сут. Из формулы (2) следует, что прочность бетона в момент его нагружения определяется выражением

$$R(0) = R_0 = R_m[1 - (1 - R_{28}/R_m)^{\frac{t_0}{28}}].$$

Обозначая $\psi = \psi(t) = R(t)/R(0) = R(t)/R_0$ и $\beta m = R_m/R_{28}$, запишем формулу (2) в виде

$$\psi = \psi(t) = [1 - (1 - \beta_m^{-1})^{\frac{t+t_0}{28}}]\ [1-(1 - \beta_m^{-1})^{\frac{t_0}{28}}]^{-1}. \qquad (3)$$

Отметим, что зависимости (2) и (3) определяют лишь увеличение "мгновенной" прочности бетона во времени, но не учитывают деформаций ползучести материала, и их не следует отождествлять с законом изменения длительной прочности бетона.

Согласно [3], для элемента 0 зависимость между "мгновенной" интенсивностью деформаций сдвига Γ_0 и интенсивностью касательных напряжений T для бетона возраста t_0 имеет вид

$$\Gamma_0 = \Gamma_0(T) = (2T_s/G_0)\ x\ (1 - \sqrt{1 - T/T_s}), \qquad (4)$$

где T_s — предельное значение T, соответствующее заданному виду сложного напряженного состояния бетона возраста t_0:

$$T_s = T_c k(\lambda);\ k(\lambda) = \lambda/2 + \sqrt{(\lambda/2)^2 + 1};$$

$$\lambda = f\sigma/T;$$

$$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3;$$

$$f = \text{const} \approx 5;$$

T_c — предельное значение T при обобщенном чистом сдвиге (при $\sigma = 0$ $\lambda = 0$); G_0 — начальный модуль сдвига для бетона возраста t_0, соответствующий точке $T = 0$ его диаграммы работы, величина которого не зависит от значения λ.

На основании (4) предельное значение "мгновенной" интенсивности деформаций сдвига (при $T = T_s$) $\Gamma_s = \Gamma_s(\lambda) = 2T_s/G_0$.

Для момента времени t (для бетона возраста $t + t_0$) нелинейная зависимость между интенсивностями $\Gamma_0 = \Gamma_0(T, t)$ и T определяется соотношением, аналогичным (4),

$$\Gamma_0 = \Gamma_0(T, t) = (2T_s(t)/G_0(t)[1 - \sqrt{1 - T/T_s(t)}]. \qquad (5)$$

Будем считать, что закон изменения модуля сдвига $G_0(t)$ совпадает с законом нарастания прочности бетона во времени $T_s(t)$, а для последнего выполняется условие подобия между процессом нарастания прочности при сложном и одноосном напряженном состоянии — предельными значениями $T_s(t)$ и $R(t)$ по формуле (2). Тогда $T_s(t) = T_s\psi(t)$; $G_0(t) = G_0\psi(t)$, и зависимость (5) принимает вид

$$\Gamma_0 = \Gamma_0(T, t) - (2T_s/G_0)[1 - \sqrt{1 - T/T_s\psi(t)}]. \qquad (6)$$

Таким образом, трансформация диаграмм работы бетона $T - \Gamma_0$ во времени (при любых значениях λ), сводится к умножению их ординат (значений T при фиксированных Γ_0) на величину $\psi(t)$, определяемую зависимостью (3).

Для элемента 1 модели, имитирующего деформацию ползучести, справедливы соотношения $T_1 = T = T_{1e} + T_{1k}$; $T_{1e} = G_1\Gamma_1$; $T_{1k} = K(d\Gamma_1/dt)$ (индексы при T и Γ обозначают номер или вид элемента), откуда для интенсивности деформации Γ_1 следует дифференциальное уравнение

$$(d\Gamma_1/dt) + G_1\Gamma_1/K = T/K. \qquad (7)$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Общее решение (7) при T = const и начальном условии $\Gamma_1(0) = 0$

$$\Gamma_1 = \Gamma_1(t) = (T/G_1)[1 - \exp(-\omega t)], \quad (8)$$

где $\omega = G_1/K$.

Для определения длительной прочности бетона — значения интенсивности касательных напряжений $T = T_д$ = const, соответствующей заданному времени $t = t_д$, до наступления которого бетон не должен полностью исчерпать свои прочностные свойства, следует приравнять суммарное значение Γ_0 и Γ_1, согласно (6) и (8), предельному значению интенсивности деформаций сдвига $2T_s/G_0$, разрешив это равенство относительно искомого значения $T = T_д$:

$$T_д = 2\alpha_д\psi_д^{-1}(\sqrt{\alpha_д^2 + \psi_д^2} - \alpha_д)T_s. \quad (9)$$

В определяющем соотношении (9) $\alpha_д = \alpha\,[1-\exp(-\omega t_д)]^{-1}$, $\alpha = G_1/G_0$ — значение $\alpha_д$ при $t_д \to \infty$; $\psi_д = \psi(t_д)$ определяется зависимостью (3) при $t = t_д$. При $t_д \to 0$, $\psi_д \to 1$, $\alpha_д \to \infty$, и раскрытие неопределенности в (9) дает очевидный результат $\lim T_д(t_д \to 0) = T_s$.

При неограниченном времени действия начальной интенсивности напряжений $T = T_д = T_m$, т.е. при $t = t_д \to \infty$, из (9) следует

$$T_m = 2\alpha\psi_m^{-1}(\sqrt{\alpha^2 + \psi_m^2} - \alpha)T_s, \quad (10)$$

где на основании (3)

$$\psi_m = [1 - (1 - \beta_m^{-1})\tfrac{t_o}{28}]^{-1} = R_m/R_0.$$

Согласно приведенным в работе [5] данным, значения коэффициента $\beta_m = R_m/R_{28}$ составляют: для бетона на высокомарочном цементе 1,221; для бетона на нормальном цементе 1,284; для бетона на медленнотвердеющем цементе 1,391.

Если нагружение бетона осуществлено в возрасте $t_0 = 28$ сут, то $R_0 = R_{28}$, $\psi_m = \beta_m$, $T_s = T_{28}$, и значения T_m, согласно (10), при $\alpha = 0{,}7$ для указанных выше видов бетона соответственно равны: 0,81 T_{28}; 0,83 T_{28}; 0,86 T_{28}.

Следует, однако, отметить, что нагружение бетона интенсивностью напряжений, равной или близкой к значению, определяемому выражением (10) — $T = \text{const} \le T_m$ — еще не гарантирует сохранения им своих прочностных свойств при $t = t_д \to \infty$. Достаточное условие сохранения длительной прочности бетона при неограниченном времени действия интенсивности напряжений T = const может быть получено исследованием на минимум правой части соотношения (9) по времени, определении этого минимума $T_м$ и соответствующего ему критического времени $t_к$, а также при наложении ограничения

$$T < T_м. \quad (11)$$

При $t_д < t_к$ ограничение (11) не является необходимым.

Для указанных выше видов бетона значения $T_м$, согласно (9), при $\omega = 0{,}15$ сут$^{-1}$ соответственно равны: 0,805 T_{28}; 0,815 T_{28}; 0,835 T_{28}.

Наличие в зависимости (9) двух независимых параметров α и ω дает основание предполагать, что с их помощью могут быть с достаточной степенью точности аппроксимированы результаты соответствующих экспериментальных данных об изменении деформаций и прочности бетона во времени. Предварительные расчеты показали, что ориентировочные значения этих параметров составляют $\alpha = 0{,}6...0{,}8$; $\omega = 0{,}05...0{,}15$ сут$^{-1}$.

Рассмотрим вопрос об определении так называемого резерва прочности (остаточного ресурса) бетона. Пусть в начальный момент времени $t = 0$ на материал воздействует интенсивность напряжений $T = \text{const} < T_n < T_s$, сохраняющая постоянное значение в течение времени $t_n < t_к$, где $T_n = T_д$ по (9) при $t_д = t_n$, а время $t_к$ соответствует минимуму правой части (9) — значению $T_м$ из условия (11). При $t = t_n$ в бетоне инициируется дополнительная величина интенсивности напряжений ΔT (при неизменной ориентации осей главных напряжений), "мгновенно" доводящая его до разрушения. Эта дополнительная величина интенсивности напряжений $\Delta T = F(T, t_n)$ представляет собой резерв прочности бетона, соответствующий заданному уровню T и времени t_n. На основании (1), (6), (8) следует

$$\Delta T = T_s\,\psi(t_n)[1 - (T/T_s)^2/4\alpha_n^2] - T, \quad (12)$$

где $\alpha_n = \alpha\,[1 - \exp(-\omega t_n)^{-1}$; $\psi_n = \psi(t_n)$ определяется зависимостью (3) при $t = t_n$. Из соотношения (12) следует: при $t_n \to 0$ $\Delta T = T_s - T$; при $T = 0$ $\Delta T = T_s\psi_n$.

В том случае, если $T < T_м$, ограничение $t_n < t_к$ не является необходимым.

Соотношение (12) определяет искомую величину резерва прочности бетона при сложном напряженном состоянии при заданных значениях T и t_n.

Библиографический список

1. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. — М.: Стройиздат, 1982. — 287 с.

2. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. — М.: Стройиздат, 1982. — 196 с.

3. Гениев Г.А. Вариант деформационной теории пластичности бетона //Бетон и железобетон. — 1969. № 2. — С. 18—20.

4. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени //Бетон и железобетон. — 1993. — № 1. — С. 15—17.

5. Серых Р.Л., Ярмаковский В.Н. Нарастание прочности бетона по времени //Бетон и железобетон. — 1992. — № 3. — С. 19—21.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 693.542

В.П. СИЗОВ, д-р техн.наук

Сопоставление методов подбора составов бетона по маркам и классам

Как известно, ранее по СНиП II-21-75 прочность бетона оценивалась маркой бетона, и расчет его составов также производился по его марке.

В 1975 г. в соответствии с ГОСТ 18105-72 был введен статистический контроль за прочностью бетона. В основу его были положены нормативный коэффициент вариации ($V_в^н$), среднестатистическое значение которого было принято равным 0,135, и марка цемента. Подбор состава бетона производился по марке бетона.

Проектные организации расчет конструкций производили по нормативной прочности бетона ($R^н$) и по марке бетона при нормативном коэффициенте вариации ($V_в^н$). Нормативная прочность с обеспеченностью 0,95 определялась и определяется по формуле

$$R^н = M_б(1 - 1{,}645V_в^н). \quad (1)$$

При $M_б = 200$ и $V_в^н = 0{,}135$ $R^н = 200(1 - 1{,}645 \cdot 0{,}135) = 0{,}78 \cdot 200 = 156$.

На производстве фактический коэффициент вариации ($V_в^ф$) всегда отличается от нормативного ($V_в^н$), равного 0,135. При $V_в^ф < V_в^н$ обеспечивается запас прочности, а при $V_в^ф > V_в^н$ запас прочности наоборот снижается. В первом случае средняя прочность бетона ($R_б^{ср}$) меньше $M_б$, а во втором — больше. Для подтверждения сказанного ниже приводятся примеры определения средней прочности бетона по формуле (1):

1. $V_в^ф = 0{,}05$; $R^н = 156$

$R_б^{ср} = R^н/(1 - 1{,}645V_в^ф) =$

$= 156/(1 - 1{,}645 \cdot 0{,}05) =$

$= 156/0{,}918 = 170.$

2. $V_в^н = 0{,}135$; $M_б = 200$;

$R^н = 156$ (эталон)

$R_б^{ср} = 156/(1 - 1{,}645 \cdot 0{,}135) =$

$= 156/0{,}78 = 200.$

3. $V_в^ф = 0{,}2$; $M_б = 200$;

$R^н = 156$

$R_б^{ср} = 156/(1 - 1{,}645 \cdot 02) =$

$= 156/0{,}671 = 231.$

При $V_в^ф < V_в^н$ строители будут экономить цемент, а при $V_в^ф > V_в^н$ — перерасходовать. Однако строители не идут на перерасход цемента. В этом случае статистический контроль не действует. Обеспеченность снижается, что может привести к нежелательным последствиям. Чтобы избежать снижения $R^н$, нужно повысить однородность бетона за счет повышения качества материалов, точности дозировки, корректировки состава бетона по влажности заполнителя и т.д., но к этому строители прибегают редко.

ГОСТ 18105—72 по контролю и оценке однородности и прочности бетона имел существенные недостатки. В нем была усложнена методика определения коэффициентов вариации, принятая за основу статистического контроля. В этот стандарт было включено такое обилие терминов и понятий, что это сдерживало внедрение статистического контроля за прочностью бетона. Критические замечания и предложения по совершенствованию этого ГОСТа нами изложены ранее [1].

В 1974 г. в помощь строителям было издано Руководство по статистическому методу контроля прочности бетона. В нем были приведены различные способы определения коэффициентов вариации и назначения по $V_в^ф$ средней прочности бетона, а также сделано разъяснение существа статистического контроля. Выход Руководства облегчил переход на статистический контроль за прочностью бетона. Однако на многих заводах ЖБК и стройках до сих пор не применяется по причине его сложности и большой трудоемкости. Подбор составов бетона при нестатистическом контроле производится по марке бетона.

Чтобы осуществить повсеместный переход на статистический контроль, необходимо, в первую очередь, провести обучение сотрудников лабораторий (и инженеров, связанных с контролем качества) этому методу, а также ввести статистический контроль за качеством применяемых материалов, точностью их дозирования (особенно воды) с учетом влажности заполнителей.

Несмотря на недостатки статистического метода контроля за прочностью бетона, он имеет преимущества перед контролем по коэффициенту запаса, но сложнее контроля (ранее применявшегося) по коэффициенту однородности бетона (K). Этот метод позволил также экономить цемент, когда значение $K_ф$ было больше нормативного ($K^н$).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Учитывая вышесказанное, метод статистического контроля требует доработки, уточнения и совершенствования.

Не успели строители освоиться с введением статистического метода контроля за прочностью бетона, как в нормативные документы снова включили нововведения. Например, в 1986 г. СНиП 2.03.01-84 введены классы бетона (В) вместо марок. Принцип подбора состава бетона сохранился, но его надо было вести не по марке бетона, а по средней прочности бетона ($R_б^{ср}$) для заданного класса при фактическом коэффициенте вариации прочности бетона $V_в$. Определение $R_б^{ср}$ производится по формуле

$$R_б^{ср} = 10В/0{,}0981 \times$$

$$\times (1 - 1{,}645V_в), \qquad (2)$$

где В — класс бетона; 0,0981 — переходный коэффициент от МПа к кгс/см^2.

Для иллюстрации ниже приводятся примеры определения средней прочности бетона для класса бетона В15 при $V_в^н$ = = 0,135 (близкого к марке бетона 200):

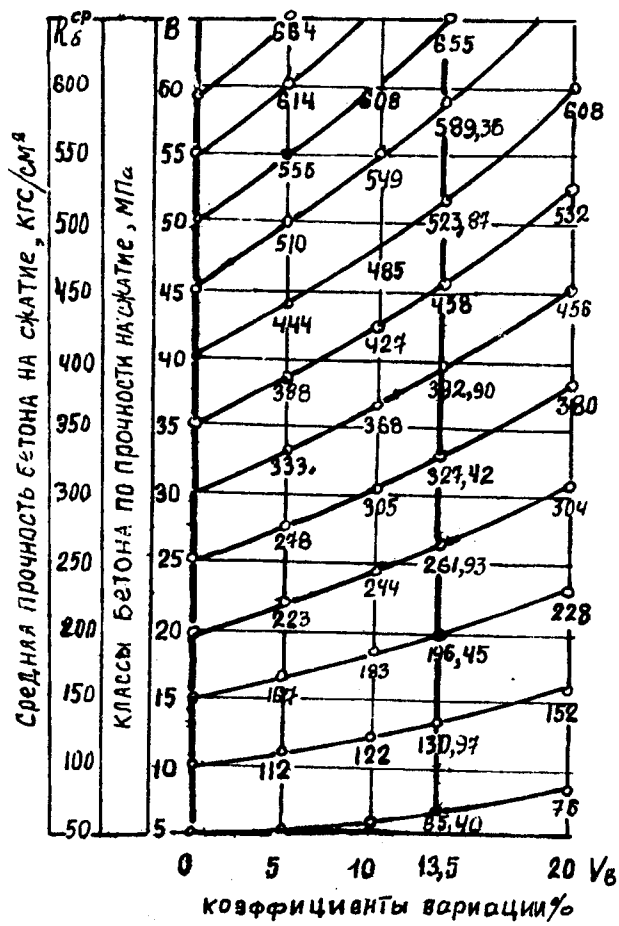
$$R_б^{ср} = 10 \cdot 15/0{,}0981 \times$$

$$\times (1 - 1{,}645 \cdot 0{,}135) =$$

$$= 150/0{,}765 = 196 \text{ (эталон)}.$$

По формуле (2) определяется средняя прочность бетона для всех введенных классов бетона при $V_в^н$. Вычисление $R_б^{ср}$ опускается, и данные расчетов приводятся в готовом виде. Например, для классов бетона 3; 5; 7; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60 средняя прочность бетона (при $V_в^н$ = 0,135) соответственно равна 46, 65, 78, 98, 131, 164, 196, 261, 327, 393, 458, 589, 655, 720, 786. Из приведенных данных видно, что средняя нормативная прочность бетона ($R_б^{ср}$) при $V_в^н$ не равна маркам бетона. И только для классов 7,5; 15; 30 она равна соответственно маркам 100, 200, 400. Для других классов $R_б^{ср}$ приближается к маркам бетона, но не равна им.

Класс бетона по прочности на сжатие (В)	Средняя прочность бетона ($R_б^{ср}$), кгс/см^2 при			
	$V_в^ф$ = 5%	$V_в^ф$ = 10%	$V_в^н$ = 13,5%	$V_в^ф$ = 20%
В3,5	38,9	42,7	45,84	53,2
В5	55,7	61,2	65,40	76,2
В7,5	83,5	91,4	98,23	114
В10	112	122	130,97	152
В12,5	139	153	163,71	191
В15	167	183	196,45	228
В20	223	244	261,93	304
В25	270	305	327,42	380
В30	333	368	392,90	456
В35	388	427	458,39	532
В40	444	485	523,87	608
В45	500	549	589,35	684
В50	556	608	654,84	760
В55	614	672	720,32	833
В60	664	731	785,81	911



На заводах ЖБИ и стройках фактический коэффициент вариации всегда не равен нормативному. При высокой культуре производства $V_в^ф < V_в^н$, а при низкой культуре — наоборот. Расчет составов бетона ведется по средней прочности бетона ($R_б^{ср}$). Она определяется по формуле (2).

1. Дано: $V_в^ф$ = 0,05, класс бетона В15

$$R_б^{ср} = 10 \cdot 15/0{,}0981 \times$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

x (1 — 1,645·0,05) =

= 150/0,918 = 164.

(по ГОСТ 18105, табл. 4, $R_б^{ср} = 0,83 \cdot 200 = 166$, что проще, чем при введении классов).

2. Дано: $V_в^ф = 0,2$, класс бетона В15

$$R_б^{ср} = 10 \cdot 15/0,0981 \text{ x}$$

x (1 — 1,645·0,2) =

= 150/0,67 = 226.

Из приведенных расчетов видно, что средняя прочность бетона при $V_в^ф = 0,05$ ниже средней прочности бетона при $V_в^н$, а при $V_в^ф = 0,2$ — больше. При $V_в^ф < V_в^н$ строители будут экономить цемент, а при $V_в^ф > V_в^н$ — перерасходовать. Несмотря на колебания $V_в$ и средней прочности ($R_б^{ср}$), нормативная прочность $R^н$ обеспечивается, что подтверждается нижеприведенными расчетами:

$$R_5^н = 164(1 — 1,645 \cdot 0,05) =$$

= 164·0,918 = 152;

$$R_{13}^н = 196(1 — 1,645 \cdot 0,135) =$$

= 196·0,78 = 153;

$$R_{20}^н = 226(1 — 1,645 \cdot 0,2) =$$

= 226·0,67 = 152.

В этой статье с целью сопоставления подробно изложены расчеты составов бетона по статистическому методу контроля прочности бетона и по классам бетона. Из анализа методов подбора состава бетона по марке и по средней прочности бетона при $V_в^н$ следует, что существенной разницы в расчетах составов бетона нет. Отличие в методах расчета состоит только в том, что по статистическому методу контроля за эталон принимается марка бетона при $V_в^н$, а при введении классов по $R_б^{ср}$ при $V_в^н = 0,135$. Средняя прочность бетона определяется до расчетов состава бетона для каждого класса бетона, что несколько усложняет расчеты.

Введение классов оправдывается также экономией цемента, но это с успехом можно делать и по статистическому методу. При переходе на классы марки бетона потеряли смысл. Многие заводы ЖБК и стройки не перешли не только на классы, но даже и на статистический метод контроля.

Достойная и обоснованная критика принятого решения по переходу на классы бетона дана в статье [2]. К сожалению, критические замечания и предложения, изложенные в [1, 2], проигнорированы и остались без внимания.

Однако сложившееся положение и неопределенность требуют срочного решения. Страна вправе иметь свои нормативные документы и собственные единицы измерения. Чтобы упорядочить создавшееся положение, необходимо:

1. Усовершенствовать статистический контроль за прочностью бетона и сделать его более доступным и понятным для сотрудников лабораторий, на которых возложен такой контроль.

2. Обсудить проблему статистического контроля за прочностью бетона в журнале "Бетон и железобетон", а также на специальной конференции с привлечением начальников лабораторий и широкого круга специалистов.

Библиографический список

1. С и з о в В.П. О необходимости пересмотра и переработки ГОСТ 18105-72 //Гидротехническое строительство. — № 2. — 1980.

2. В а й н е р Я.Г. О неудачном переходе на классы бетона //Бетон и железобетон. — № 5. — 1991.

Для тех, кто строит дом, коттедж, гараж, садовый домик

АООТ "Монолитстрой" г. Чебоксары принимает заявки на 1995 г. на изготовление и доставку железнодорожным, автомобильным и водным транспортом железобетонных плит перекрытий (плоских и многопустотных), плит и экранов лоджий, лестничных маршей и площадок, деталей ограды, садовых домиков, погребов, плит тротуарных, перемычек, фундаментных, стеновых и вентиляционных блоков, изготовленных с применением новой технологии термообработки, что позволяет снизить себестоимость изделий.

Цены договорные, но ниже сложившихся в регионе.

При оформлении заявок на изделия свыше 100 м^3 цены снижаются до 10%, в том числе и при накопительных объемах.

Почтовый адрес: 428037 Чувашская Республика, г. Чебоксары, Кабельный пр. 20, АООТ "Монолитстрой".

Контактные телефоны: 23-84-93, 23-82-69, 23-86-19, 23-86-36.

Телефакс: 21-46-68, факс: 21-42-52

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В.П. Трамбовецкий, канд.техн.наук

Регламентация применения суперпластификаторов в США

Американским институтом бетона (АИБ) в 1993 г. разработано и издано "Руководство по использованию высокоэффективных водоредуцирующих добавок (суперпластификаторов) в бетоне" [1]. Появление этого документа вызвано сильно возросшими в последние годы объемами применения суперпластификаторов (СП) и значительным расширением круга пользователей данного продукта. "Руководство" содержит в себе информацию и комментарии к действующим в настоящее время в США техническим условиям на химические добавки Американского общества по испытанию материалов (ASTM), описывает достоинства и преимущества различных СП, влияние их на свежеуложенный и затвердевший бетон, анализирует основные области применения и выделяет особенности осуществления контроля качества. Рассчитано оно на изготовителей, поставщиков и потребителей бетонных смесей, производителей работ и проектировщиков.

Высокоэффективные водоредуцирующие добавки представляют собой, как правило, продукты конденсации сульфонатов нафталина или меламина. Область их применения регламентируется стандартами ASTM C 494 "Химические добавки для бетона" [2] и C 1017 "Химические добавки для изготовления литого бетона" [3].

Первый описывает два типа добавок: тип F, дающий сильный водопонижающий эффект при сохранении обычных сроков схватывания, и тип G — когда водопонижение сопровождается замедлением сроков схватывания. В тех случаях, когда требуется получение литых бетонных смесей, выбирают СП, отвечающие требованиям стандарта C 1017. В соответствии с данным стандартом литой считается смесь, имеющая осадку конуса свыше 190 мм при сохранении связности смеси. В этом стандарте также выделены два типа добавок: тип 1 — для литых смесей с нормальными сроками схватывания и тип 2 — для литых смесей с замедленными сроками схватывания.

В американской практике, как, впрочем, и в практике многих других стран, на применение СП идут в следующих целях: для увеличения подвижности смеси; для увеличения прочности бетона; для снижения расхода воды и цемента.

Применение СП для получения подвижных, литых и даже самовыравнивающих смесей существенно сокращает трудозатраты на укладку бетона, однако в любом случае для получения качественного и долговечного бетона смесь следует адекватно вибрировать. Следует помнить, что увеличение подвижности смеси не оказывает заметного влияния на кинетику набора прочности бетона, которая остается аналогичной набору прочности в обычном бетоне при сохранении водоцементного отношения.

Значительный рост использования различных активных минеральных добавок в бетоны, таких, как золы, шлаки, пуццоланы и микрокремнеземы, нашел свое отражение и в американской нормативной литературе. Такие материалы все чаще называют цементирующими, а термин "водоцементное отношение" (В/Ц) заменяют на "водовяжущее отношение" (В/ЦМ).

При снижении В/ЦМ существенно увеличивается прочность бетона и его плотность, особенно при использовании добавок микрокремнезема. Следует иметь в виду при этом, что снижение В/ЦМ ведет к росту прочности на всех возрастных этапах относительно роста прочности обычного бетона.

Использование СП позволяет существенно сократить расход воды и цемента, т.е. сохранить проектный уровень прочности при уменьшении расхода цемента. Экономический эффект зависит, естественно, от соотношения стоимостей СП и цемента, однако косвенный эффект, выражающийся в снижении тепловыделения при гидратации и уменьшении трещинообразования, совершенно очевиден.

Влияние СП на бетонную смесь может быть различным в зависимости от типа добавки, вида и типа цемента, класса бетона и температуры смеси. Известно также, что суперпластифицированные смеси достаточно быстро теряют свою подвижность, хотя современные типы СП имеют существенно продленный срок жизнеспособности. В связи с тем, что в стандартах ASTM уменьшение осадки конуса только упоминается, но осуществление такого контроля не регламентируется, изготовители СП обычно дают рекомендации по времени введения их в смесь: на заводе товарного бетона или на площадке перед укладкой бетона.

Для уменьшения влияния повышенных температур на потерю удобоукладываемости предпочтение следует отдавать СП типа G по C 494 или вводить замедлитель схватывания и следовать Рекомендациям АИБ-305 "Бетонирование в жаркую погоду".

Как показывают исследования, введение СП в бетонные смеси с воздухововлекающими добавками для получения долго-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

вечных бетонов, в соответствии с Рекомендациями АИБ [4], вызывает определенные изменения в пористой структуре материала, увеличивая межпоровые расстояния и уменьшая удельную поверхность пор. Введение СП может также оказывать влияние на расслоение смеси и вызывать нежелательное водоотделение. Однако все упомянутые негативные последствия могут быть предотвращены при своевременном принятии надлежащих мер.

При перекачивании бетонных смесей введение СП зачастую является единственно приемлемым эффективным средством, позволяющим снизить давление в бетонопроводах на 25—35% для обычного и на 10—15% для легкого бетонов без заметного ухудшения характеристик смеси.

Анализ изменения свойств затвердевших бетонов при введении в них СП показывает, что помимо существенного улучшения прочностных характеристик заметных изменений или ухудшений других характеристик не отмечается. Так, например, прочность на растяжение и модуль упругости бетонов с применением СП находятся в такой же зависимости от прочности на сжатие, как и в обычных бетонах. Не отмечается заметных отличий в морозостойкости и сцеплении суперпластифицированных бетонов с арматурой. Практически нет изменений в величинах усадки и ползучести, а долговечность бетона за счет меньшей проницаемости при соблюдении других требований, как правило, улучшается.

Основные области применения бетонов с СП — это высокопрочные бетоны (по американским понятиям — бетоны с прочностью на сжатие свыше 41 МПа). К ним относятся так называемый архитектурный бетон, сборные конструкции гаражей и стоянок, полы промышленных зданий, высотные каркасные и рамные здания, а также массивные конструкции с опасностью появления трещин. По данным проведенного в 1990 г. опроса, все 100% преднапряженных конструкций в США изготавливались с применением СП (в 1983 г. — только 65%).

Особое внимание "Руководство" уделяет вопросам контроля качества. Помимо осуществления обычного пооперационного контроля, применение СП вызывает необходимость введения дополнительных контрольных операций. Проводятся определение удобоукладываемости, измерение количества и распределения СП по всему объему смеси, перемешивание, повторное введение и дозировка СП.

Контроль удобоукладываемости по осадке конуса или другими способами осуществляется различным образом в зависимости от места и способа введения СП в смесь. Определенные особенности имеются в случаях задержки с укладкой бетона и повторным введением СП в смесь. В американской практике нередки случаи успешного трехкратного повторного введения СП в смесь.

Знание особенностей зарубежного опыта применения суперпластификаторов бетонных смесей представляет определенный интерес для отечественных строителей в связи с возрастающими объемами использования у нас зарубежных материалов, появлением новых молодых фирм и дальнейшей интернационализацией строительной практики.

Библиографический список

1. Guide for the Use of High — Range Water Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete, ACI 212-4R-93.

2. ASTM C 494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

3. ASTM C 1017 Standarl Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete.

4. Guide to Durable Concrete, ACI 201.2R-93.

Редакционная коллегия: Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, В.М. Бондаренко, В.В. Гранев, В.Г. Довжик, А.И. Звездов, Ф.А. Иссерс, Б.И. Кормилицын, К.В. Михайлов, В.А. Рахманов, И.Ф. Руденко, Р.Л. Серых (главный редактор), В.П. Сизов, В.М. Скубко, В.Р. Фаликман, Ю.Г. Хаютин, А.А. Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н. Щербаков

Корректор *Н.Я. Шатерникова*

Подписано в печать 27.07.95. Формат 60x88[1]/8. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.
Усл.печ.л. 3,92. Усл.кр.-отт. 4,92. Уч.-изд.л. 5,2. Тираж 1 430 экз. Заказ №1165

Адрес редакции:
Москва, Георгиевский пер., д. 1, строение 3, 3-й этаж
Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул., 23а
тел. 292-62-05

Отпечатано в типографии N 9
Комитета РФ по печати
109033, Москва, Волочаевская, д. 40

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ

14—18 сентября 1995 г. в Санкт-Петербурге состоится конференция по защите городов от стихийных бедствий и техногенных разрушений.

Организаторы конференции: Минстрой России, Сейсмофонд "Защита и безопасность", Министерство по чрезвычайным ситуациям, Российская Инженерная Академия, Международная Ассамблея Государств СНГ, Петровская академия наук и искусств.

Цель конференции: обмен опытом научно-практической работы по сейсмостойкому строительству, защите городов от стихийных бедствий и различных техногенных разрушений (пожары, взрывы, выбросы газов, промотходов, аварии, затопления, обрушения зданий в результате промышленной сейсмики, экологических катастроф, физического износа и старения строительных материалов и конструкций).

Основные направления работы секций:

1. Прогноз и моделирование поведения сооружений в экстремальных ситуациях
2. Расчет сооружений и оснований на динамические воздействия. Промышленная сейсмика. Экспериментальные методы исследования конструкций при ударе.
3. Сейсмозащита и сейсмоизоляция сооружений. Виброметрия и сейсмометрическая служба.
4. Причины и последствия техногенных разрушений зданий и сооружений.
5. Надежность систем жизнеобеспечения транспорта, коммуникаций и объектов инфраструктуры больших городов.
6. Инженерный анализ последствий аварий, усиления и восстановления сооружений после землетрясений и техногенных разрушений.
7. Технология и механизация спасательных и восстановительных работ на объектах в зонах стихийных и экологических бедствий.
8. Организация, планирование и управление строительством и транспортом в экстремальных условиях.
9. Экономические и социально-экологические аспекты ремонтно-восстановительных работ.

Рабочие языки: русский и английский.

Регистрационный взнос: участники конференции из России — 120 тыс.руб, иностранные участники — 100 долларов США.

Спонсоры конференции: строительные фирмы, агентства недвижимости, страховые компании и банки СПб, России.

Адрес Оргкомитета конференции: 197371, Санкт-Петербург, пр. Королева, 30/1-135.
Тел. (812) 348-78-10, факс (812) 314-90-76.
Расчетный счет Оргкомитета (Сейсмофонда) N 19002700563 АО "Банк СПб"
Куйбышевского ЦРКЦ ГУ ЦБ РФ по СПб МФО 161002:171111 к/с.

Справки, заявки на места в гостиницах, обратные билеты принимаются
по тел. (812) 273-91-81, 348-78-10, 316-16-09.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

об.

СОЛУТ

ТУ-113-03-18-88
побочный продукт производства Диафена ФП-
антистарителя резино-технических изделий

Индекс 70050

СОЛУТ - активатор твердения цементных бетонов.

Содержание СОЛУТА в бетонной смеси 0.5-2.0 %.
СОЛУТ увеличивает подвижность бетонной смеси, улучшает ее удобоукладываемость, повышает прочность изделий на 8 %, сокращает время тепловой обработки на 6 часов.

СОЛУТ ускоритель твердения бесцементного золобетона.

Содержание СОЛУТА в смеси 1.5-2.0 %.
Изделия из смесей содержащих СОЛУТ, на бесцементных вяжущих имеют прочность после пропаривания до 35 МПа, через 28 суток - до 44 МПа, а водонепроницаемость В 4.

СОЛУТ активатор твердения малоцементных бетонов.

У бетонов из смесей, содержащих СОЛУТ, расход цемента на 10 % ниже нормы, прочность остается в пределах показателей без сокращения расхода вяжущего, сокращается время тепловой обработки на 6 часов.

На применение СОЛУТА имеется разрешение Минздрава.

Технические характеристики

Наименование показателей	Нормативы
Внешний вид	Гранулы длиной до 10 мм или кусочки неправильной формы
Массовая доля сульфата натрия, %	40-60
Массовая доля хлористого натрия, % не более	30,0
Массовая доля тиосульфата натрия, % не менее	20,0
Массовая доля влаги, % не более	15,0

Транспортировка навалом в железнодорожном или автомобильном транспорте.
Хранение в закрытых складах.

По вопросам приобретения обращаться :
РОССИЯ 650099 г.Кемерово АО"АЗОТ"
Тел.: (3842) 222691,220936
Факс: (3842) 220008
Телетайп: 215187 ЛУНА
Телекс: 215229 РТВ SU

Консультации по техническим вопросам :
РОССИЯ 650026 г.Кемерово
ул.Весенняя 28 КГТУ
Тел.: (3842) 232387,233323
Факс: (3842) 230808

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ISSN 0005—9889 Бетон и железобетон. — 1995. №4.1—32