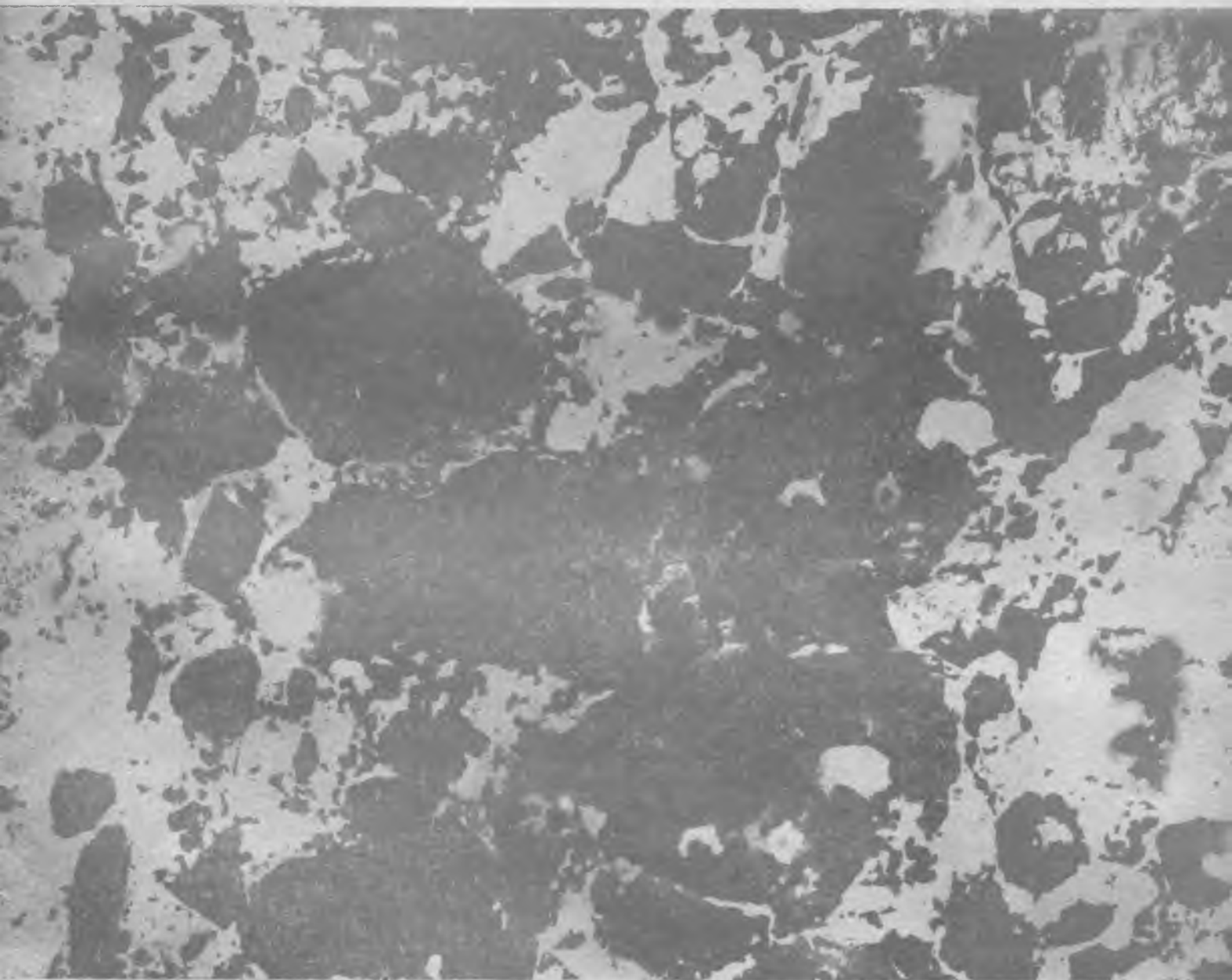


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

3

1999



В Н И И Ж Е Л Е З О Б Е Т О Н ПРЕДЛАГАЕТ

**КОРПОРАЦИИ «ТРАНССТРОЙ», ФИРМАМ «ДОРИНВЕСТ», «ОРГАНИЗАТОР», «ЦЕНТРОДОРСТРОЙ»,
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ, ЗАВОДАМ МЖБК, ЖБИ**

ИМПРЕГНИРУЮЩИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СОСТАВЫ (ИАКС)

ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОРОЗОСОЛЕСТОЙКОСТИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ДОРОЖНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ

♦ Опыт реконструкции МКАД показал, что сборные железобетонные блоки и плиты дорожного ограждения (ДО), бортовые камни, водопропускные лотки, лестничные марши и т.д., подвергаются комплексному агрессивному воздействию выхлопных газов, растворов размораживающих солей, знакопеременных температур, высыхания и увлажнения, механического и абразивного износа и нуждаются в эффективной антикоррозионной защите. Покрытие ДО из латекса ВХВД разрушилось после первого зимнего сезона эксплуатации. Трудоемкое в изготовлении и дорогостоящее покрытие НПО «Космос» не обеспечивает гарантированной защиты ДО МКАД и требует систематического обновления.

♦ Импрегнирующие жидкости **ИАКС** разработаны ВНИИЖелезобетоном при участии СоюздорНИИ и НПО «Оргстекло» по инициативе АО «Центродорстрой» (письмо №14/247А от 15.09.92г.). Представляют собой высококонцентрированные растворы парафинов со спецприсадками в керосине или дизтопливе. Тиксотропные **ИАКС** адаптированы к обработке вертикальных бетонных поверхностей. Наносятся распылением или обливом при температуре выше 15°C с расходом 200...300 г/м². В заводских условиях эффективна ванная пропитка (1...2 ч) изделий при 20±5°C. Применимы для обработки монолитного бетона. Стоимость на 01.12.98г. 2...5 руб./м² поверхности изделия. По эффективности и комплексу функциональных свойств не имеют аналогов в СНГ.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- * Относятся к малоопасным продуктам (IV класс по ГОСТ 12.1.007)
- * Не требуют подготовки бетонной поверхности
- * Пропитывают и колюматируют бетон с формированием в поверхностном слое (4...10 мм) внутренней защитной изоляции, не подверженной коррозии, отслоению и абразивному износу
- * Не изменяют цвета изделий; окрашиваются атмосферостойкими акриловыми красками
- * Препятствуют карбонизации и образованию в бетоне **вторичного этtringита (цементной бациллы)**, способствующего разрушению изделий с покрытием НПО «Космос» при морозно-коррозионном воздействии (см. рисунок)
- * Восстанавливают морозостойкость дорожных изделий до проектной марки и выше

ИАКС испытаны на бетонных образцах заводов ЖБИ, поставлявших сборные изделия для МКАД

❖ По третьему (-50°C) методу ГОСТ 10060.2-95:

❖ Воскресенский ЗЖБИ. Бетон В22,5; F200. 20 циклов МЗО

	W	Δm	R_o / R_k	F
Без обработки	4,1	-4,6	78	—
После облива ИАКС (П2)	0,6	+0,6	98	200
После ванной пропитки ИАКС (П2)	0,4	+0,5	130	200

❖ Черкизовский ЗЖБИ №18. Бетон В30; F300. 105 циклов МЗО

	W	Δm	R_o / R_k	F
Пропитаны ИАКС (П2Х), окрашены «СИЛАЛ»-ом	0,2	+0,9	103*	600
Пропитаны ИАКС (ПЗСХ), окрашены «АКРИАЛ»-ом	0,3	+1,5	114	600

Примечание. *) Покрытие кремнеорганической краской «СИЛАЛ» растрескалось

❖❖ По второму (-20°C) методу ГОСТ 10060.2-95 с учетом п.п. 4.9 и 4.14 ГОСТ 10060.0-95 после 150 (1) и 200 (2) циклов МЗО. См. таблицу

❖ Купавинский ЗЖБИ. Бетон В22,5; F200

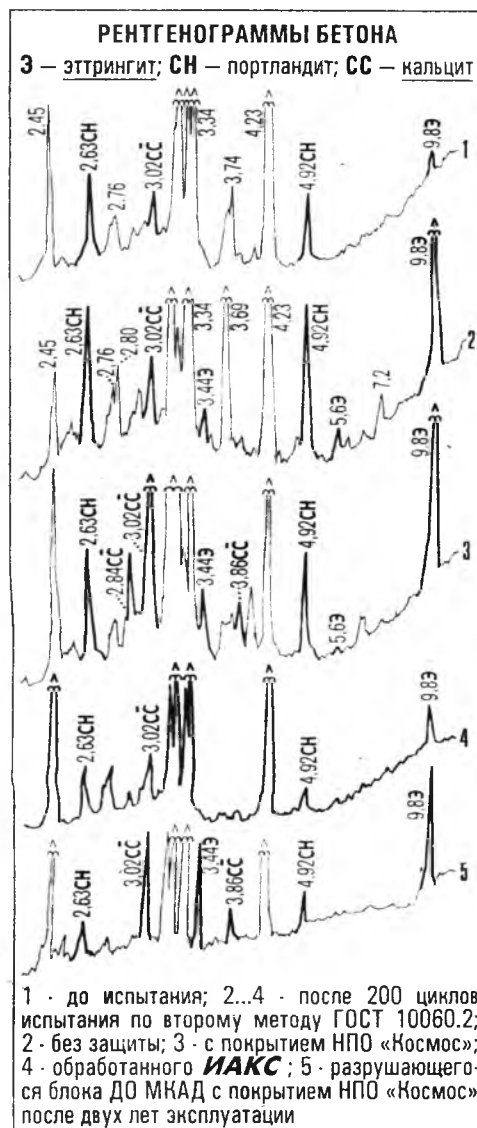
Вторичная защита	W, %	R_k , МПа	R_o , МПа / % R_k		Δm , %		F
			1	2	1	2	
Отсутствует	1,1	33,9	30,5 / 90	28,5 / 84	-1,8	-3	<150
НПО «Космос»	0,1	30,3	29,6 / 98	22,2 / 73	+0,1	0	150
ИАКС	0,1	27,9	34 / 122	37 / 133	+0,7	+0,4	200

Примечание. МЗО - многократное замораживание и оттаивание; W - водопоглощение, мас. %; Δm - изменение массы после испытания, %; R_o / R_k - отношение прочности на сжатие основных и контрольных образцов, %; F - марка по морозостойкости

ПРЕДЛАГАЮТСЯ:

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОДЕЙСТВИЕ ПРИ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОМ ВНЕДРЕНИИ, ПОСТАВКА СОСТАВОВ

Обращаться: ☒ 111524, г.Москва, ул.Плеханова, 7, ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН. ☎ (095) 306-3411, факс (095) 393-8538; Топильский Г.В.



Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон

СОДЕРЖАНИЕ

Вниманию авторов и читателей

В связи с переходом нашего журнала в другое издательство сообщаем **новый почтовый адрес редакции**: 103031, Москва, ул.Рождественка, д.11, корп. 2 издательство "Ладья", для редакции журнала "Бетон и железобетон".

Местонахождение (помещение) и телефон редакции прежние (см.стр.32).

Конструкции

ЧИНЕНКОВ Ю.В., КОРОЛЬ Е.А. Изгибаемые трехслойные ограждающие конструкции из легкого бетона для второго этажа теплозащиты зданий 2

Бетоны

ИССЕРС Ф.А., БУЛГАКОВА М.Г., ВЕРШИНИНА Н.И. Прочностные и деформативные свойства высокопрочных бетонов с модификатором МБ 10-01 6

В помощь проектировщику

РАХМАНОВ В.А., КОЗЛОВСКИЙ А.И., ФАЙВУСОВИЧ А.С. Расчет технологических режимов аппарата вспенивания 10

БАЙРАМУКОВ С.Х. Выносливость нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием 13

Теория

ТАМРАЗЯН А.Г. К теории расчета по предельным состояниям на основе реологической механики железобетона 15

Долговечность

ДОБШИЦ Л.М., СОЛОМАТОВ В.И. Влияние свойств цемента на морозостойкость бетонов 19

НЕРУБЕНКО С.Л., ГВОЗДЕВ В.А., ШКИНИН Н.И. Методика определения морозостойкости бетона поверхностных слоев конструкций 22

В порядке обсуждения

СИЗОВ В.П. О проекте ГОСТ 310 на испытание цемента 25

Библиография

Интересная монография 26

Информация

ЧЕРНЕЦКИ Л., САНДРОЛИНИ Ф. Парадигмы в полимерных бетонах 27



Москва
Издательство
"Ладья"

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ. Рег. № 01080
Издательская лицензия № 065354 от 14.08.97

© Издательство "Ладья", журнал "Бетон и железобетон", 1999

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Изгибаемые трехслойные ограждающие конструкции из легкого бетона для второго этапа теплозащиты зданий

Значительное число ограждающих конструкций массового применения работают на изгиб, в том числе панели стен ленточной разрезки зданий различного назначения, панели покрытий общественных и производственных зданий, чердачные и надподвальные перекрытия, панели крыш жилых зданий с теплым чердаком и др.

До повышения требований к теплозащите зданий, определенных Изменением № 3 к СНиП II-3-79* "Строительная теплотехника", изгибаемые ограждающие конструкции, как правило, выполняли однослойными из легкого бетона. Для каркасных зданий с шагом колонн 6 м и ветровой нагрузке до 90 кгс/м² применяли также трехслойные стеновые панели с эффективным утеплителем и гибкими стальными связями. Ограничение пролета и нагрузки здесь связано с тем, что наружные слои в таких конструкциях работают в значительной мере раздельно и обеспечить их прочность, жесткость и трещиностойкость возможно лишь путем существенного увеличения толщины слоев и армирования, что делает их неэкономичными.

Имеющийся опыт производства и применения конструкций с эффективным утеплителем выявил ряд их недостатков: повышенную трудоемкость изготовления вследствие значительной доли ручного труда по раскрою и укладке утеплителя, установке металлических связей; необходимость дополнительных затрат на защиту гибких связей от коррозии, а эффективного утеплителя от возгорания; трудность обеспечения предусмотренного проектом качества ввиду протечки раствора между кусками утеплителя и др.

Обеспечение новых повышенных требований теплозащиты зданий на втором этапе нереально и

с использованием однослойных конструкций из легкого бетона — значительно возрастает толщина, а следовательно, и масса конструкций. Поэтому потребуется замена не только бортоснастки форм, но зачастую и кранового оборудования, а также конструкции транспортных средств.

Одним из возможных проверенных решений изгибаемых ограждающих конструкций являются трехслойные из легкого бетона с утепляющим слоем из легкого бетона низкой средней плотности, разрабатываемые в НИИЖБ. Характерной особенностью этих конструкций является монолитность сечения (за счет надежного сцепления наружных и внутреннего слоев бетона), обеспечиваемая последовательной укладкой слоев в одном технологическом цикле изготовления конструкции. Монолитность сечения устраняет необходимость установки стальных или дискретных железобетонных связей, а изготовление таких конструкций возможно с использованием существующих заводских технологий. При этом трудоемкость подобных конструкций практически такая же, как и однослойных из легкого бетона.

Для изготовления трехслойных конструкций из легких бетонов могут быть использованы различные виды вяжущего: портландцемент, шлакопортландцемент и композиционные. Использование двух последних позволяет снизить коэффициент теплопроводности легких бетонов и соответственно повысить сопротивление теплопередаче конструкций из них. В среднем слое таких конструкций может использоваться модифицированный полистиролбетон с пониженным до 30% коэффициентом теплопроводности (против традиционного равной марки по плотности) за счет

оптимизации структуры и применения композиционных вяжущих*.

Предлагаемые конструктивные решения подкреплены многочисленными лабораторными исследованиями свойств материалов, совместной работы слоев, поведения изгибаемых и сжатых элементов, изготовлением и испытанием конструкций различных видов, проверкой их на производстве.

Ниже рассмотрены примеры предлагаемых трехслойных стеновых панелей ленточной разрезки, покрытий общественных и производственных зданий, а также чердачных перекрытий жилых зданий.

Для оценки эффективности предлагаемых панелей ленточной разрезки их сравнивали с типовыми по серии 1.432-12/80 "Стены из железобетонных трехслойных панелей на гибких связях с эффективным утеплителем для зданий с нормальным и влажным режимом, в том числе с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов" и по серии 1.030.1-1 "Стены наружные из однослойных панелей для каркасных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий".

Наружные слои предлагаемых конструкций приняты такими же, как и трехслойных по серии 1.432-12/80, — 10 и 5 см из керамзитобетона класса В7,5 средней плотности 1200 кг/м³; внутренний полистиролбетонный слой класса В0,75 толщиной от 10 до 35 см через 5 см. Для расчета коэффициент теплопроводности однородности, учиты-

* Чиненков Ю.В., Ярмаковский В.Н. Низкотеплопроводные легкие бетона и трехслойные стены из мелких блоков. Проблемы строительной теплофизики, систем микроклимата и энергосбережения в зданиях. Сб. докл. — М., 1998, с. 162-168.

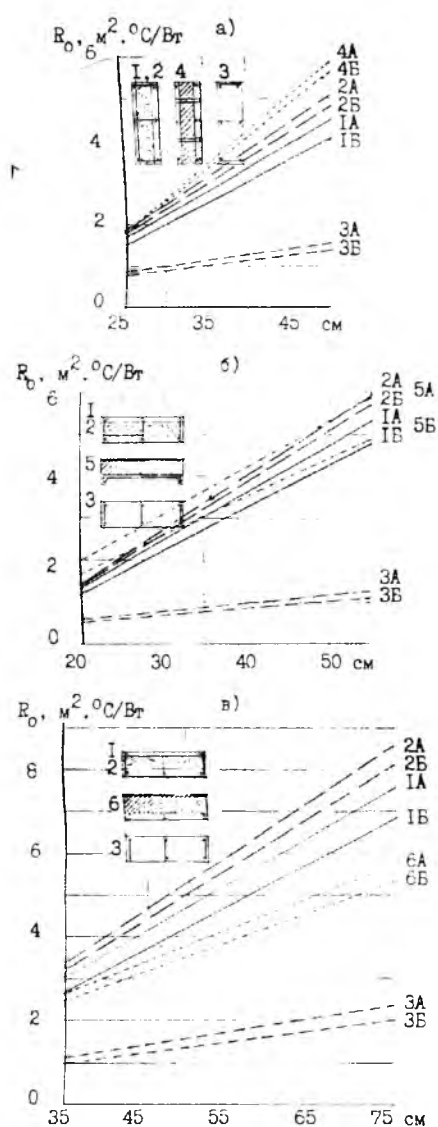


Рис. 1. Сопротивление теплопередаче трехслойных панелей

а — стеновые панели ленточной разрезки; б — панели покрытия; в — панели чердачного перекрытия

1, 2 — трехслойные из легкого бетона соответственно на шлакопортландцементе и композиционном вяжущем; 3 — однослойные из легкого бетона; 4 — трехслойные с эффективным утеплителем и гибкими связями; 5 — плиты жесткие минераловатные на синтетическом или битумном связующих с цементной стяжкой по несущим элементам покрытия; 6 — засыпка из керамзитового гравия с цементной стяжкой по чердачному перекрытию

вающий наличие в панелях по серии 1.432–12/80 стальных гибких связей, принят равным 0,8 и отнесен к утеплителю (СНиП II–3–79*, Приложение 13, таблица 3). Для определения сопротивления теплопередаче однослойных панелей толщина их принята такой же, как и трехслойных (25...50 см). Спро-

тивление теплопередаче (R_0 , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$) трехслойных и однослойных панелей, определенное в соответствии с рекомендациями СНиП II–3–79*, приведено на рис. 1, а. Из рисунка видно, что при равной толщине сопротивление теплопередаче однослойных панелей в 2...3,5 раза меньше, трехслойных с эффективным утеплителем и гибкими связями при малых толщинах — близко, а при средних — на 10...16% больше предлагаемых.

Предложенные трехслойные панели покрытий общественных и промышленных зданий и чердачных перекрытий жилых зданий приняты одинаковой конструкции, с наружными слоями толщиной 8 и 4 см из керамзитобетона средней плотности 1400 $кг/м^3$. В нижнем 8-сантиметровом слое размещается рабочая арматура из стали класса А–III, в верхнем — конструктивная из стали класса Вр–1. Средний слой так же, как и в стеновых панелях, выполняется из полистиролбетона М10 (В0,75), толщиной 8...43 см для покрытий и 23...63 см для чердачных перекрытий.

Для сравнения приняты однослойные панели из керамзитобетона средней плотности 1100 $кг/м^3$ на шлакопортландцементе. При расчете их теплозащитных свойств учтены фактурные слои из цементно-песчаного раствора толщиной 2 см. Рассмотрен и вариант покрытий из железобетонных плит с утеплителем в виде жестких минераловатных плит на синтетическом и битумном связующих, с цементно-песчаной стяжкой под кровлю толщиной 4 см. Для чердачных перекрытий рассмотрен вариант утепления в виде засыпки из керамзитового гравия средней плотности 400 $кг/м^3$, со стяжкой поверху из цементно-песчаного раствора толщиной 4 см.

Как видно из приведенных на рис. 1, б результатов расчета, сопротивление теплопередаче покрытий из однослойных панелей составляет 23...41% этого параметра трехслойных панелей той же толщины; при утеплении минераловатными плитами при малых толщинах оно больше, а при больших — несколько меньше. Сопротивление теплопередаче чердач-

ных перекрытий из однослойных панелей составляет 29...38% этого параметра трехслойных той же толщины (рис. 1, в), а засыпка из керамзитового гравия — 75...89%.

В соответствии с новыми требованиями сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций определяется величиной градусо-сутки отопительного периода (ГСОП, $^\circ C \cdot сут$). Для второго этапа теплозащиты зданий они приведены в таблице 1, б СНиП II–3–79* и зависят от назначения здания и конструкции.

Рассмотрены жилые, общественные и производственные здания, расположенные в различных регионах РФ. Охвачены все областные города и центры автономных республик, включенные в СНиП 2.01.01–82 "Строительная климатология и геофизика". Из 71 города 34 расположены в условиях эксплуатации А и 37 — в Б. Для рассмотренных ниже примеров величина ГСОП для условий эксплуатации А составляет 1872 (Махачкала)...10465 (Якутск), для условий Б — 2484 (Ставрополь)...8229 (Магадан). В таблице для примера приведены значения требуемой толщины трехслойных конструкций из легкого бетона в 37 городах в условиях Б при использовании в качестве вяжущего шлакопортландцемента.

Толщины панелей приняты кратными 5 см. Толщина панелей ленточной разрезки для лечебных учреждений и интернатов составляет 35...55, а в большей части городов — 40...45 см (86,5%), для общественных зданий соответственно 30...45 и 35...40 см (86,5%), для производственных зданий — 25...35 и 30 см (91,9%); для панелей покрытий универсальных магазинов — 35...50 и 40...45 см (86,5%); для чердачных перекрытий жилых зданий — 40...60 и 50...55 см (75,7%). В условиях эксплуатации А для рассматриваемых зданий толщина панелей для большей части городов меньше, чем в условиях эксплуатации Б.

При использовании композиционного вяжущего толщина панелей для большинства городов на 5 см меньше, чем при шлакопортланд-

Областные города и центры автономных республик	Стеновые панели ленточной резки												Панели покрытий				Чердачные перекрытия				
	Лечебно-профи- лактические учреждения 20°С					Общественные здания 16°С				Производствен- ные здания 16°С			Универсальные магазины 15°С				Жилые здания 18°С (20°С)				
	35	40	45	50	55	30	35	40	45	25	30	35	35	40	45	50	40	45	50	55	60
Александров-Сахалинский			+					+			+				+					+	
Архангельск			+					+			+				+					+	
Благовещенск				+				+				+			+					+	
Брянск		+						+			+				+				+		
Владивосток		+						+			+				+					+	
Владимир			+					+			+				+					+	
Вологда			+					+			+				+					+	
Н. Новгород			+					+			+				+					+	
Иваново			+					+			+				+					+	
Ижевск			+						+		+				+					+	
Йошкар-Ола			+						+		+				+					+	
Казань			+					+			+				+					+	
Тверь			+					+			+				+					+	
Калининград		+				+					+				+				+		
Калуга			+					+			+				+					+	
Киров			+						+		+				+					+	
Кострома			+					+			+				+					+	
Курск								+			+				+				+		
С -Петербург		+						+			+				+					+	
Магадан					+					+	+					+					+
Москва			+					+			+				+	+				+	
Мурманск					+				+		+									+	
Нальчик	+					+					+		+				+				
Новгород		+						+			+				+					+	
Владиковказ		+				+					+		+				+				
Пермь			+						+		+				+					+	
Петрозаводск			+					+			+				+					+	
Петропавловск-Камчатский			+					+							+					+	
Псков		+						+			+				+				+		
Рязань			+					+			+				+					+	
Смоленск		+						+			+				+				+		
Ставрополь	+					+				+			+				+				
Сыктывкар		+							+		+				+					+	
Тула		+						+			+				+				+		
Хабаровск			+						+		+				+					+	
Чебоксары			+					+			+				+					+	
Ярославль		+						+			+				+				+		

цементе, а при портландцементе — на 5 см больше (рис. 2).

Выводы

1. Выполнение требований второго этапа теплозащиты зданий, определяемых Изменением № 3 к СНиП II-3-79* "Строительная теплотехника" с использованием однослойных панелей из легкого бето-

на не рационально, поскольку при этом потребуется существенное увеличение их толщины. Как следствие возрастет материалоемкость, энергоемкость и стоимость конструкций. Наряду с изменением бортоснастки форм может потребоваться замена кранового оборудования и транспортных средств в связи с увеличением массы панелей.

2. По сопротивлению теплопередаче трехслойные стеновые панели из легкого бетона и такой же толщины трехслойные панели с эффективным утеплителем и гибкими связями различаются несущественно. Так, например, при использовании композиционного вяжущего в стеновых панелях лечебно-профилактических учреждений и интернатов в 36 городах

Кол., шт.

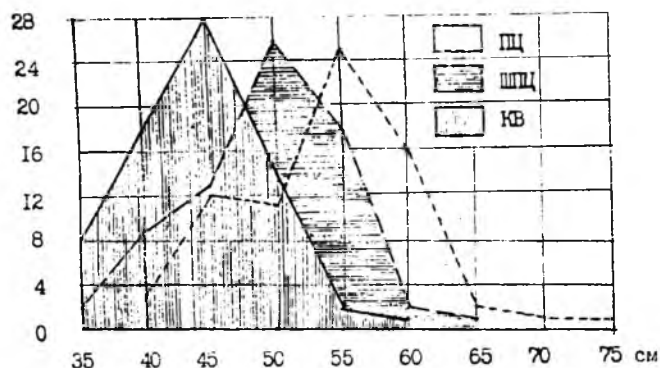


Рис. 2. Количество областных городов и центров автономных республик с требуемой на втором этапе толщиной трехслойных панелей из легкого бетона для чердачных перекрытий жилых зданий

ПЦ, ШПЦ, КВ — соответственно при использовании портландцемента, шлакопортландцемента и композиционного вяжущего

толщина панелей одинаковая, а в 35 — больше на 5 см. Очевидно, что подобные различия в толщине компенсируются преимуществами трехслойных панелей из легкого бетона: использованием традиционных технологий изготовления, меньшим объемом ручного труда, долговечностью, надежностью, отсутствием ограничений по нагрузке и пролету.

3. Трехслойные ограждающие конструкции из легкого бетона эф-

фективны по многим показателям при использовании в покрытиях общественных и производственных зданий, а также в чердачных перекрытиях жилых домов. Их целесообразно применять взамен покрытий с использованием несущих панелей из тяжелого бетона и жесткого минераловатного утеплителя в виде плит на синтетическом или битумном связующих в покрытиях и в виде засыпки из керамзитового гравия в чердачных пере-

крытиях. При этом снижается общая высота покрытий и перекрытий, уменьшается расход рабочей арматуры, снижается трудоемкость работ на строительстве, повышается эксплуатационная надежность и долговечность конструкций.

4. В большей части городов РФ толщина трехслойных стеновых панелей из легкого бетона ленточной разрезки в рассмотренных примерах не превышает 45 см. За счет использования в среднем слое полистиролбетона низкой средней плотности масса трехслойных панелей не превышает массу применяемых однослойных, и при этом может быть использовано имеющееся крановое оборудование. Часть панелей можно изготавливать в имеющейся опалубке однослойных панелей. Если же толщина больше, то модернизация опалубки может осуществляться наращиванием бортов.

5. Сопротивление теплопередаче трехслойных панелей зависит от вида используемого вяжущего. При замене портландцемента шлакопортландцементом и композиционным вяжущим обеспечивается, как правило, уменьшение толщины ограждающей конструкции соответственно на 5 и 10 см.

Вниманию читателей и авторов журнала!

В ряду отечественной периодики строительного профиля видное место занимает научно-технический и производственный журнал "Бетон и железобетон". Это и неудивительно, поскольку материалы, определившие название журнала, являются основными в современном строительстве и в обозримом будущем безусловно сохраняют свое доминирующее положение.

Издаваемый с 1955 г. журнал регулярно знакомит специалистов с результатами научных исследований и разработками в области теории, расчета, проектирования, заводского производства, монтажа и поддержания в надлежащем эксплуатационном состоянии сборных, монолитных и сборно-монолитных бетонных и железобетонных изделий, конструкций, зданий и сооружений.

На страницах журнала выступают крупные ученые и работники строительного комплекса России и стран СНГ, известные в нашей стране и за рубежом. Среди подписчиков журнала специалисты из многих стран мира. По единодушному мнению, публикации журнала всегда способствовали техническому прогрессу в строительстве, стройиндустрии и промышленности строительных материалов.

Журнал, периодичность выхода которого составляет один раз в два месяца, предлагает свои страницы для публикации рекламы и объявлений, рекламных статей и материалов (цена договорная).

Авторам статей напоминаем, что объем присылаемых в редакцию рукописей не должен превышать 8 стандартных машинописных страниц, напечатанных через 2 интервала. Рисунки (3–4 графика, схемы) следует разборчиво вычерчивать черной тушью или шариком на белой бумаге, не перегружая их второстепенным графическим и текстовым материалом. Статьи, наполненные формульным текстом, просим представлять в двух экземплярах, набранных на компьютере, с выводом на лазерном принтере на формат журнала (18х25 см); набор может быть двух- (если формулы громоздкие) или трехколонным (см. журнал). Начинающим авторам до подготовки рукописи рекомендуем просмотреть журнал и ознакомиться с манерой и принципами оформления текстового и графического печатного материала. При отправке рукописи сообщайте свои адреса и телефоны, паспортные данные и номер страхового пенсионного свидетельства.

Подписку на журнал "Бетон и железобетон" (подписной индекс 70050) можно оформить во всех отделениях связи РФ. Сведения об условиях подписки содержатся в Объединенном каталоге "Российские и зарубежные газеты и журналы".

Присылать статьи и вести переписку с редакцией можно по адресу: 103031, Москва, ул. Рождественка, д. 11, корп. 2, издательство "Ладья", для редакции журнала "Бетон и железобетон". Тел. для справок: (095) 292-62-05.

Ф.А.ИССЕРС, д-р техн. наук, проф., М.Г.БУЛГАКОВА, Н.И.ВЕРШИНИНА, кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

Прочностные и деформативные свойства высокопрочных бетонов с модификатором МБ 10-01

В НИИЖБе разработан комплексный модификатор бетона МБ 10-01 полифункционального действия [1]. Модификатор, на основе микрокремнезема и суперпластификатора, изготавливается по упрощенной технологии и позволяет на традиционных составах получать высокопрочные бетоны (HSC) с повышенными эксплуатационными свойствами в плане водо- и газонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к воздействию агрессивных сред.

Введение в состав бетона это-

15 см и на призмах размерами 4х4х16 см и 10х10х40 см.

Образцы распалубливали через 1...2 сут, после чего их выдерживали до 28 сут в камере нормального хранения ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\phi=95\%$), а затем они твердели в стабильных условиях специального лабораторного помещения ($t\leq 20^{\circ}\text{C}$, $\phi=60\ldots 65\%$). Экспериментальные значения прочностных и деформативных характеристик бетонов при кратковременном нагружении приведены в табл.2.

Кубиковую прочность бетонов

Опытные данные свидетельствуют о весьма интенсивном росте прочности образцов во времени. Через 1 сут кубиковая прочность бетонов составляла 20...36 МПа, в возрасте 3 и 7 сут — 60...75% 28-суточной прочности. Такие значения прочности бетонов на МБ 10-01 в раннем возрасте могут рассматриваться как вполне достаточные для распалубки железобетонных конструкций, их транспортировки и даже передачи усилия предварительного напряжения с арматуры на бетон в предварительно напряженных элементах. К 28 сут прочность бетона достигала 82...99 МПа, а к 150 сут превышала значения 28-суточной прочности в среднем на 12%.

По результатам статистической обработки значений кубиковой прочности бетона в возрасте 28 сут устанавливали класс бетона по прочности на сжатие, который составил В60, В65 и В75.

Призменная прочность бетонов в возрасте 7 сут находилась в пределах 76...83% кубиковой прочности, а в возрасте 28 сут для основных составов (1, 2 и 4) увеличилась до 80%. Таким образом, коэффициент призменной прочности дос-

№ состава	Расход составляющих, кг/м ³			В/Ц	В/В	ОК, см	Кубиковая прочность в возрасте 28 сут, МПа
	цемент	МБ 10-01	ГЮК-94				
1	513	51	—	0,3	0,28	19	82,64
2	495	72	—	0,32	0,28	19	86,02
3	486	71	0,25%	0,28	0,25	10	81,5
4	496	72	—	0,27	0,23	10	99,1

Примечания: В бетонной смеси применены цемент Белгородского завода марки 500, гранитный щебень фракции 5...20 мм, кварцевый песок с $M_k = 2,1$. ГЮК-94 — кремнийорганическая воздухововлекающая добавка.

го модификатора снижает расход цемента, изменяет структуру бетона и механизм взаимодействия цементного камня и заполнителей. В НИИЖБе было изучено влияние модификатора на основные физико-технические характеристики высокопрочных бетонов.

Исследовались кратковременные и длительные прочностные и деформативные характеристики четырех составов бетонов, в которых дозировка модификатора МБ 10-01 составляла 10 и 15% массы цемента (характеристики бетонных смесей приведены в табл.1). Свойства бетонов оценивали по традиционным методикам испытаний [2...4]; исследования проводились на образцах-кубах с ребром 10 и

(R) определяли в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 сут. Затем испытания проводили через 30...60 дней до 360 дней с момента бетонирования.

№ состава	Возраст бетона, сут	R_{10} , МПа	R_{15} , МПа	R_{28} , МПа	R_{28}/R_{10}	R_{28}/R_{15}	$E_p \times 10^3$, МПа	$\varepsilon \times 10^{-5}$ *	$S \times 10^{-6}$, МПа ⁻¹ **
1	7	59,7	56,72	45,5	0,76	3,47	35/92	22,5	
	28	82,64	78,51	66,0	0,80	3,47	41,50		
2	7	72,4	68,8	56,9	0,79	3,48	34,84	16,5	26,5
	28	86,02	81,7	67,1	0,78	3,77	42,80		
3	7	61,6	58,5	47,12	0,76	3,59	34,50		
	28	81,5	77,4	60,02	0,74	3,97	40,70		
4	7	84,4	80,2	70,2	0,83	3,54	38,30	13,5	20,6
	28	99,1	94,1	79,3	0,80	4,35	45,00		

* — деформации усадки; ** — деформации ползучести бетона при нагружении в возрасте 28 сут при $\eta = 0,3$

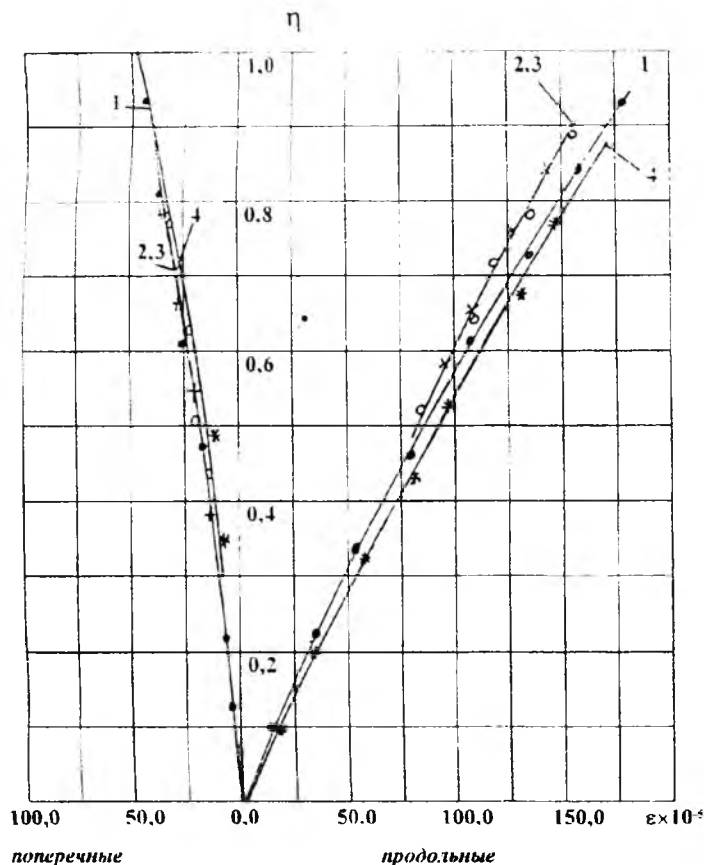


Рис. 1. Зависимость продольных и поперечных деформаций бетонов от уровня нагружения в возрасте 28 сут

● — 1 состав; х — 2 состав; ○ — 3 состав; * — 4 состав

тигал $K_{ps} = R_b/R = 0,8$. Повышенные значения K_{ps} характерны для HSC и зафиксированы в большинстве исследований таких бетонов классов B60...B100 [7].

Разрушение бетона кубов и призм всех четырех составов при сжатии начиналось с образования вертикальных трещин по боковым граням образцов с последующим раскрашиванием поверхностных слоев бетона, а затем происходил хрупкий спонтанный разлом образцов на отдельные части по вертикальным трещинам. Такое разрушение характерно для высокопрочных бетонов. В этой связи представляется заслуживающим внимания тот факт, что по результатам испытаний значения прочности кубов с ребром 10 и 15 см фактически не различались, т.е. отсутствовало влияние масштабного фактора. Это, очевидно, связано со снижением роли штампов прессы при испытании бетонов высокой прочности на сжатие.

Прочность бетона при растяже-

нии (R_{bt}) определяли по результатам испытаний на изгиб балочек размером $10 \times 10 \times 40$ см и при раскалывании кубов. Как видно из табл.2, прочность бетона на растяжение слабо зависела от прочности на сжатие и колебалась от 3,5 МПа для 1 состава бетона до 4,35 МПа для 4 состава бетона, что соответствовало 4,2% и 4,4% от кубиковой прочности бетона.

Деформации бетонов, начальный модуль упругости (E_b) и коэффициент поперечных деформаций (ν) определяли при испытаниях призм размером $10 \times 10 \times 40$ см в возрасте 7 и 28 сут. Продольные и поперечные деформации бетона замерялись до уровня нагружения $0,9 R_b$.

В возрасте 7 сут характер деформирования бетонов всех составов был идентичен. Диаграмма σ — ϵ соответствовала бетонам NSC. Деформации увеличивались практически линейно до уровня нагрузки $0,72 R_b$, коэффициент Пуассона ν составлял 0,22; верхняя гра-

ница микротрещинообразования R_{cr}^v обозначилась на уровне нагрузки $0,8 R_b$.

В возрасте 28 сут картина деформирования несколько изменилась (рис.1). С увеличением прочности бетона на сжатие восходящая ветвь диаграммы σ — ϵ более лианизировалась, а верхняя граница микротрещинообразования R_{cr}^v сблизились со значением приростной прочности бетона R_b . Особенности деформирования HSC (малая доля пластических деформаций на восходящей ветви) обуславливают основной недостаток высокопрочных бетонов — хрупкий характер разрушения при сжатии. По данным эксперимента, наименьший модуль упругости E_b отмечен у бетона состава 3, что является следствием его большей пористости в связи с введением воздухововлекающей добавки ГЮЖ-94; наибольший — у бетона состава 4. Отмечено, что для бетонов с МБ 10-01 так же, как и для других HSC, модуль упругости возрастает в меньшей степени, чем его прочность.

Нами изучены также длительные деформации бетонов. В традиционной постановке вопроса рассматривают контракционную (гидратационную), влажностную и карбонизационную усадку бетонов.

Процессы гидратационной усадки и способы ее оценки достаточно сложны, так как она проявляется в период формирования структуры бетона. Карбонизационной усадкой высокопрочных бетонов можно пренебречь, поскольку из-за высокой непроницаемости этих бетонов глубина карбонизации углекислым газом не превышает 0...3 мм от поверхности. В связи с этим была рассмотрена влажностная усадка, вызывающая наибольшие деформации уменьшения объема.

Значительная часть усадочных деформаций (~60%) проявилась в первые 28 сут несмотря на высокую относительную влажность воздуха помещения камеры нормального хранения образцов. В последующие периоды, после некоторого всплеска увеличения деформаций, в связи со снижением относительной влажности воздуха рост деформаций усадки быстро стабили-

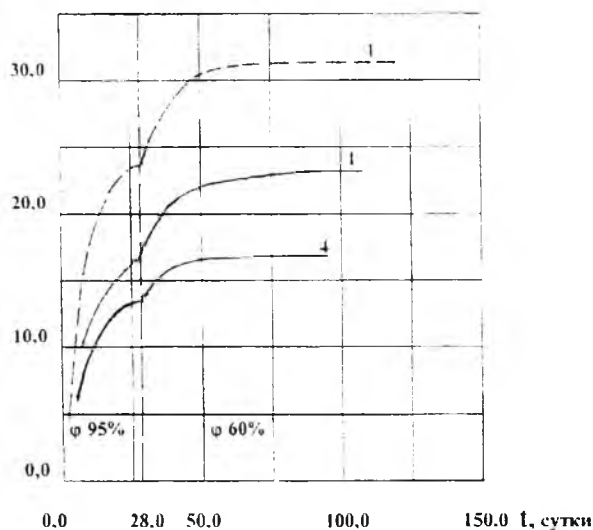


Рис. 2. Изменение деформаций усадки во времени

1, 4 — соответственно для составов бетона 1 и 4 (образцы с $M_0=0,45$); 1' — для состава бетона 1 (образцы с $M_0=1,12$); φ — относительная влажность воздуха в %

лизировался и к 50 сут практически прекратился. Энергичное затухание роста деформаций усадки характерно для бетонов высокой прочности и непроницаемости. На рис.2 приведено изменение деформаций усадки во времени для бетонов 1 и 4 составов. Величины и характер изменения деформаций усадки бетона 2, 3 и 4 составов практически одинаковы. Как видно из рис.2, абсолютные значения деформаций усадки невелики ($\varepsilon_{\text{ср}} \approx 22,5 \times 10^{-5}$ и меньше). Существенное влияние на усадку высокопрочных бетонов оказывает модуль поверхности, открытой к высыханию. При $M_0=1,12$ деформации усадки возросли в 1,38 раза.

В процессе исследований было отмечено, что при введении в бетонную смесь модификатора МБ 10-01 в количестве 15% деформации образцов 2 и 4 составов с $M_0=0,45$ на ранних этапах твердения (1...3 сут) имели противоположный знак (бетон расширялся), что несколько снизило суммарную величину деформаций усадки. Некоторое расширение бетонов с микрокремнеземом отмечалось ранее [5] и подтверждалось в зарубежных исследованиях [7, 8].

Расширение таких бетонов при малых значениях модуля открытой к высыханию поверхности можно объяснить следующим. Микрокремнезем обладает водоудержи-

вающей способностью. Отбирая на ранних стадиях свободную воду, микродисперсная добавка набухает, в результате чего увеличение объема фиксируется в виде замеряемых деформаций расширения, которые впоследствии снижают нарастающие деформации усадки. Затем свободная вода химически связывается микрокремнеземом.

Сопоставление деформаций усадки высокопрочных бетонов на МБ10-01 с "нормируемыми" величинами [6] показывает, что во всех случаях последние существенно ниже (в 2 и более раз), даже для высокопрочного бетона с ОК=19 см.

Малая усадочность высокопрочных бетонов с добавкой к цементному вяжущему МБ 10-01 на основе микрокремнезема достигается:

снижением расхода цемента за счет замещения его части модификатором;

изменением структуры бетона вследствие уменьшения общей пористости и открытой пористости, в частности существенным повышением непроницаемости бетона;

прочностью бетона, обуславливающей способность воспринимать на ранних стадиях усадочные напряжения без существенного деформирования;

эффектом увеличения объема

(расширения) в процессе гидратации цементного камня.

Ползучесть бетонов с МБ 10-01 исследовали на образцах-призмах размером $10 \times 10 \times 40$ см, нагруженных в возрасте 7 и 28 сут нагрузкой уровня $\eta = \sigma/R_b = 0,3$. Испытания с нагружением образцов в возрасте 7 сут имели целью установить характер развития деформаций ползучести высокопрочного бетона при нагружении его в раннем возрасте на предмет возможности отпуска предварительных напряжений на бетон, имеющий достаточную для этого прочность и резерв ее роста в дальнейшем.

Относительные деформации ползучести вычисляли как разность полных деформаций нагружения за вычетом упругих деформаций нагружения и деформаций усадки. По значениям деформаций ползучести вычисляли удельные деформации ползучести ("меру ползучести") и их изменение во времени (рис.3).

Величины удельных деформаций ползучести и характер их нарастания во времени для бетонов составов 1, 2 и 3 практически одинаковы. Это объясняется в первую очередь близкими значениями прочности бетонов этих составов. Удельные деформации ползучести бетона состава 4 ниже, что несомненно связано с более высокой прочностью этого бетона и меньшей величиной водоцементного отношения. Совершенно закономерно также то, что кривые зависимости меры ползучести от времени для бетонов составов 1 и 4 при нагружении в раннем возрасте располагаются выше аналогичных кривых для этих же бетонов, нагруженных в возрасте 28 сут. Однако абсолютные значения меры ползучести и в этом случае невелики, так как быстрое натекание ползучести в начальные периоды времени резко замедляется примерно к 15 сут за счет интенсивного роста прочности, а следовательно, снижения уровня нагружения.

В соответствии с [4] по полученным в эксперименте численным параметрам были рассчитаны предельные значения меры ползучести (при времени $t \rightarrow \infty$), которые

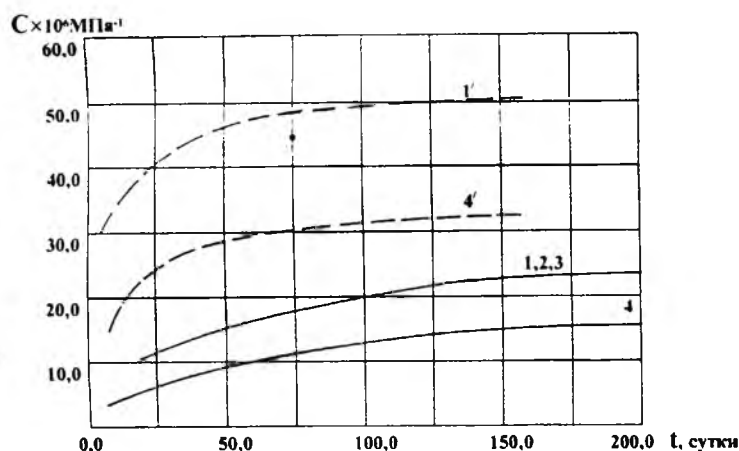


Рис. 3. Изменение удельных деформаций ползучести во времени
1, 2, 3 — усредненная кривая для составов бетона 1, 2 и 3; 4 — кривая для состава бетона 4; 1' и 4' — кривые соответственно для составов бетона 1 и 4, загруженных в возрасте 7 сут

составили $C^\infty = 22,5 \dots 32,0 \times 10^{-6} \text{ МПа}^{-1}$, что существенно ниже аналогичных величин для рядовых бетонов.

Таким образом, линейная ползучесть высокопрочных бетонов с МБ 10-01 относительно невелика, что обусловлено главным образом сниженным расходом воды, высокой прочностью и улучшением структуры бетона за счет введения модификатора.

По результатам исследований прочности и деформативности свойств HSC на основе комплексного модификатора МБ 10-01 можно заключить следующее:

1. Введение в состав вяжущего добавки МБ 10-01 в количестве 10...15% массы цемента позволяет на цемент марки 500 с расходом $\sim 500 \text{ кг/м}^3$ получить бетоны прочностью 80...100 МПа (классов

по прочности на сжатие В60...В75). Через 1 сут бетон достигает прочности 20...36 МПа, что обеспечивает возможность распалубки и транспортирования изделий.

2. Наличие в бетоне указанной добавки в оптимальных дозах не привносит каких-либо существенных особенностей в деформирование HSC при кратковременном нагружении сжатием. Верхняя граница микротрещинообразования ($R_{\text{ср}}^{\text{сж}} \dots$) исследованных высокопрочных бетонов сближается с их призмочной прочностью, характер их разрушения хрупкий, спонтанный.

3. Модификатор МБ 10-01 существенно снижает деформации влажностной усадки ($\epsilon_{\text{ср}} = 16,5 \dots 22,5 \times 10^{-5}$) за счет сокращения расхода цемента, улучшения структуры бетона и склонности к проявлению деформаций расши-

рения на ранних стадиях твердения бетона с добавкой, содержащей микрокремнезем.

4. Предельные удельные деформации линейной ползучести бетонов составили $22,5 \dots 32,0 \times 10^{-6} \text{ МПа}^{-1}$. При нагружении бетона в возрасте 7 сут деформации ползучести возрастают на 40%. Позитивное влияние модификатора на снижение деформаций ползучести связано со снижением расхода воды и цемента и улучшением структуры бетона.

Библиографический список

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01/Бетон и железобетон. — 1997. — № 5.
2. ГОСТ 10180-90 (ст СЭВ 3978-83). Бетоны. Методы определения прочности по бетонным образцам.
3. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
4. ГОСТ 24452-81. Бетоны. Методы определения усадки и ползучести.
5. Каприелов С.С., Булгакова М.Г., Вихман Я.Л. Деформативные свойства бетонов с использованием ультрадисперсных отходов Ермаковского завода ферросплавов/Бетон и железобетон. — 1991. — № 3.
6. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. — НИИЖБ, Стройиздат, Москва, 1988.
7. Walter H. Dilyer and Changqing Wang. Shrinkage and Creep of High-Performance Concrete (HPS) — A Critical Review. Proceedings Las Vegas, June 12, 1995. Symposium on Concrete Technology.
8. Coppola L. Desing of Reinforced High Strength Concrete Structures. Proceedings of Conference on Superplasticizers and other Chem. Admixtures in Concrete. Roma, October 7...10, 1997.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ЦЕНТР ПРОЕКТНОЙ ПРОДУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ГОТОВИТ К ИЗДАНИЮ

ГОСТ 310.1–310.4 — ...
ГОСТ 10178 — ...
Новый ГОСТ Р...
Новый ГОСТ Р...
Новый ГОСТ Р...

Цементы. Методы испытаний
Цементы общестроительные. Технические условия
Добавки минеральные к цементу. Технические условия
Цементы низкой водопотребности. Технические условия
Цементы для бетона дорожных и аэродромных покрытий

Заказы на ГОСТы направляйте по адресу:
127238, Москва, Дмитровское ш., 46, корп.2
482–4294, 482–4297. Факс 482–4265

В.А.РАХМАНОВ, канд. техн. наук проф., А.И.КОЗЛОВСКИЙ, канд. техн. наук (ВНИИЖелезобетон); А.С.ФАЙВУСОВИЧ, д-р техн. наук (Луганский НИПИ реконструкции зданий и сооружений)

Расчет технологических режимов аппарата вспенивания

Отсутствие системы регулирования процессов вспенивания в определенной степени сказывается на качестве пенополистирольного заполнителя. Такая система должна учитывать помимо основных закономерностей особенности конкретного типа аппарата вспенивания.

Строгое решение задачи с учетом всех факторов представляет значительные трудности [1]. Поэтому ниже рассматривается упрощенное решение, которое сводится к исследованию одного уравнения фильтрационного типа, описывающего процесс движения пара в аппарате. Принципиальная схема аппарата непрерывного действия показана на рис. 1.

При математическом формулировании задачи сделана попытка учесть наиболее важные закономерности процесса. Учтено, что процесс является установившимся, т.е. аппарат на всю высоту заполнен вспенивающейся массой. В аппарате протекает два процесса, приводящих к противоположным эффектам. Выделение газообразного стирола в процессе вспенивания приводит к увеличению давления парогазовой смеси в аппарате, а конденсация пара на поверхности гранул и последующее его поглощение соответственно к снижению. В процессе вспенивания коэффициент проницаемости засыпки изменяется, т.к. он пропорционален величине R_2 (где R - текущее значение эквивалентного радиуса гранулы) [2,3].

Дополнительно учтем, что скорость движения пара в засыпке значительно ниже скорости звука, т.е. пар (парогазовую смесь) можно считать несжимаемым. Стенки аппарата теплоизолированы, поэтому градиентом давления в радиальном направлении можно пренебречь. Исходное уравнение процесса фильтрации пара в засыпке имеет вид [2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\phi} \frac{\partial P}{\partial x} \right) - \mu(x)P = 0 \quad (1)$$

где P - избыточное давление пара в поровом пространстве;

k_{ϕ} - коэффициент фильтрации засыпки;

$\mu(x)$ - функция источника, учитывающая изменения давления по длине аппарата из-за водопоглощения и газовыделения.

(Здесь и далее при переменных индексы опущены).

Причем, если преобладает процесс водопоглощения, то происходит падение давления, в

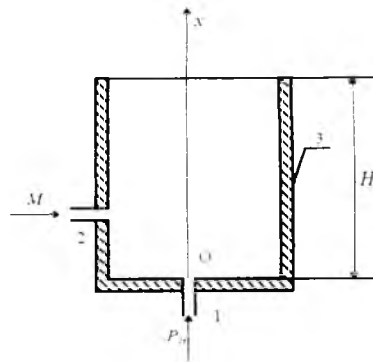


Рис. 1. Расчетная схема аппарата вспенивания

1 — линия подачи пара; 2 — линия подачи бисера; 3 — теплоизоляция

противном случае - увеличение. Попутно отметим, что выделение газообразного стирола снижает массообменные характеристики парогазовой среды и соответственно процесс вспенивания. Из чисто физических соотношений баланса веществ следует:

$$V_{\Gamma} = V_{an} \frac{\psi_1 n_0 \rho_0}{\rho_{\Gamma}^1} \quad (2)$$

$$V_n = V_{an} \frac{\psi_2 \rho_0^1 w}{\rho_n^1} \quad (3)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\psi_2 w \rho_0^1 - \psi_1 n_0 \rho_0}{(1 - \psi_2) \rho_{n\Gamma}} \cdot \frac{l}{t_s H} \quad (4)$$

где:

ψ_1 - объемное содержание бисера ($x=0$);

ψ_2 - объемное содержание пенополистирола ($x=0$);

n_0 - массовая концентрация стирола;

ρ_0, ρ_0^1 - соответственно плотность бисера и пенополистирола;

w - водопоглощение пенополистирола по массе;

ρ_{Γ}^1 - плотность газообразного стирола в парогазовой смеси;

ρ_n^1 - фиктивная плотность пара, соответствующая объему поглощения воды;

V_{Γ}, V_n, V_{an} - объем газообразной, паровой составляющей в парогазовой смеси и объем аппарата;

ε_0 - коэффициент мощности распределенных источников;

t_0, H - продолжительность вспенивания и высота аппарата вспенивания.

В данном случае принято $\rho_n^i > \rho_f^i$. В противном случае в (1) второй член следует принять положительным. С учетом изложенного, а также уравнения (1), соответствующие граничные условия записываются в виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_\phi \frac{\partial P}{\partial x} \right) - \varepsilon_0 (1 - e^{-\lambda_2 x}) P = 0 \quad (5)$$

где: λ_2 - коэффициент, характеризующий скорость процессов газообразования и водопоглощения.

$$x = 0 \quad P = P_n \quad (6)$$

$$x = H \quad P = 0 \quad (7)$$

Коэффициент ε_0 ввиду приближенного характера соотношений (2-4) подлежит уточнению экспериментальным путем, так же, как и коэффициента λ_2 . Теоретическое значение коэффициента λ_2 приведено в [1].

Определим изменение коэффициента фильтрации в процессе вспенивания. Для отдельной гранулы эквивалентного радиуса справедлива зависимость [1]:

$$\rho_0 r_0^3 = R^3 [\rho_0 + (\rho_0 - \rho_0) e^{-bt}], \quad (8)$$

$$b = \frac{1}{t_0}.$$

где r_0, R - начальное и конечное значение радиуса гранулы эквивалентного радиуса r_0 ;

ρ_0, ρ_0 - плотность бисера и вспененной гранулы;

t_0 - время вспенивания гранулы радиуса r_0 .

Далее учтем, что между плотностью засыпки и плотностью гранулы радиуса r_0 имеется линейная зависимость:

$$A\rho(t) = \rho_3(t), \quad (9)$$

здесь A - эмпирический коэффициент.

Ранее была получена зависимость между продолжительностью и перемещением гранулы с учетом эффектов вспенивания засыпки в аппарате [1]:

$$x = \frac{M}{S\rho_0} \left[t + \frac{1}{b} \ln [\rho_0 + (\rho_0 - \rho_0) e^{-bt}] \right], \quad (10)$$

где: x, t - текущая координата и соответствующее значение времени;

M - массовый расход бисера;

S - площадь сечения аппарата.

Используя зависимости (8-10), получаем:

$$x = \frac{M}{S\rho_0} \left[t + \frac{1}{b} \ln \frac{r_0^3 \rho_0}{AR^3} - \frac{\ln \rho_0}{b} \right]. \quad (11)$$

Откуда

$$R^3 = \frac{\rho_0 r_0^3}{\rho_0 A} e^{-ax - bt}$$

и соответственно

$$R^2 = q e^{-\alpha_1 x + b_1 t} \quad (12)$$

$$\text{где: } q = \left(\frac{\rho_0 r_0^3}{\rho_0 A} \right)^{\frac{2}{3}}; \alpha_1 = \frac{2}{3} a; \beta_1 = \frac{2}{3} b; a = \frac{S\rho_0 b}{M}.$$

Зависимость (10) нелинейна. Для дальнейших расчетов целесообразно заменить ее прямой вида (рис.2)

$$t = t_0 + \lambda x \quad (13)$$

Значение t_0 и λ определяются в интервале $0 \leq x \leq H$ по методу наименьших квадратов. С учетом (13):

$$R^2 = \theta_1 e^{-\lambda_1 x} \quad (14)$$

$$\text{где: } \lambda_1 = \alpha_1 - \lambda; \theta_1 = q e^{\beta_1 t}.$$

Коэффициент проницаемости k имеет размерность квадрата длины. Для беспорядочно уложенных однородных шаров диаметром d , продуваемых паром [3]:

$$k = 6,15 d^2 (\text{см}^2). \quad (15)$$

Соответственно коэффициент фильтрации

$$k_\phi = \frac{k}{\eta} \quad (16)$$

где: η - коэффициент динамической вязкости.

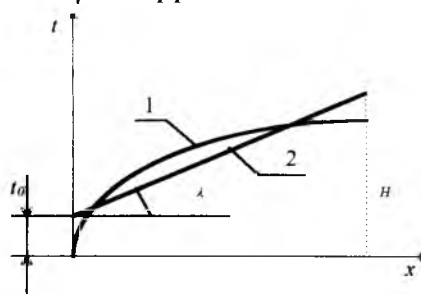


Рис. 2. Зависимость перемещения границы в аппарате вспенивания

1 — исходная зависимость; 2 — аппроксимирующая зависимость

Изменение коэффициента фильтрации по высоте аппарата с учетом (14) можно представить в виде:

$$k_\phi = k_0 + k_1 (1 - e^{-\lambda_1 x}). \quad (17)$$

Коэффициент k_0 характеризует свойства исходного бисера, а $(k_0 + k_1)$ - вспененной массы.

Уравнение (1) с учетом (4,17) записывается в виде:

$$[k_0 + k_1 (1 - e^{-\lambda_1 x})] \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + k_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 x} \frac{\partial P}{\partial x} - \varepsilon_0 (1 - e^{-\lambda_2 x}) P = t. \quad (18)$$

Уравнение (18) непосредственно не интегрируется, поэтому для дальнейшего решения представим его в виде:

$$m_0 \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - \varepsilon_0 P = k_1 e^{-\lambda_1 x} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - k_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 x} \frac{\partial P}{\partial x} - \varepsilon_0 e^{-\lambda_2 x} P. \quad (19)$$

Здесь $m_0 = k_0 + k_1$.

Уравнение (19) с учетом граничных условий (6.7) целесообразно решать методом последовательных приближений [4]. В качестве нулевого принимается решение однородного уравнения (19) (без правой части). Затем нулевое решение подставляется в правую часть, ищется первое приближение и т.д.

Для нулевого решения:

$$P_1 = C_1 e^{-\alpha x} + C_2 e^{\alpha x}, \quad (20)$$

где: $\alpha = \sqrt{\frac{m_0}{\varepsilon_0}}$.

С учетом граничных условий (6.7):

$$C_1 = P_H \frac{2e^{\alpha H}}{Sh\alpha H}; C_2 = P_H \frac{2(1 - e^{\alpha H})}{Sh\alpha H}.$$

Соответственно значение давлений в первом приближении равно:

$$P_1 = Ae^{(\alpha + \lambda_1)x} + Be^{(\alpha + \lambda_2)x} + De^{(\alpha + \lambda_1)x} + Ee^{(\alpha + \lambda_2)x}, \quad (21)$$

где: $A_1 = \frac{C_1 k_1 \alpha (\alpha + \lambda_1)}{m_0 (\alpha + \lambda_1)^2 - \varepsilon_0}$;

$$B = \frac{\varepsilon_0 C_1}{\varepsilon_0 - m_0 (\alpha + \lambda_2)^2};$$

$$D = \frac{C_2 k_1 \alpha (\alpha - \lambda_1)}{m_0 (\alpha - \lambda_1)^2};$$

$$E = \frac{\varepsilon_0 C_2}{-m_0 (\alpha - \lambda_2)^2}.$$

В случае $\varepsilon_0 = 0$ решение (18) является точным:

$$P = R_2 - \frac{R_1 x}{k_1} + \ln(m_0 e^{\lambda_1 x} - k_1); \quad (22)$$

где: $R_1 = \frac{P_H k_1 \lambda_1}{\lambda_1 H + \ln \frac{m - k_1}{m e^{\lambda_1 H} - k_1}};$

$$R_2 = \frac{P_H [\ln(m_0 e^{\lambda_1 H} - k_1) - \lambda_1 H]}{\lambda_1 H + \ln \frac{m_0 - k_1}{m_0 e^{\lambda_1 H} - k_1}}.$$

Проанализируем полученные решения:

На рис.3 показано решение (22). Пунктиром показано решение без учета изменения коэффициента фильтрации по высоте, т.е. без нелинейных эффектов. Естественно, что распределение давления в этом случае линейно. Увеличение проницаемости даст существенную поправку и приводит к нелинейному характеру распределения давления.

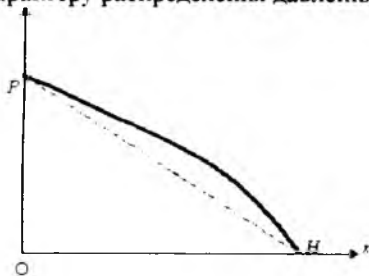


Рис. 3. Распределение давления по высоте аппарата ($\varepsilon_0 = 0$)

Учет эффектов водопоглощения и газообразования также приводит к существенному изменению

характера распределения давлений. В случае преобладания процессов водопоглощения изменение давления по высоте аппарата вспенивания (21) существенно отличается от рассмотренного выше (рис.4), причем при определенных соотношениях коэффициентов кривая может быть выпуклой.

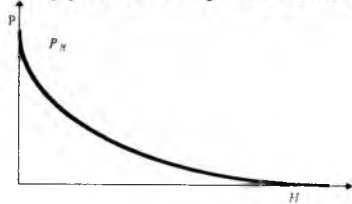


Рис. 4. Распределение давления по высоте аппарата ($\varepsilon_0 \neq 0$)

Из полученных решений следует, что при малых давлениях пара и коэффициентах фильтрации процесс вспенивания может лимитироваться скоростью фильтрации пара, а не процессами тепло-массопереноса внутри гранулы. Указанное хорошо подтверждается экспериментальные кривые кратности увеличения диаметров гранул (Кв) для бисера различного гранулометрического состава.

Таким образом, решение внутренней задачи, рассмотренной в [1] должно быть дополнено решением соответствующей внешней задачи.

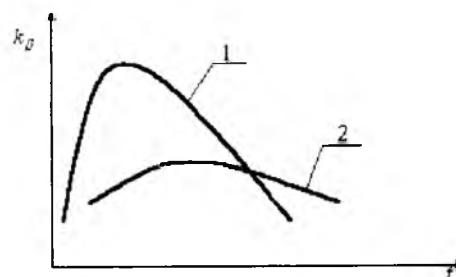


Рис. 5. Кинетика процессов вспенивания
1 — $d = 0,4 - 3,8$ мм; 2 — $d = 0 - 0,38$ мм

Необходимо также отметить, что существенное изменение давления парогазовой смеси по высоте аппарата должно приводить к снижению температуры. Указанное снижение может быть оценено на основе (2-4.21) и закона Клайперона-Менделеева, что открывает дополнительные возможности для совершенствования процесса регулирования.

Библиографический список

1. Гусев Б.В., Рахманов В.А., Файвусович А.С. Физико-математическая модель процессов вспенивания гранул полистирола. - Луганск: НПФ «Осирис», 1998. - С.31.
2. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление // Справочное пособие. - М.: Энергоиздат, 1990. - 365 с.
3. Механика жидкости и газа / Под ред. А.Н.Минаева. - М.: Металлургия, 1987. - С.301.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. - М.: ФМЛ, 1961. - 703 с.

Выносливость нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием

Выносливость нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием оценивают, исходя из условий

$$\sigma_{b,max}(t_0) \leq \frac{1}{H_{\sigma_b}} \gamma_{bl} R_b ; \quad (1)$$

$$\sigma_{s,max}(t_0) \leq \frac{1}{H_{\sigma_s}} \gamma_{s3} \gamma_{s4} R_s , \quad (2)$$

где $\sigma_{b,max}(t_0)$, $\sigma_{s,max}(t_0)$ - начальные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой напрягаемой и ненапрягаемой арматуре соответственно при первом цикле нагружения до максимальной нагрузки цикла; H_{σ_b} , H_{σ_s} - функции накопления напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре; γ_{bl} , γ_{s3} , γ_{s4} - коэффициенты условий работы бетона и арматуры.

Начальные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре вычисляют по формулам:

в бетоне сжатой зоны

$$\sigma_{b,max}(t_0) = \frac{2 M_{max}}{\xi [(1 + \lambda) - 0,33 \xi (1 + \lambda + \lambda^2)] b h_0^2} ; \quad (3)$$

в предварительно напряженной арматуре [1]

$$\sigma_{sp,max}(t_0) = \frac{M_{max} - P_2 (z - e_{sp})}{(A_{sp} + A_s) z} \cdot \frac{E_{sp}}{E_{sm}} + \sigma_{sp} ; \quad (4)$$

в ненапрягаемой арматуре [1]

$$\sigma_{s,max}(t_0) = \frac{M_{max} - P_2 (z - e_{sp})}{(A_{sp} + A_s) z} \cdot \frac{E_s}{E_{sm}} - \sigma_s . \quad (5)$$

В формулах (3)...(5): ξ - относительная высота сжатой зоны бетона

$$\xi = \frac{-\mu_s \alpha + \sqrt{(\mu_s \alpha)^2 + 2 \mu_s \alpha (1 - \lambda^2)}}{1 - \lambda^2} , \quad (6)$$

где λ - коэффициент пластичности бетона сжатой зоны $\lambda = 1 - \nu$; ν - коэффициент, характеризующий упруго-пластические свойства сжатой зоны при первом нагружении до максимальной нагрузки цикла и принимаемый по нормам для непродолжительного действия нагрузки; μ_s - коэффициент армирования $\mu_s = (A_s + A_{sp}) / (b h_0)$; α - отношение модулей упругости арматуры к бетону: при вычислении σ_{sp} - $\alpha = \alpha_{sp} = E_{sp} / E_b$; при вычислении σ_s - $\alpha = \alpha_s = E_s / E_b$; z - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне бетона над трещиной

$$z = h_0 \left[1 - \frac{\varphi_f h_f' / h_0 + \xi^2}{2 (\varphi_f + \xi)} \right] , \quad (7)$$

где φ_f - коэффициент, учитывающий влияние арматуры в сжатой зоне, который для прямоугольного сечения вычисляют по формуле

$$\varphi_f = \frac{(\alpha_s A_s' + \alpha_{sp} A_{sp}') / (2 \nu)}{b h_0} ; \quad (8)$$

Функции накопления напряжений в бетоне сжатой зоны H_{σ_b} и растянутой арматуре H_{σ_s} изменяются сложным образом и зависят от многих параметров. В работах [2-4] предложена упрощенная методика определения этих функций

$$H_{\sigma_b} = 1 - \mu_s \Delta b K_{bp} H_\varepsilon ; \quad (9)$$

$$H_{\sigma_s} = 1 - \mu_s \Delta s K_{bp} H_\varepsilon . \quad (10)$$

Здесь:

$$\Delta b = \frac{2(1 - \xi)}{3\xi} ; \quad (11)$$

$$\Delta s = \frac{2(1 - \xi)}{\xi^2 (1 + \lambda)} ; \quad (12)$$

K_{bp} - коэффициент виброползучести

$$K_{bp} = 2 - \frac{M_{min}}{M_{max}} = 2 - \rho_M ; \quad (13)$$

H_ε - функция накопления деформаций

$$H_\varepsilon = C(t, \tau) S_0 \left(\frac{\sigma}{R} \right) E_s , \quad (14)$$

где $C(t, \tau)$ - мера ползучести бетона, которая может быть определена по СНиП 2.05.03-84; $S_0 \left(\frac{\sigma}{R} \right)$ - функция напряжений.

Коэффициенты условий работы бетона γ_{bl} и арматуры γ_{s3} и γ_{s4} принимают по СНиП 2.03.01-84 в зависимости от фактических значений коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны ρ_{bl} и продольной растянутой арматуре ρ_{sl} .

Многочисленные исследования показывают, что в процессе динамических воздействий вследствие различных причин (виброползучести бетона, появление остаточных деформаций в бетоне и арматуре, интенсивного развития пластических деформаций сжатой зоны и др.) происходит изменение коэффициентов асимметрии цикла бетона $\rho_{bl} = \sigma_{b,min} / \sigma_{b,max}$ и арматуры $\rho_{sl} = \sigma_{s,min} / \sigma_{s,max}$, т.е. их значения не совпадают с коэффициентом асимметрии цикла внешней нагрузки $\rho_M = M_{min} / M_{max}$. Изменение коэффициента асимметрии цикла в бетоне ρ_{bl} с ростом числа циклов повторной нагрузки неоднозначно [5]. По сравнению с первым циклом нагружения ρ_{bo} он может уменьшаться, увеличиваться или оставаться без изменения. В расчетах чаще всего его принимают постоянным и равным ρ_M . В то же время изменение коэффициента асимметрии цикла в арматуре ρ_{sl} однозначно - в сторону увеличения. Учет увеличения ρ_{sl} в процессе многократно повторяющихся нагружений, рекомендуемые СНиП

2.03.01-84, нельзя признать удачным, так как эта методика учитывает только изменение ρ_{st} , не учитывая действительные значения напряжений, которые выше расчетных на 5...10 %. Это приводит к переоценке выносливости арматуры и снижению запаса прочности конструкций.

Имеются различные предложения [2-4, 5] по определению фактических коэффициентов асимметрии напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой продольной арматуре, соответствующих $N=2 \cdot 10^6$ циклов нагружений. Однако, все предложения касаются лишь ненапрягаемых железобетонных конструкций. Рекомендации по определению ρ_{bt} и ρ_{st} для преднапряженных элементов и конструкций со смешанным армированием практически отсутствуют. Анализ результатов собственных исследований [1], а также исследований других авторов позволил предложить значения коэффициентов асимметрии ко времени t или к моменту усталостного разрушения в следующем виде:

для бетона сжатой зоны

$$\rho_{bt} = \frac{\rho_M - \mu \Delta b K_{bp} H_\varepsilon}{1 - \mu \Delta b K_{bp} H_\varepsilon}; \quad (15)$$

для продольной напрягаемой арматуры

$$\rho_{spt} = \frac{\rho_{Msp} + \mu \Delta s K_{bp} H_\varepsilon}{1 + \mu \Delta s K_{bp} H_\varepsilon}; \quad (16)$$

для продольной ненапрягаемой арматуры

$$\rho_{st} = \frac{\rho_{Ms} + \mu \Delta s K_{bp} H_\varepsilon}{1 + \mu \Delta s K_{bp} H_\varepsilon}; \quad (17)$$

В формулах (15)...(17)

$$\rho_{Msp} = \frac{M_{min} + M_{sp}}{M_{max} + M_{sp}}; \quad (18)$$

$$\rho_{Ms} = \frac{M_{min} - M_{sp}}{M_{max}}; \quad (19)$$

$$M_{sp} = P_2 e_{op2}; \quad (20)$$

остальные обозначения приведены выше.

Библиографический список

1. Байрамуков С.Х. Несущая способность, трещиностойкость и деформативность железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием при статических и повторных нагружениях. Диссертация ... канд. техн. наук. - М.: МИСИ, 1991. - 220 с.
2. Кириллов А.П., Мирсаяпов И.Т. Влияние виброползучести на выносливость железобетонных конструкций//Бетон и железобетон. - 1986. - №1. - с. 45-46.
3. Кириллов А.П., Мирсаяпов И.Т., Мирсаяпов Ильшат Т. Выносливость сборно-монолитных железобетонных конструкций. Иваново, 1990. - 92 с.
4. Кириллов А.П., Мирсаяпов И.Т. Совершенствование методики расчета на выносливость по нормальному сечению//Бетон и железобетон. - 1989.- №8. - с. 16-17.
5. Маилян Р.Л., Лалаянц Н.Г., Манченко Г.Н. Расчет бетонных и железобетонных элементов при вибрационных воздействиях. Уч. пособие. - Ростов н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т. 1983. - 101 с.

ООО "МаСт"

Предлагает эффективные сухие смеси для гидроизоляции и герметизации

- используются в виде исходного порошка и теста, затворенного водой
- при застывании проникают во все микротрещины и образуют монолит
- создают полную водонепроницаемость конструкции в условиях постоянного подпора воды
- характеризуются высокой степенью адгезии к поверхности бетона, кирпича, металла
- используются для:
 - гидроизоляции швов, щелей, трещин, каверн, стыков труб
 - ликвидации протечек через поверхность
 - закрепления анкеров
 - укладки плитки
- пригодны для коммуникаций с питьевой водой и предприятий пищевой промышленности

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Водонепроницаемость не менее W10

Прочность на сжатие (МПа) не менее:

через 1 сут 15,0

через 28 сут 50,0

Морозостойкость не менее 300 циклов

Примерный расход:

на 1 пог.м шва 1,5 кг

на 1 м² — 3-5 кг

Поставка в полиэтиленовых мешках по 20-30 кг

Опыт производства и применения свыше 6 лет. Отремонтировано более 50 крупных инженерных объектов в Москве и Московской области.

Фирма обеспечивает необходимые консультации по способу применения и принимает заказы на выполнение работ
тел./факс 557-21-80, E mail-mast@orc.ru

К теории расчета по предельным состояниям на основе реологической механики железобетона

Общие методы определения напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций сводятся к решению системы уравнений, в состав которых входят не зависящие от свойств деформации материалов уравнения равновесия и совместности деформаций, а также уравнения, определяющие закономерности деформирования материалов. При учете реологических свойств материалов степень сложности решения таких уравнений существенно зависит, в основном, от введенного допущения, устанавливающего связь между деформацией и скоростью деформации и от вида эмпирической формулы, определяющий эту величину.

Как известно, фундаментальной гипотезой нелинейной механики деформируемого твердого тела является принятие сплошности строения тела. Однако это направление требует современного подхода к физике бетона в силу свойств неоднородности, которые не укладываются в рамки представлений классической механики сплошной среды.

Реологическая механика железобетона учитывает свойства бетона в виде ползучести, релаксации и снижения прочности при длительном воздействии нагрузок, а также изменение свойств бетона под влиянием заполнителя и армирования. Такой учет требует выявления характерных зон структурной неоднородности, установление связей между напряжениями и деформациями в этих зонах. Свойства ползучести всех реальных тел проявляются в зависимости от промежутка времени, в течение которого ведут наблюдение за пределом деформирования, и от градиентов нагрузки и температуры. Очевидно, что основные задачи механики железобетона не могут решаться без учета реологических свойств бетона. Практическая реализация такой постановки стала возможной благодаря современным вычислительным средствам и рассмотрению бетона с позиций физико-химической механики твердого тела.

Требования расчета по предельным состояниям с учетом этих свойств можно сформулировать следующим образом. Расчет по предельному состоянию по деформациям должен заключаться в определении такой нагрузки, при которой деформации за заданный промежуток времени (за срок службы сооружения) не превзойдут предельно допускаемых значений.

Учитывая, что в процессе незатухающей ползучести снижается сопротивление бетона, расчет по предельному состоянию по несущей способности можно свести к определению такой нагрузки, при которой напряжение в бетоне в заданный момент времени и в определенных условиях эксплуатации достигнет предела длительной прочности.

Поэтому задача реологической механики железобетона - описание этого процесса при различных условиях и при любом законе нагружения. Описание процесса деформирования при постоянной нагрузке служит одним из основных источников информации. Для выяснения физической природы ползучести важно знать, как влияет на нее вязкость бетона. Правильный учет этого параметра, который характеризует внутреннее трение материала, является основополагающим фактором для теорий ползучести. Для того, чтобы можно было прогнозировать предельные деформации бетона по всей области действия на нее многочисленных факторов, важно знать механизм этого процесса. Так, даже в пределах заданного времени на характер диаграмм влияет режим изменения скорости роста напряжений и деформаций.

В общем виде реологическое уравнение состояния должно связывать между собой тензоры напряжения $T\sigma$, деформации $T\epsilon$, скорости нагружения $T\dot{\sigma}$, скорости деформации $T\dot{\epsilon}$ и время действия нагрузки t

$$R(T\sigma, T\epsilon, T\dot{\sigma}, T\dot{\epsilon}, t) = 0. \quad (1)$$

В случае переменной влажности W и переменной температуры ϑ эти величины также должны входить в уравнение состояния.

В теории линейной упруго-вязкости метод отображения реологических свойств тела исходит из представлений, что эти свойства определяются сочетанием упругих, вязких и пластических характеристик

$$\alpha_0 + \alpha_1 \tau + \alpha_2 \tau = \beta_1 \gamma + \beta_2 \gamma', \quad (2)$$

где $\alpha_0 = -\tau_r$ - предельное напряжение сдвига;

$\alpha_1 = 1$; $\alpha_2 = T_r = \eta / G_0$ - время релаксации;

$\beta_2 = \eta$ - коэффициент вязкости;

$\beta_1 = G_\infty$, причем G_0 и G_∞ - мгновенное и предельно длительное значение модуля сдвига: первый определяет связь между напряжением и мгновенной деформацией γ_0 , а второй - между напряжением и конечной деформацией γ_∞ .

Таким образом, обобщенное уравнение (2) описывает как процесс упругого последдействия, так и процесс релаксации.

Рассмотрение бетона как упруго-хрупко-вязкого тела в модели [1] с переменными

коэффициентами вязкости, приводит к удовлетворительным результатам расчета. При переходе к более сложным моделям мы сразу сталкиваемся с группами явлений как внутреннее трение, обратная ползучесть, последствие после разгрузки и другие особенности бетона при деформировании.

Определяемые параметры T_r (время релаксации) и T_p (время последствия) можно использовать как характеристики материала с соответствующими периодами релаксации и запаздывания. Однако по своей физической сущности эти параметры существенно различны. Период запаздывания как отношение η к G оказывается тем меньшим, т.е. деформация исчезает тем быстрее, чем меньше вязкость η , характеризующая внутреннее трение, и чем больше жесткость, определяемая модулем G . Вязкостный параметр в такой модели, характеризующий внутреннее трение, замедляет, но не предотвращает полное исчезновение деформации материала.

Результаты опытов [2] с высушенными образцами и образцами естественной влажности, подвергнутыми осевому растяжению при кратковременных, динамических и статических нагружениях, показали, что первые фактически не чувствительны к скорости деформирования. Это позволяет предположить, что реакция бетона, зависящая от времени, обусловлена, главным образом, присутствием жидко-газовой фазы, в первую очередь, свободной воды.

Подобное рассмотрение приводит к новому методу описания свойств вязкоупругих материалов - введением переменного значения параметра вязкости. В работе [3] показано большое влияние содержания и распределения жидко-газовой фазы на деформирование бетона, а точнее на составляющую ее структуры - цементную матрицу. Разработанная модель создает принципиально новую возможность универсального подхода составления уравнений состояния для описания напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при воздействиях, зависящих от времени с учетом физических процессов, происходящих в бетоне.

Теоретические положения о формировании структуры бетона как капиллярно-пористого тела с иерархическим строением создает новые возможности в теории деформирования бетона, так как позволяет осуществить единый подход при анализе структуры и свойств различных видов бетона и разработать общие принципы для определения зависимостей «структура - модель». Рассматривая железобетон как иерархическую систему, состоящую из цементной матрицы, собственно бетона, армированного бетона, необходимо вывести параметр вязкости, соответствующий все трем иерархиям.

Для цементной матрицы автором выведена следующая зависимость параметра вязкости

$$\eta_1 = 100C_1(1,2 - C_2\sigma_b / R_b), \quad (3)$$

где C_1 - зависит от водоцементного отношения влажностного состояния бетона; C_2 - зависит от времени

нагружения, при $t \rightarrow \infty$, $C_2 = 0$; η_1 - выражается в пуазах.

Формула (3) является прямым отражением процессов, происходящих на атомном уровне, а параметр вязкости единственным параметром перехода от атомного уровня к макроуровню бетона. С его помощью напряжения, фиксируемые на макроуровне, преобразуются в действительные напряжения в межатомных связях и наоборот. Параметр η_1 является чувствительным как к структуре материала, так и к условиям эксплуатации и внешним воздействиям.

Для бетона, т.е. цементной матрицы с включенными в нее зернами крупного заполнителя, вязкость предопределяется совместным влиянием на нее характеристик макро-и микроструктуры.

Макроструктуру бетона принято характеризовать количеством цементного камня, содержащимся в нем или, другими словами, величиной объемной концентрации цементного камня в бетоне т.е. подтверждается необходимость учета макроструктурного фактора - объема цементного камня - при установлении связи структура - вязкость.

Микроструктура бетона обычно характеризуется величиной и качеством его пористости, количеством и качеством новообразований в цементном камне, качеством контактной зоны между цементным камнем и заполнителем.

Методы исследования реологической механики железобетона, изложенные выше, позволили выявить структурно-реологический параметр вязкости бетона

$$\eta_2 = (C - P_0) / P_1, \quad (4)$$

где C - объем цементного камня; P_0 - объем пор в цементном камне; P_1 - объем влаги.

Влияние пористости заполнителя на вязкость бетона проявляется через пористость контактной зоны. Согласно формуле (4) вязкость бетонов на пористых заполнителях выше вязкости бетонов на плотных заполнителях, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

Влияние контактной зоны на вязкость бетона определяется количеством влаги, которая может в этой зоне сосредоточиться. Влияние вида заполнителя на изменение вязкости проявляется через качество контактной зоны между цементным камнем и заполнителем. Сдвиговые напряжения в контактной зоне будут меньше, чем при учете только сухого трения частиц. Анализ зависимостей параметра вязкости η_2 от структурных характеристик (C и W), где W - истинное водоцементное отношение, показывает, что повышение отношения $В/Ц$ уменьшает вязкость

бетона и увеличивает меру ползучести. Как показывают результаты расчетов параметр η_2 колеблется в интервале значений 0,5 - 5.

Вязкость армированного бетона рассмотрим с позиции адсорбционной теории стесненности деформации растяжения бетона. Известно, что непрерывное армирование уменьшает деформацию ползучести бетона. В результате стесненности деформации растяжения бетона, вызываемой армированием, устраняется (уменьшается) расклинивающее действие внутренней влаги, порождающее деформацию ползучести бетона. Известные опыты [4, 5, 6] и др. показывают, что армированный бетон перед разрушением при растяжении деформируется чисто пластически при постоянном напряжении и превышает нормированную предельную растяжимость в 15-25 раз, а также повышает предел прочности при растяжении.

Все известные теории ползучести бетона указывают, что в упругой области деформирования большое значение имеет стесненность деформации ползучести. Криволинейность диаграммы напряжений - деформаций является лишь результатом различных значений параметров вязкости, непосредственно влияющих на ползучесть бетона, что подтверждается многочисленными опытами. Только затем вступает в силу процесс образования микротрещин отрыва вдоль действия напряжений, который сменяется процессом неустойчивого развития. Все, что ограничивает расклинивающее действие воды в бетоне, т.е. уменьшает W , повышает вязкость и соответственно уменьшает его ползучесть. Доказательством этого является работа сухого бетона по закону Гука, когда в нем нет свободно мигрирующей воды, т.е. вполне обосновано, что единственной причиной ползучести твердых материалов, в частности бетона, в упругой области деформирования является расклинивающее действие воды по отношению к бетону. Вопрос о влиянии армирования на вязкость бетона имеет исключительно большое теоретическое и практическое значение. Известно, что при выдергивании арматурного стержня из бетона вокруг нее образуется сфера, величина которой достигает максимального значения у поверхности арматуры и быстро убывает с удалением от нее. Такой же эффект наблюдается и при растяжении железобетона, когда арматура имеет вокруг себя сферу влияния определенного радиуса и бетон, находящийся в этой сфере влияния не может свободно деформироваться. В свободных от армирования зонах бетона появление необратимых микротрещин быстро приводит к разрушению. В зонах же армированного бетона необратимые микротрещины появляются гораздо позже, т.е. при больших напряжениях и деформациях растяжения, чем в неармированном бетоне. Если в рабочем сечении растянутого железобетонного элемента не весь бетон находится под влиянием арматуры, то в свободном бетоне рано появятся и разовьются трещины, что приведет к снижению значения предела прочности армированного бетона.

Наличие арматуры, очевидно, препятствует уменьшению вязкости бетона в армированном сечении,

повышает внутреннее трение и, соответственно, сцепление арматуры с бетоном.

Если представить арматуру в качестве крупного заполнителя и ввести соответствующие поправки на нелинейность ползучести бетонов со стальным заполнителем, то параметр вязкости армированного бетона можно определить, исходя из соображений стесненного потока упруго вязкого тела по следующей формуле

$$\eta_3 = 1 / (0,25 - \mu_\eta). \quad (5)$$

Коэффициент стесненности деформации определяется по формуле

$$\mu_\eta = f_\eta \mu_s / (f_s - \mu_s f_\eta), \quad (6)$$

где f_η - площадь бетона, находящаяся в условиях стесненности деформации под влиянием армирования; μ_s - коэффициент армирования; f_s - площадь сечения арматуры.

В действительности не все рабочее сечение железобетона находится под значительным влиянием армирования. Для вычисления значения f_η необходимо определить радиус сферы влияния арматуры на растянутый бетон, при котором чисто пластическая деформация бетона сдерживается арматурой.

Поэтому для расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям по деформациям с учетом реологических свойств бетона необходимо поперечное сечение элемента по ее высоте разделить на четыре зоны:

- 1) сжатая зона армированного бетона;
- 2) сжатая зона свободного бетона;
- 3) растянутая зона свободного бетона;
- 4) растянутая зона армированного бетона.

Так как прочностные и деформативные характеристики сжатых зон и растянутых зон железобетонных элементов различны, то при расчете на изгиб эпюру нормальных напряжений в каждой из четырех зон должны быть построены в соответствии с их модулями.

Предложенный механизм рассмотрения неоднородного напряженно-деформированного состояния по высоте сечения элемента позволяет методически правильно подходить к решению задач определения предельных состояний, так как такой подход основан в первую очередь на структуре бетона, его реологических свойствах и действительной работе материала.

Система уравнений, состоящая из дифференциального реологического уравнения состояния типа (2), с учетом неразрывности и неоднородности деформаций по высоте сечения, вместе с использованием гипотезы плоских сечений дает вполне удовлетворительную сходимость результатов.

Как известно из опытов [7], в железобетоне для арматурных стержней диаметром от 6 до 20мм

радиус влияния арматуры на бетон равен примерно четырем диаметрам стержня. При армировании железобетонных балок параметр η_3 принимает значения в пределах 5 - 25.

Как видно из приведенных данных, вязкость бетонов может быть выше вязкости цементной матрицы в 5 раз, а вязкость железобетона на порядок (от 10 до 125 раз) превышает вязкость цементной матрицы.

По существу, при действии постоянной нагрузки на свободный бетон, порождающей в нем напряжения ниже предела длительного сопротивления, имеет место только упругое последствие, являющееся замедленным проявлением упругой деформации бетона.

Относительную граничную высоту сжатой зоны ξ_R , при которой растягивающие напряжения в арматуре начинают достигать предельных значений $\sigma_s \rightarrow R_s$, рассчитывают по известной формуле, однако коэффициент полноты фактической эпюры напряжений или характеристику деформативных свойств бетона сжатой зоны определяют

$$\omega = K - 0,008 \sigma_b C_2 / (1,2 - \eta_1 / 100 C_1), \quad (7)$$

где K - зависит от вида бетона.

Относительная высота сжатой зоны в произвольный момент времени t определяется из решения уравнения

$$\xi(t) / (1 - \xi(t)) = 2n_m \mu_s [(3 - \xi(t)) / \xi_0 (\xi - \xi_0) + \Phi(t) \xi(t)]. \quad (8)$$

Здесь:

$$\xi_0 = x_0 / h_0; \quad \mu_s = A_s / b h_0; \quad n_m = E_s / E_m.$$

В момент загрузки, т.е. при $t = 0$ и $\Phi(t) = 0$

$$\xi^2 - [4 + \xi_0(1 - \xi_0) / 2n_m \mu_0] \xi + 3 = 0 \quad (9)$$

Решение дифференциального уравнения (2) дает зависимость между полной деформацией бетона $\xi_b(t)$ и напряжением $\sigma_b(t)$ при нелинейной ползучести бетона для произвольного момента времени t в виде

$$\xi_b(t) = \sigma_{b0} / E_m + \sigma_b / E_{mc} \Phi(t), \quad (10)$$

где E_m , E_{mc} - жесткости цементной матрицы армированного бетона без трещин и с трещинами;

$$\Phi(t) = 1 - e^{-Eb(t-\tau)/\eta_1} \quad (11)$$

структурно-реологическая функция влияния;

τ - время нагружения.

Далее задаваясь математической зависимостью «параметр вязкости - мера ползучести», можно регулировать ползучесть и разработать действенные способы управления деформированием бетона. При значении

параметра вязкости бетона меньше 2-х, а железобетона меньше 20-и, наблюдается резкое увеличение меры ползучести. Таким образом, параметр вязкости (3) цементной матрицы совместно с параметрами (4) и (5) комплексно оценивает макро- и микроструктуру бетона, а также уровень и характер загрузки, зависящей от времени. Определение оптимального значения параметра вязкости для каждого конкретного случая в зависимости от срока и условий эксплуатации позволит прогнозировать предельные деформации конструкции.

Таковыми средствами уменьшения расклинивающего действия воды в бетоне являются стесненность деформации растяжения бетона, осуществляемая дисперсным армированием, соответствующий подбор состава бетона, увеличивающий его вязкость, изоляция бетона или его крупного заполнителя от действия воды и т.п. Опытное изучение вязкости бетона при растяжении представляет значительные трудности. Поэтому пока приходится довольствоваться грубым описанием процесса, базирующемся на близости проявления вязкости при сжатии и растяжении [8]. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что чисто-пластическая деформация растяжения армированного бетона непременно сопровождается развитием необратимых микротрещин, что при слабом армировании и непрерывном росте нагрузки ведет к падению его прочности.

Библиографический список

1. Тамразян А.Г. Реологическая модель деформирования бетона. «Бетон и железобетон», № 1, 1998, с.20-22.
2. Reinhard H.W. et al. Joint investigation of concrete at high rates of Loading / Materials and structures. - 23. - 1990. - p. 213-216.
3. Забегаев А.В., Тамразян А.Г. О влиянии внутренней влаги на деформативность бетона. «Бетон и железобетон», №1, 1997. с. 21-24.
4. Лолейт А.Ф. О подборе сечений железобетонных сечений, - ВНИТО, 1933.
5. Михайлов В.В. Растяжимость бетона в условиях свободных и связанных деформаций. - Сборник ЦНИИПС. Исследование прочности, пластичности и ползучести строительных материалов. - М., Госстройиздат, 1955.
6. Цискрели Г.Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов. М., Госстройиздат, 1954.
7. Балавадзе В.К. Экспериментальное исследование влияния армирования на свойства растянутого бетона. - Сообщения АН Грузинской ССР, т. xxx, № 4, 1963.
8. Ilston I. - Magazine of concrete research, 1965, V. 17, № 51.

Влияние свойств цемента на морозостойкость бетонов

В настоящее время повышение долговечности бетонов — важнейшее направление научных исследований в области бетоноведения. Одним из основных свойств, определяющих долговечность бетонов, является их морозостойкость.

Согласно полиструктурной теории композиционных строительных материалов [1], цемент в бетоне является компонентом, образующим дисперсионную среду (цементное тесто, наполненное цементное тесто, растворная часть), которая определяет способность противостоять морозной деструкции. В связи с этим все факторы, определяющие свойства цемента, оказывают существенное влияние на морозостойкость бетонов.

Для изучения влияния цемента на морозостойкость бетонов были проведены исследования на образцах из тяжелого бетона, приготовленного на гранитном щебне фракций 10–20 мм и кварцевом песке с модулем крупности 2,7. Расход цемента варьировался от 200 до 500 кг на 1 м³ бетонной смеси, а водоцементное отношение (В/Ц) во всех составах было рав-

но 0,5. Полученные результаты представлены на рис.1 и 2.

Значения коэффициентов морозостойкости, показанных на графике, определяли как отношение прочности образцов, прошедших определенное число циклов попеременного замораживания, к прочности водонасыщенных контрольных образцов. Как видно из полученных данных, морозостойкость бетонов изменяется в широ-

ко не влияет на морозостойкость. Аналогичные результаты получены нами и для других составов бетонов. Таким образом, установлена закономерность влияния расхода цемента на морозостойкость бетонов, имеющая экстремальный характер (см. рис.2). Следовательно, оптимальным для исследованных составов бетонов, с позиций получения наибольшей морозостойкости, является расход цемента в диапазоне 225...425 кг/м³.

Такое влияние расхода цемента на морозостойкость бетона объясняется следующим. При малом расходе цемента объемы образующегося цементного теста для заполнения межзерновых пустот в мелком заполнителе и цементно-песчаного раствора для заполнения пустот в крупном заполнителе оказываются недостаточными. В связи с этим структура получаемого бетона характеризуется небольшой плотностью и значительной общей и открытой пористостями при малой величине условно замкнутой пористости. Чем меньше расход цемента, тем больше общая и открытая пористости и ниже морозостойкость бетона.

По другой причине снижается морозостойкость при увеличении расхода цемента более 425 кг/м³. При повышенном, по сравнению с минимально необходимым, расходе цемента возрастает относительный объем цементного камня в бетоне, что приводит к возникновению усадочных напряжений в цементном камне. При этом морозная деструкция, обусловленная циклами попеременного замораживания, вызывает также попеременное циклическое увлажнение и высыхание бетонов, приводящее к

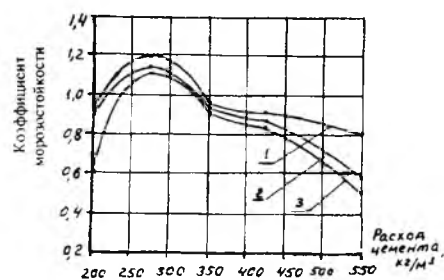


Рис. 2. Влияние расхода цемента на морозостойкость бетонов после числа циклов

1 — 100; 2 — 200; 3 — 350

ких пределах в зависимости от расхода цемента. При этом на графиках можно выделить три характерные области. В первой увеличение расхода цемента с 200 до 300 кг/м³ приводит к резкому повышению морозостойкости бетонов, вторая — при увеличении расхода до 350...425 кг/м³ характеризуется некоторым снижением морозостойкости по сравнению с максимальными значениями. В третьей области дальнейшее увеличение расхода цемента до 550 кг/м³ приводит к значительному снижению морозостойкости бетона (она оказывается даже меньшей, чем у бетонов с расходом 200 кг/м³). При этом изменение расхода цемента в диапазоне 350...450 кг/м³ замет-

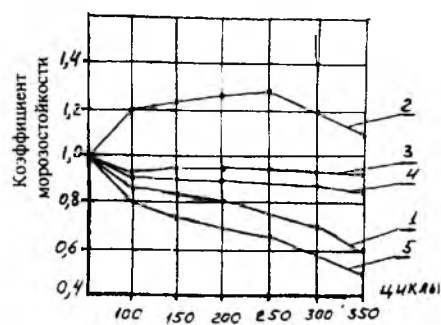


Рис. 1. Зависимость морозостойкости бетонов от расхода цемента, кг/м³

1 — 200; 2 — 275; 3 — 350; 4 — 425; 5 — 550

Таблица 1

Удельная поверх- ность цемента, см²/г	Предел прочности бетонов при сжатии, МПа				
	До замора- живания	После 300 циклов испытаний			
		Прочность	Снижение прочности, %	Прочность	Снижение прочности, %
Первая серия		Вторая серия			
Цемент завода "Гигант"					
1500	32,5	19,8	30,1	26,4	18,7
2500	40,1	31,1	22,5	34,1	14,9
4000	48,4	38,6	20,2	42,1	13,0
6000	58,3	35,1	39,8	48,2	17,3
7500	57,7	23,7	58,9	35,6	38,3
Цемент Воскресенского завода					
1500	30,2	17,72	41,3	23,7	21,5
2500	40,3	27,6	31,5	32,3	19,9
3500	47,9	35,1	26,7	38,6	19,4
6000	50,4	27,4	45,6	38,3	24,0
8000	57,5	27,2	63,1	29,9	48,0

повторяемости капиллярной усадки и вызываемых ею значительных усадочных напряжений. Последние, суммируясь с напряжениями, вызванными морозным воздействием и от приложенной внешней нагрузки, приводят к снижению трещиностойкости бетонов, а следовательно, и к снижению их морозостойкости.

Проведенные ранее исследования [2–5] показали, что тонкость помола цемента оказывает существенное и неоднозначное влияние на морозостойкость бетонов. В работе [2] для получения высокоморозостойких бетонов ($F = 1500 \dots 6000$) рекомендуется использовать портландцементы с удельной поверхностью $4000 \dots 5000 \text{ см}^2/\text{г}$, в работах [3, 4] для приготовления морозостойких бетонов рекомендуется ограничивать тонкость помола цемента величиной $2800 \dots 3500 \text{ см}^2/\text{г}$.

Как известно, повышение тонкости помола цемента увеличивает, при прочих равных условиях, степень его гидратации, в связи с чем морозостойкость бетонов должна возрастать. Однако известны случаи снижения морозостойкости бетонов на цементах высокой тонкости помола [5].

Для определения влияния тонкости помола цемента на морозо-

стойкость бетонов нами проведены соответствующие исследования на образцах тяжелого бетона, приготовленного на цементах Воскресенского завода и завода "Гигант" различной тонкости помола и твердевших в различных условиях (табл. 1 и рис. 3). Образцы первой серии твердели 10 сут в воде, а затем 18 сут на воздухе. Образцы второй серии твердели 28 сут до испытаний в воде.

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение удельной поверхности цемента с 1500 до $3500 \dots 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ несколько повышает морозостойкость бетонов. При этом она наиболее существенно возрастает у бетонов, твердевших все время в воде. Дальнейшее увеличение удельной

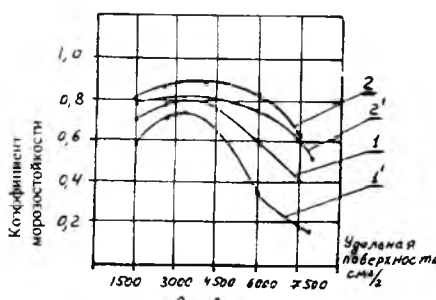


Рис. 3. Влияние тонкости помола цемента на морозостойкость бетонов
1, 1' — первая серия; 2, 2' — вторая серия;
1, 2 — цемент завода "Гигант"; 1', 2' — цемент Воскресенского завода

поверхности цемента существенно снижает морозостойкость, особенно при увеличении тонкости помола цемента более $6000 \text{ см}^2/\text{г}$. Эта закономерность прослеживается у бетонов, приготовленных на различных цементах и твердевших в различных условиях.

Такое влияние тонкости помола на морозостойкость можно объяснить следующим. Повышение морозостойкости бетонов при увеличении тонкости помола с 1500 до $3500 \dots 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ обусловлено повышением степени гидратации цемента α , в связи с увеличением доли условно замкнутых пор за счет открытых пор [6]. Снижение морозостойкости бетонов при увеличении тонкости помола более $4000 \text{ см}^2/\text{г}$ вызывается понижением трещиностойкости цементного камня от непроявившейся усадки. Бетоны на цементах с высокой тонкостью помола характеризуются повышенным содержанием зерен мелких фракций (менее 5 мк) и имеют строение порового пространства с преобладанием капилляров с радиусом менее $1000 \text{ \AA}$, а поэтому им присущи все характерные свойства капиллярно-пористого тела. В связи с этим возрастает роль капиллярных явлений, в частности, капиллярной усадки. Начальная усадка при высокой относительной влажности воздуха ($85 \dots 98\%$) вызывается преимущественно действием капиллярных сил, представляющих собой сумму сил поверхностного натяжения на микроменисках жидкости в капиллярах по всему объему влажного материала. Они являются внешними по отношению к твердому каркасу бетона и создают в нем сложное напряженное состояние.

Стремление вогнутого мениска жидкости уменьшить свою поверхность создает отрицательное давление, и стенки капилляров цементного камня будут испытывать действие капиллярных сил, вызывающих их сжатие, что приводит к

Таблица 2

Содержание в цементе С ₃ А, % по массе	Коэффициент морозостой- кости после числа циклов			
	200	300	500	600
3,5	1,10	1,05	0,94	0,81
7,0	1,05	0,97	0,77	0,62
12,0	0,98	0,80	0,52	0,38

объемной деформации — усадке. Обратимость капиллярной усадки и ее повторяемость сопровождается появлением в поверхностном слое бетона напряжений, приводящих к возникновению и развитию микротрещин. Эти трещины увеличивают открытую пористость бетона и резко снижают его морозостойкость. При этом чем больше удельная поверхность цемента, тем меньше должна быть трещиностойкость бетонов и ниже их морозостойкость (рис.3).

Основное влияние на морозостойкость бетонов оказывает минералогический состав цемента, который изменяет скорость и степень своей гидратации. Однако влияние различных минералов имеет свои особенности. Наиболее существенно влияние минерала С₃А, величину которого многие исследователи [2–4] рекомендуют ограничить величиной (5...7)% по массе.

Нами исследовано влияние содержания С₃А в цементах на морозостойкость бетонов одного и того же состава (Ц:П:Щ = 1:2,2:3,8) при В/Ц = 0,47 (табл.2). Содержание других минералов в цементах изменялось пропорционально изменению содержания С₃А.

Полученные результаты показывают, что увеличение содержания в цементах С₃А свыше 7% приводит к резкому снижению морозостойкости бетонов. При этом коэффициент морозостойкости, определяемый как отношение прочности образцов после определенного числа циклов к прочности контрольных образцов, у бетонов на цементе, содержащем 12% С₃А, снизился до 0,8 через 300 циклов,

а у бетонов на цементе, содержащем 3,5% С₃А, только через 600 циклов, т.е. его морозостойкость оказалась в два раза больше (рис.4).

Такое влияние минералогического состава цемента на морозостойкость бетона объясняется следующим. Повышенное содержание С₃А при недостаточном количестве гипса вызывает протекание

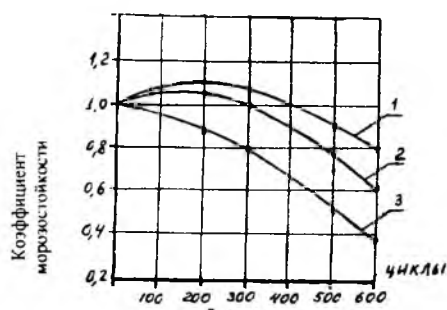


Рис. 4. Зависимость морозостойкости бетонов от содержания С₃А (%) в цементе
1, 2, 3 — содержание С₃А в соответствии 3,5; 7,0; 12,01

реакции типа $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 + 18\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$.

В результате этой реакции образуются гели гидроалюминатов кальция, в которых содержится большое количество осмотически связанной воды. Вследствие этого возрастает макропористость цементного камня бетонов, что вызывает снижение его морозостойкости. Кроме того, с течением времени в цементном камне изменяется состав жидкой фазы и степень ее пересыщения, и ранее образовавшиеся кристаллогидраты гидросульфалюминатов кальция окажутся нестабильными и будут распадаться. Этот процесс, который можно назвать "старением цементного камня", сопровождается изменением его структуры и физико-механических свойств.

Растворение первичных нестабильных кристаллогидратов этtringита, являющихся одним из основных структурных элементов кристаллического сростка цемент-

ного камня, сопровождается снижением его прочности, что также снижает способность бетона сопротивляться морозному разрушению. Таким образом, повышение содержания в цементе С₃А, при прочих равных условиях, будет приводить к увеличению содержания первичных кристаллов этtringита и в силу причин, изложенных выше, к большему проявлению эффекта старения цементного камня и снижению морозостойкости бетонов. При этом указанный эффект будет проявляться в большей степени у бетонов, приготовленных на цементах тонкого помола, так как у этих цементах активнее протекают процессы старения кристаллического сростка цементного камня.

На основании выполненных исследований и полученных результатов установлено, что для приготовления высокоморозостойких бетонов необходимо применять низко- и среднеалюминатные цементы (С₃А до 7%), портландцементы, имеющие тонкость помола в пределах 2500...4000 см²/г при их расходе 250...400 кг/м³.

Данные рекомендации использованы Мостостроительным отрядом № 3 МПС РФ, что позволило получать бетоны с морозостойкостью F400...500 без существенного изменения технологии их приготовления.

Библиографический список

1. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов//Изв. Вузов. Строительство и архитектура. — 1985. — С.58–64.
2. Шестоперов С.В. Долговечность бетонов транспортных сооружений. — М.: Трансжелдориздат. — 1966. — 499 с.
3. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона промышленных и гражданских сооружений. — М.: Стройиздат. — 1965. — 195 с.
4. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат. — 1983. — 130 с.
5. Шейкин А.Е., Рояк С.М. Высокопрочные быстротвердеющие цементы//Новое в химии и технологии цемента. — М.: Госстройиздат. — 1962. — С.93–111.
6. Шейкин А.Е., Добшин Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. — Л.: Стройиздат, 1989. — 128 с.

Методика определения морозостойкости бетона поверхностных слоев конструкций

Общепризнано, что для таких цементобетонных конструкций, как покрытия аэродромов и дорог, блоки и плиты дорожных ограждений, мостовые конструкции, морозостойкость бетона является определяющим фактором их долговечности.

Морозостойкость бетона оценивают по ГОСТ 10060–95 испытанием контрольных образцов. При этом фактическая морозостойкость бетона в конструкции остается величиной неопределенной, в том числе из-за различий в технологии формирования и в условиях твердения бетона в образцах и в конструкции. Влияние этих факторов на долговечность бетона весьма высоко. Так, по данным [1] оно может быть оценено поправочным коэффициентом к нормативной долговечности равным 0,39...1,74, что сопоставимо с влиянием качества используемых материалов и состава бетона ($K = 0,25 \dots 2,5$). Вместе с тем анализ причин возникновения повреждений цементобетонных покрытий аэродромов показывает [2], что подавляющее их количество (83%) образуется именно в результате отступлений от технологии строительства. При этом наиболее часто встречаются неудовлетворительный уход за свежесложенным бетоном, расслоение бетонной смеси при укладке в покрытие и нарушение технологии отделки поверхности покрытия.

Поэтому для оценки фактической морозостойкости бетона необходимы, кроме испытаний контрольных образцов, также и испытания образцов, отобранных из конструкции. По нашему мнению, для проведения последних стандартные методы неприемлемы по двум причинам:

1. Эти методы требуют отбора из конструкций значительного числа образцов — 18 штук для одних испытаний, хотя и этого может оказаться недостаточно для получения достоверной оценки морозостойкости из-за неоднородности бетона по прочности [3, 4]. Существенного сокращения требуемого числа образцов можно достичь лишь при использовании для контроля за состоянием бетона в ходе испытаний не прочности, а других, неразрушающих,

способов контроля. В этом случае единичное значение показателя морозостойкости может быть получено для каждого образца, а для оценки морозостойкости бетона конструкции достаточно 2...3 образцов. Кроме этого, что представляется очень важным, появится возможность доводить испытания до критического значения контролируемого показателя, т.е. определять фактическую его морозостойкость, чего не предусматривают стандартные методы.

2. Известно, что морозные повреждения железобетонных конструкций всегда начинаются с поверхности бетона. Это обусловлено тем, что бетон в поверхностном слое формируется менее стойким, чем в целом по конструкции, из-за расслоения бетонной смеси при виброуплотнении, максимальных градиентов температуры и влажности в нем при твердении. Вместе с тем в этом слое возникают наибольшие напряжения от климатических и эксплуатационных воздействий. При испытании же на морозостойкость стандартными методами “отказ” наступает преимущественно по прочностному критерию при незначительных поверхностных разрушениях образцов или отсутствии таковых.

В связи с этим для конструкций, к которым предъявляются повышенные требования к стойкости поверхностного слоя, оценку морозостойкости бетона стандартными методами необходимо дополнить специальными испытаниями, позволяющими определять стойкость именно поверхностного слоя.

Представляется, что для таких испытаний не могут быть применены косвенные методы определения морозостойкости, например, по деформациям при однократном замораживании, по характеристикам поровой структуры и т.д. В этих методах используются лишь отдельные, пусть и важные для морозостойкости, характеристики бетона, поэтому они могут быть корректными только для конкретного состава. При этом в каждом случае изменения номинального

состава бетона необходимы сопоставительные испытания, например, аналогичные проводимым при построении градуировочной зависимости “скорость распространения ультразвука — прочность” при контроле прочности ультразвуковым методом по ГОСТ 17624–87. Представляется, что получение зависимости “косвенный показатель — морозостойкость” для каждого номинального состава бетона весьма трудоемко и поэтому на практике нереально.

Основываясь на изложенных предпосылках, в 26 ЦНИИ МО РФ была разработана методика оценки морозостойкости бетона поверхностного слоя конструкций, позволяющая моделировать при лабораторных испытаниях реальные условия эксплуатации: оттаивание и последующее замораживание поверхностного слоя бетона происходят в конструкции, находящейся в замороженном состоянии.

Разработанная методика заключается в следующем. Образцы-кубы с длиной ребра 100 мм или цилиндры диаметром 90...120 мм и высотой не менее 70 мм, отобранные из конструкции, насыщаются водой в соответствии с требованиями ГОСТ 10060–95 и устанавливаются в специально оборудованную климатическую камеру (рис. 1) испытываемой гранью вниз. В процессе испытаний в камере поддерживается температура среды минус $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Через 1 ч после достижения температуры воздуха в камере минус 30°C и далее через каждые 30 мин по поддону, на котором установлены образцы, осуществляется пролив раствора соли таким образом, чтобы глубина погружения образцов в раствор составляла 5 мм. Температура раствора находится в пределах $20 \pm 2^\circ\text{C}$, продолжительность пролива — 3 мин.

Принятый по данной методике режим испытаний обеспечивает одностороннее замораживание и оттаивание поверхностного слоя бетона, а также донасыщение его пор водным раствором соли только со стороны испытываемой грани образца. На рис. 2 показаны кривые изменения температу-

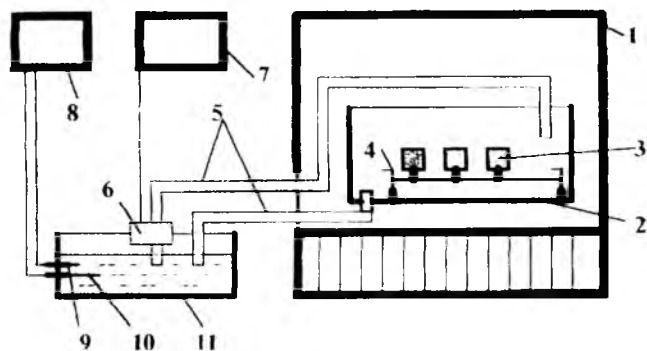


Рис. 1. Схема автоматической установки для определения морозостойкости поверхностного слоя бетона

1 — морозильная (климатическая) камера; 2 — ванна оттаивания; 3 — испытываемые образцы; 4 — регулировочные винты стеллажа; 5 — трубопроводы подачи и слива раствора соли; 6 — насос; 7 — блок регулирования режима испытаний; 8 — блок регулирования температуры раствора соли; 9 — температурный датчик; 10 — нагревательный элемент; 11 — емкость с раствором соли

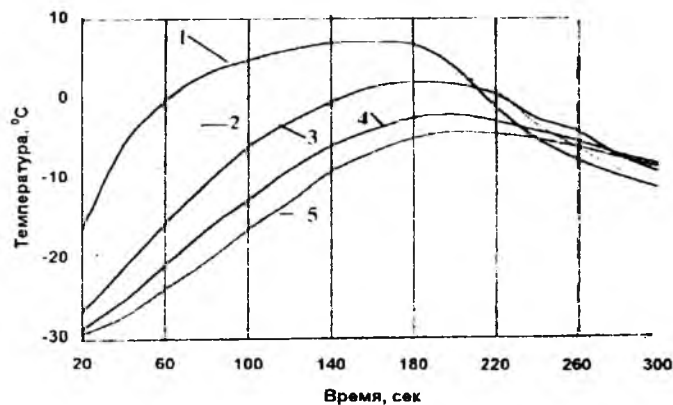


Рис. 2. Изменение температуры по глубине образца при продолжительности воздействия теплоносителя 180 с

1 — 1 мм; 2 — 3 мм; 3 — 5 мм; 4 — 7 мм; 5 — 9 мм

ры в поверхностном слое бетона образцов для принятого режима испытаний. Характер разрушения образцов при испытаниях предлагаемым способом аналогичен шелушению поверхности конструкций в реальных условиях, что подтверждает корректность выбранной модели испытаний.

Состояние образцов в ходе испытаний контролируется по изменению их объема, который определяется по ГОСТ 12730.1–78 гидростатическим взвешиванием с погрешностью не более 0,5 г.

За показатель морозостойкости принимается число циклов замораживания и оттаивания, при которых объем разрушения поверхностного слоя образцов, приведенный к площади испытываемой грани, не превышает $0,04 \text{ см}^3/\text{см}^2$.

В лабораторных условиях исследовали морозостойкость поверхностного слоя образцов в зависимости от условий выдерживания твердеющего бетона. Изучение проводили на образцах-кубах с длиной ребра 100 мм из бетона состава Ц:П:Щ:В = 1:1,8:2,75:0,44. Для приготовления бетона использовали портландцемент марки по прочности 500 Брянского завода, чистый кварцевый песок с модулем крупности 2,4 и гранитный щебень фракции 5...20 мм. В качестве соли был выбран антигололедный реагент АНС, применяемый для борьбы с гололедными образованиями на аэродромах; концентрация раствора АНС — 15%.

После формирования за бетоном осуществляли уход различными спо-

собами. Образцы каждой серии делили на две группы: первые выдерживали на воздухе при температуре $18...20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60...70%, вторые — в климатической камере при температуре $30...35^\circ\text{C}$ и относительной влажности 25...30%; при этом над образцами осуществлялась циркуляция воздуха со скоростью около 2 м/с. После расплавления боковые и нижние грани всех образцов были гидроизолированы.

В возрасте 28 сут образцы всех серий испытывали на морозостойкость по приведенной выше методике, а также на водопоглощение. Перед испытанием поверхность испытываемых граней образцов обрабатывали наждачной бумагой для удаления материала ухода.

Водопоглощение определяли со стороны испытываемой грани образца следующим образом. На высушенный до постоянной массы образец устанавливают вверх дном и винтовым устройством через уплотнительные

кольца прижимают металлический цилиндр, соединенный с мерной трубкой с ценой деления $0,1 \text{ см}^3$. Цилиндр и мерную трубку заполняют водой и снимают начальный отсчет. В процессе испытаний в цилиндре поддерживалось избыточное давление водяного столба величиной 0,015 МПа. За показатель водопоглощения принимают объем воды, поглощенной образцом за 24 ч, отнесенный к единице площади.

Оценка результатов испытаний (см.таблицу) показала, что для всех условий твердения наиболее плотная и морозостойкая структура бетона поверхностного слоя формируется при уходе влажным песком, создающим, особенно при первом режиме выдерживания, фактически нормальные условия по ГОСТ 10180–90.

Эффективность пленкообразующих материалов зависит от температурно-влажностного режима выдерживания, уменьшаясь с его ужесточением. Отсюда следует важный вывод о том, что уход пленкообразующими материалами за бетоном конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по стойкости поверхностного слоя, при устройстве их в сухую жаркую погоду недостаточен (снижение морозостойкости составляет 40...50%), и в этом случае требуются более эффективные средства. К аналогичному выводу пришли и авторы [5], показавшие, что при устройстве дорожных покрытий в летний период уход за бетоном лаком этиноль и разжиженным битумом обусловили формирование дефектной структуры бето-

Способ ухода за бетоном	Поверхностное водопоглощение, $\text{см}^3/\text{дм}^2$	Морозостойкость поверхностного слоя, циклы
Без ухода	75/138	120/40
Помароль	63/82	190/150
Битумная эмульсия	68/79	200/120
Песок	52/46	230/210

Примечания: перед чертой — 1 режим выдерживания; за чертой — 2 режим выдерживания

на поверхностного слоя. Через 5...7 лет эксплуатации такое покрытие подверглось интенсивному шелушению.

Из приведенного примера видно, что предложенная методика позволяет эффективно оценивать влияние технологических режимов возведения конструкций на качество бетона их поверхностного слоя.

Накопленный к настоящему времени более чем 10-летний опыт использования предложенной методики при оценке качества бетона аэродромных и дорожных покрытий, других конструкций позволил установить, что для обеспечения высокой долговечности морозостойкость поверхностного слоя бетона должна быть не менее 200...300 циклов в зависимости от ус-

ловий эксплуатации. Если же этот показатель не превышает 100 циклов, то интенсивное морозное разрушение конструкции, работающей в присутствии растворов солей, возможно уже в первые годы эксплуатации. Так, при строительстве покрытия взлетно-посадочной полосы из плит ПАГ на одном из аэродромов было установлено, что морозостойкость поверхностного слоя бетона плит составляла 60...80 циклов. Уже после первой зимы 24% плит имело разрушение поверхности глубиной 2...5 мм.

Важным достоинством предложенной методики является возможность проведения испытаний за достаточно короткий срок — 200...300 циклов за 2 недели.

Библиографический список

1. Гордон С.С. Прогноз долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — № 6. — 1992.
2. Садовой В.Д., Дон А.И., Авдеев В.Н. Анализ причин возникновения дефектов жестких аэродромных покрытий. — Труды ГосНИИ ГА — № 187, 1979.
3. Подвальный А.М. Об испытании бетона на морозостойкость // Бетон и железобетон. — 1996. — № 4. — с. 26–29; № 5, с. 27–29.
4. Розентап Н.К., Чехний Г.В., Нерубенко С.Л., Гвоздев В.А. О достоверности результатов испытаний бетона на морозостойкость // Бетон и железобетон. — 1998. — № 3. — с. 24–26.
5. Липский В.Я., Селимов М.М. Классификация разрушений цементобетона в покрытиях автомобильных дорог Узбекской ССР. Строительство и архитектура Узбекистана. — № 11. — 1972.



ГОССТРОЙ РОССИИ

НИИЖБ

Ежегодный набор в аспирантуру на очное и заочное отделения по специальностям "Строительные материалы и изделия" и "Строительные конструкции, здания и сооружения" проводит Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) — один из крупнейших в России специализированный институт в области строительства, имеющий высококлассный профессорско-преподавательский состав и многолетний опыт подготовки научных кадров высшей квалификации.

В аспирантуру на конкурсной основе принимаются граждане Российской Федерации, имеющие высшее профессиональное образование.

Обучающиеся в аспирантуре на очном отделении имеют отсрочку от призыва в вооруженные силы России. Срок обучения в очной аспирантуре — 3 года, в заочной аспирантуре — 4 года.

Заявление о приеме в аспирантуру подается на имя директора института с приложением следующих документов:

- анкеты
- автобиографии
- копии диплома о высшем профессиональном образовании
- удостоверения о сдаче кандидатских экзаменов при наличии у поступающего сданных кандидатских экзаменов
- списка опубликованных научных работ, изобретений и отчетов по научно-исследовательской работе, если таковые имеются, или реферата
- двух фотографий размером 3х4 см

Прием заявлений производится до 20 августа.

Поступающие в аспирантуру в сентябре сдают конкурсные экзамены по специальности, философии и иностранному языку.

С 1996 г. в НИИЖБе с целью обеспечения института молодыми кадрами высшей квалификации введена дополнительная форма обучения в аспирантуре на контрактной основе, в соответствии с которой аспирантам устанавливается надбавка к стипендии в размере от 10 до 12 минимальных зарплат в месяц. По окончании аспирантуры молодые ученые обязаны отработать в институте не менее 3-х лет.

В аспирантуру на контрактной основе принимаются абитуриенты, имеющие право работать в Москве.

109428, Москва, 2-я Институтская, 6. НИИЖБ, Тел. (095) 174-76-60, Факс (095) 174-77-24

О проекте ГОСТ 310 на испытание цемента

(по европейскому стандарту)

До 1967 г. цемент испытывали по ГОСТ 310-41 в жестких растворах при $V/C=0,25-0,31$ и составе 1:3 (одна часть цемента, три части вольского песка с $M_{кр} \approx 2,9$). Расход воды для затворения раствора устанавливали из условия обеспечения в растворе цементного теста нормальной густоты (например, при расходе цемента 500 г и песка 1500 г расход воды при $НГЦТ=0,28$ и смачивании песка 1% составит $500 \cdot 0,28 + 1500/100 \cdot 1 = 140 + 15 = 155$ г; а $V/C = 155/500 = 0,31$).

Раствор перемешивали в раствормешалке Штейнбрюк-Шмельце (или вручную в сферической чашке). Уплотнялся раствор (в формах кубиков) на копке Клебе (вес бабы 3 кг, высота падения 0,5 м, число ударов 53). Из готового раствора изготавливались кубики и восьмерки. Образцы испытывались в 3,7 и 28-суточном возрасте. На основе результатов испытания устанавливали марку цемента.

ГОСТ 310-41 в 1940-х, 1950-х гг. часто критиковали за сложность метода, за необходимость испытания цемента в жестких растворах, за несоответствие V/C при испытании цемента (0,25–0,31) с реальными V/C , применяемыми в бетонах (0,4–0,6). К тому же метод испытания цемента, принятый в ГОСТе 310-41, не соответствовал стандарту ИСО (Международная организация по стандартизации). Поэтому в Госстрое СССР было принято решение о переходе на испытание цемента в пластичных растворах (по стандарту ИСО). В соответствии с методикой ИСО цемент испытывается при $V/C=0,5$, составе раствора 1:3, на крупном трехфракционном песке. Для определения прочностных показателей на сжатие и изгиб изготавливаются балочки размером 40x40x160 мм, которые испытывают в 28-суточном возрасте сначала на изгиб, а затем половинки балочек на сжа-

тие. По результатам испытаний устанавливается марка цемента.

К сожалению, при разработке ГОСТа 310-60 (взамен ГОСТа 310-41) методика испытания цемента по стандарту ИСО в полной мере не была принята. В соответствии с методикой ГОСТа 310-60 приняты: V/C равным 0,4 (вместо 0,5); песок однофракционный вольский (вместо трехфракционного). Таким образом, методы испытания цемента по стандарту ИСО и в ГОСТ 310-60 имеют существенные различия. Один и тот же цемент, испытанный по тому и другому стандарту, маркируется разными марками (например, марка по стандарту ИСО на одну ступень ниже, чем по ГОСТ 310-60).

Следовательно, с принятием нового ГОСТа 310-60 мы не перешли на метод испытания цемента по методу ИСО. Почему это так произошло, установить сейчас невозможно, многих инициаторов перехода на испытание цемента по этому стандарту уже нет. Кстати сказать, над уточнением формул работало 140 организаций, а переход на новый метод испытания длился 8 лет.

ГОСТ 310-60 был введен в 1967 г. В нем сохранены состав раствора (1:3), методы определения сроков схватывания, $НГЦТ$, тонкости помола, плотности цемента, предусмотренные ГОСТами 310-41 и стандартом ИСО. Принятый ГОСТ 310-60 имел существенные недостатки. В нем не были предусмотрены методы определения ложного схватывания, количества введенных неэффективных минеральных добавок, содержания щелочей, а в ГОСТ 10178-62 не нормированы $НГЦТ$, содержание свободного CaO , щелочей, допущено введение прочих минеральных добавок и т.д.

ГОСТы 310-60 и 10178 неоднократно переиздавались, но не улучшались. Например, в ГОСТе 310-76 допущено снижение V/C в мень-

шую сторону от $V/C=0,4$, что позволило цементной промышленности повысить марку цемента на одну ступень (с 400 до 500). Стандарты на цемент многократно критиковались в печати, по проблемам их несовершенства и низкому качеству цемента проводился специальный научно-технический совет в б. Госстрое СССР. Но конкретных мер по выправлению существующего положения предпринято не было.

В 1996 г. НИИЦементом разработан проект ГОСТа 310 на испытание цемента. Необходимость изменения метода испытания теперь обосновывали переходом на испытание цемента уже по европейскому стандарту (близкого к ИСО). К сожалению, проект этого стандарта в 1996 г. обсуждался в узких кругах специалистов. Научно-техническая общественность и строительные лаборатории к этому делу не были привлечены, на страницах печати проект стандарта не рассматривался и не обсуждался.

С принятием ГОСТа 310-96 метод испытания цемента из-за отсутствия трехфракционного песка также не будет адекватен европейскому стандарту и методу ИСО. Правда, для получения такого песка планируется строительство завода. Но будет ли он построен, сказать затруднительно, а закупать песок за рубежом накладно.

По нашему мнению, от перехода на новый метод испытания цемента по европейскому стандарту (или ИСО) в это трудное для страны время следует воздержаться. Сначала нужно построить завод для получения крупного трехфракционного песка, оснастить лаборатории оборудованием и обучить их сотрудников методам испытаний цемента по ГОСТ 310-96 (по новому стандарту). На данном этапе нужно только уточнить действующие ГОСТы 310 и 10178.

Следует также обосновать необходимость строительства заво-

да для получения трехфракционного песка. В свое время, основываясь на проведенных исследованиях, Б.Г.Скрамтаев показал, что для рассматриваемых целей можно допустить применение вольского песка. Погрешность в определении марки цемента, по его данным, незначительна. Нужно обсудить также вопрос, следует ли вообще переходить на новый метод испытания. Ведь марка цемента — величина условная, зависящая от метода испытания цемента. Поэтому

изменение метода испытания на качество цемента и на его расход в бетоне не повлияет. Однако формулы для определения В/Ц и прочности бетона необходимо будет уточнять. Поэтому переход на новый метод испытания цемента потребует переиздания всей нормативно-технической документации и отвлечет ученых от исследований, отрасль понесет убытки.

Переход на испытание цемента по европейскому стандарту или ИСО должен быть тщательно обо-

снован. Хотя такой переход, видимо, и облегчит научно-техническое общение с зарубежными коллегами, многие страны тем не менее не спешат с переходом на испытание цемента по стандарту ИСО (Англия, США и др.). Поэтому и наша страна имеет все основания иметь свой стандарт на испытание цемента, а при общении с зарубежными коллегами приводить данные по стандарту европейскому или ИСО (используя переходный коэффициент).

БИБЛИОГРАФИЯ

Интересная монография

Вышла в свет монография заслуженного деятеля науки Российской Федерации, лауреата Государственной премии СССР, доктора технических наук, профессора В.Г.Батракова **“Модифицированные бетоны. Теория и практика”**. В ней впервые приведены полные сведения об одном из приоритетных направлений технического прогресса в области технологии бетона и совершенствования этого материала, остающегося основным конструкционным материалом на ближайшее обозримое будущее.

Разработка теоретических представлений о существе процессов, названных автором модифицированием бетонных смесей и бетонов за счет введения в их состав соединений органического и неорганического ряда, огромный экспериментальный материал, подтверждающий теорию вопроса, практические выводы и рекомендации автора делают книгу оригинальной и полезной широкому кругу специалистов — исследователей, проектировщиков и практиков строителей.

Книга издана в развитие актуальнейшего направления в области строительства — получение бетонов со специальными свойствами: гидрофобных, водо- и газонепроницаемых, особо морозостойких, легких, высокопрочных, солестойких и др. К этой теме внимание широких кругов научной общественности было привлечено еще в 1990 г., когда вышла книга В.Г.Батракова “Модифицированные бетоны”, обобщающая многолетние исследования автора в области бетоноведения. Книга получила высокую оценку отечественных и зарубежных специалистов и стала библиографической редкостью.

За прошедшие со времени издания годы появились новые оригинальные разработки, а ряд прежних получил более глубокое развитие в свете достижений науки и практики, внедрения новых технологий. Этот ценный материал, основанный на современных достижениях физической и коллоидной химии в совокупности с имеющимися сведениями в области модифицированных бетонов, содержится в объемной (48 авт. листов), хорошо иллюстрированной фундаментальной книге “Модифицированные бетоны. Теория и практика”.

Представляя результаты своих исследований и подробнейшего анализа огромного числа разработок отечественных и зарубежных специалистов, автор книги дал интереснейшие сведения по модифицированию бетонных смесей и бетонов.

Кроме обновления сведений, представленных в первом издании книги, о таких модификаторах цементных систем, как кремнийорганические соединения, пластификаторы и суперпластификаторы, комплексные полифункциональные модификаторы, во второе издание вошел обширный аналитический материал, посвященный модификаторам, — регуляторам схватывания и твердения бетонной смеси и бетона; модификаторам воздухововлекающего и пенообразующего действия, применяемым в технологии тяжелого, легкого и мелкозернистого бетонов; модификаторам специального назначения — бицидного, ингибирующего, расширяющего действия. Отдельная глава посвящена разработке пластифицированных бетонных смесей и бетонов на смешанных и специальных вяжущих.

Во втором издании книги значи-

тельно расширен материал об опыте применения различных модифицированных бетонов в практике строительного производства в России и за рубежом. Большое внимание уделено технологии получения бетонов с заданными техническими свойствами и бетонным смесям с улучшенными технологическими характеристиками. Помещены приложения, в которых приведены такие необходимые практические сведения, как перечень нормативных и рекомендательных документов по использованию модифицированных бетонов, примеры подбора состава тяжелых бетонов с суперпластификаторами, ориентировочные составы модифицированных легких бетонов и дозировочные расходы компонентов бетонных смесей.

Книга предназначена для широкого круга специалистов — научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, а также для преподавателей и студентов вузов.

Тираж книги — 1000 экземпляров. Цена — договорная.

Монографию можно приобрести по адресу:

Россия, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, ГУП НИИЖБ.

ИНН 7721179879

Расчетный счет

№ 40502810600042550701

КБ “Содбизнесбанк”, отделение

“Рязанский проспект”, г. Москва

Корреспондентский счет

№ 30101810500000000662

БИК 044583662

ОКПО 46854090

ОКОНХ 95120 95300

Л. ЧЕРНЕЦКИ, проф. (Варшавский технологический ун-т, Польша); Ф. САНДРОЛИНИ, проф. (Университет г. Болонья, Италия)

Парадигмы в полимерных бетонах

В сентябре 1998 г. в г. Болонья, Италия, состоялся очередной IX Международный конгресс по полимерам в бетоне. Начиная с 1975 г. регулярно с трехлетним интервалом подобные конгрессы организуются международным директором. К сожалению, в связи с известными августовскими событиями в стране российские специалисты персонального участия в последнем Конгрессе не приняли, хотя соответствующие доклады в Оргкомитет были направлены и в трудах Конгресса опубликованы.

Для того чтобы у читателей журнала сложилось представление о прошедшем Конгрессе, сообщу некоторые сведения о нем: было представлено 82 доклада, подготовленных 166 авторами. Доклады носили как теоретический, так и практический характер, и были разделены по 5 разделам: новые материалы и технологии; фазовый состав и микроструктура; механические свойства и фибровое армирование; ремонт конструкций и консервация архитектурных памятников; долговечность, старение и испытания.

Один из основных докладов на Конгрессе был представлен профессорами Л. Чернецки (Польша) и Ф. Сандролини (Италия). С разрешения авторов мною выполнен сокращенный перевод этого доклада (в том числе были опущены литературные ссылки — 41 наименование), изложение которого приводится ниже

В.П.Трамбовецкий, канд.техн. наук, НИИЖБ

Термин “парадигма” означает доминирующую идею в науке, образ мыслей, превалирующих в научном мире в данный отрезок времени. В словарях понятие “парадигма” означает образец или модель, которая может быть полезна для любой научной школы, любого научного направления. Конгресс по полимерам в бетоне в Болонье в 1998 г., собравшийся более чем через 20 лет после первого Конгресса в Лондоне в 1975 г., дает хорошую возможность для подведения итогов по проблеме. Тот факт, что Конгресс в Болонье является последним в этом веке и в этом тысячелетии, также придает ему символическое значение.

Новый подход к исследовательским данным, новое понимание природы материала и вера в его дальнейшее развитие в прикладном и теоретическом плане — вот что всегда ожидают от очередного Конгресса.

Чего следует ожидать от “полимеров в бетоне” в следующем веке? Это является главным вопросом данного доклада. Авторы понимают, что во многих случаях наши открытия могут быть тривиальными, однако они могут оказаться и весьма важными. Во многих случаях мы больше ставим

вопросы, чем на них отвечаем. Иногда мы представляем два мнения по одному и тому же вопросу. Но мы полагаем, что две головы (из Болоньи и Варшавы) лучше, чем одна.

На пути развития бетон-полимерных композитов (С-РС) необходимо расставить некоторые путеводные знаки. В настоящее время это стало еще более очевидным, так как в области “полимеров в бетоне”, которая охватывает полимерцементные бетоны (РСС), полимербетоны (РС) и пропитанные полимерами бетоны (РІС), на-

блюдается в некотором роде “стагнация”, или, более точно выражаясь, “усталость”. В то же время имеется глубокое убеждение в том, что практическое применение С-РС еще далеко от исчерпания, а теоретическое развитие материалов все еще в стадии разработки. В такой момент поиски новой парадигмы могут быть одновременно поиском парадигмы существования С-РС.

В жестокой конкуренции между основными строительными материалами (рис.1) возникает вопрос: где место С-РС; кто выигра-

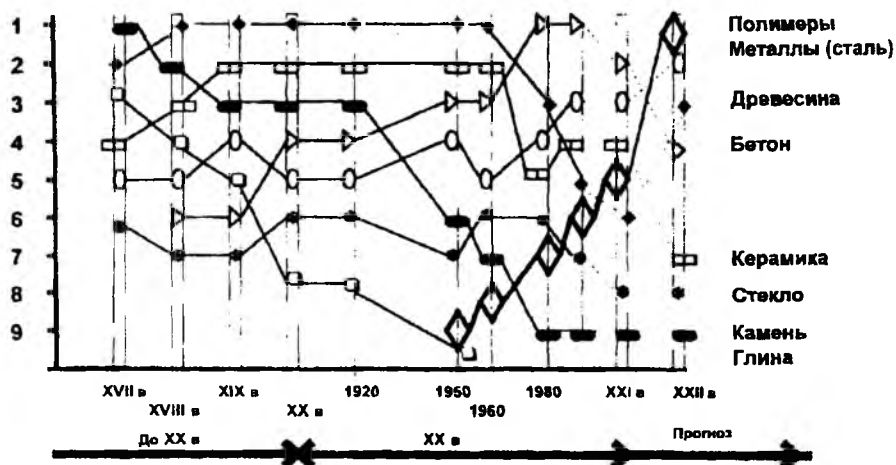


Рис. 1. Основные строительные материалы

ет? Кто выпадет из борьбы? Лучший способ предсказать будущее — это создавать его. Прошедшее уже миновало, настоящее находится между прошедшим и будущим.

Но будущее должно быть предсказуемо, даже для С—РС. Видение будущего развития необходимо как для науки, так и для технологии. Нет логических причин предсказывать будущее, основываясь на прошлом (С.Лем, 1984). Из-за того, что в прошлом будущее было похожим на прошлое, не вытекает, что в будущем прошлое будет похожим на будущее. Однако из прошлого мы можем извлечь уроки для нашей сегодняшней работы — как успешные, так и неудачные. Как предвидеть трудности С—РС и его будущее?

Парадигма в науке и материал в технологии являются принципами в классификации в историческом плане. В зависимости от преобладающих материалов, используемых в истории человечества, этапы истории получили свои названия:

Каменный век (до 3500 г. до н.э.).

Бронзовый век (от 3500 г. до 1000 г. до н.э.).

Железный век (после 1000 г. до н.э.).

В 19 веке найдены некоторые другие строительные материалы, которые стали широко применяться. Но есть ли какой-либо материал, который с полным основанием может представлять современную эпоху? Мы полагаем, что этот материал — композит, и XX век может быть назван веком композитным. Началом этой эры можно считать рождение Христа, особенно для материалов С—РС. Витрувий в своей книге "Архитектура" (1567 г.) описывал применение смеси извести и льняного масла для заделки трещин и швов в кирпичной кладке. Плиний Второй в "Натуральной Истории" сообщал об использовании известковых растворов, затворенных вином, свиным салом и фидами. Но только во второй половине XX века эти материалы получили настоящее промышленное применение.

В соответствии с некоторыми концепциями развитие науки может быть грубо разделено на следующие периоды:

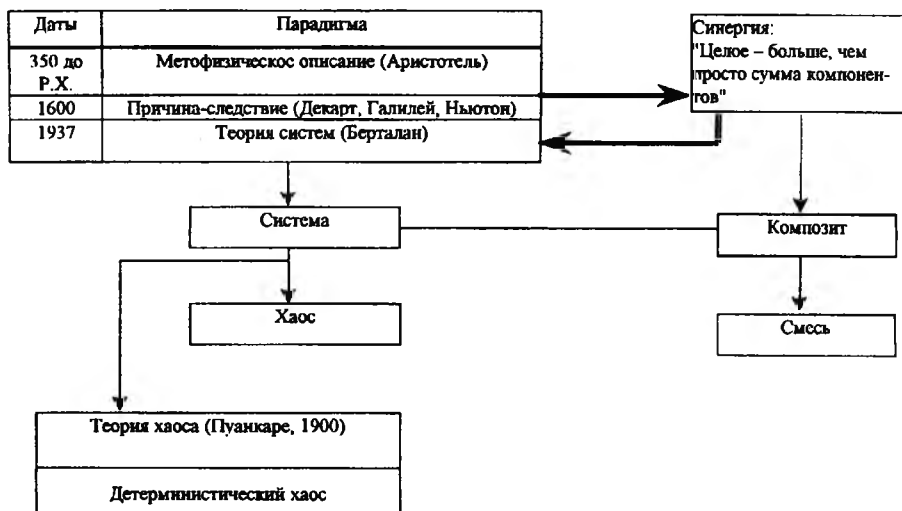


Рис. 2. Периоды развития науки

- метафизический — описательные формулировки (начиная от Аристотеля, 350 г. до рождения Христа);

- причинно-следственные связи (от Галилея, Декарта, 16 век);

- теории систем (от Л.фон Берталана, 1937 г.).

Фазы человеческой культуры измеряются тысячелетиями. Это просто совпадение, что современное третье тысячелетие мы должны начинать с "Системы" (Детерминистический хаос) как новой парадигмы в науке и "Композитами" как новой концепции в технологии. Обе они означают революции в науке и технологии.

Существует, безусловно, внутренняя адекватность, заметная по меньшей мере интуитивно, между концепциями "система" и "композит". Обе исходят из аристотелевского положения: "Целое есть больше, чем просто сумма компонентов". Композит может быть определен как система твердых тел, состоящая из двух или более фаз, которые не могут трансформироваться одно в другое без определенного термомеханического воздействия; когда по меньшей мере одно из них полностью или частично состоит из твердого полимера, то композитный материал обычно называется полимерным композитом.

Интересно отметить, что, несмотря на свою значимость, система, как категория современной

науки, до сих пор не имеет четкого определения. В данном докладе мы рассматриваем теорию систем как образ мышления, рассматривая каждую проблему (объект) как набор предметов, соотносящихся таким образом, что образуют "целое" (внутренние связи) и в то же время представляющие собой особую часть более высокой системы — "окружающей среды" (наружные связи).

Недавно (начиная с семидесятых) теория хаоса — все еще очень молодая — коснулась всех дисциплин. Развитие этой теории объединило в себе абстрактную математику и компьютер. Она дает исследователю возможность совладать с постоянно изменяющейся сложностью природы и инженерии. Теория хаоса описывает, как большое количество событий (например, частиц песка в полимербетоне) может вести себя типичным образом, даже если индивидуальные события (поведение отдельных частиц) непредсказуемы. Естественно, имеется много ситуаций хаотичных, но не подпадающих под теорию хаоса.

Инженерная деятельность на стройплощадке — в макроскопическом плане — может быть описана как переход от "беспорядка" к "порядку". Прогресс в материаловедении — на микроструктурном уровне — может быть записан в виде "от смеси к композиту", где:

смесь — это комбинация ингредиентов, которая получает свои

свойства как результат простого суммирования свойств компонентов;

композит — это твердое тело, состоящее из двух или более фаз, по меньшей мере одно из которых полностью или частично создано из твердого вещества с макроскопически различимыми границами между фазами, и которое приобретает свои свойства, недостижимые только одним соединением (фазой) или простым их суммированием.

Целью создания "композита" является получение свойств, которые отличаются и часто превосходят свойства индивидуальных компонентов, т.е. требования оптимизации включены в самое определение композита.

В течение многих веков строители озадачены выбором материалов: каким образом сформулировать требования к ним с учетом их совместимости с другими материалами. Еще Витрувием в качестве подбора назывались прочность, применимость и красота. Сегодня эти требования переписаны заново, в них включены требования по динамике, огнестойкости, гигиене, безопасности для здоровья и окружающей среды, безопасности при возведении, звуко- и теплоизоляции, экономии энергии и т.д. Все это записано в требованиях Европейских норм (89/106/ЕЕС). Из этого вытекает идея о том, что главным критерием подбора материалов должна являться их полезность в данном (конкретном) применении. Причем эта полезность требуется только для конкретного срока службы сооружения. В случае бетон-полимерных композитов (С-РС), так же, как и в общем случае для композитов, возможность регулирования свойств может быть достигнута использованием взаимосвязи "композиция — структура — свойства". Эта взаимосвязь, называемая "моделью материала", до сих пор сводилась к взаимосвязи "композиция — свойства" для данной конкретной микроструктуры.

Теория хаоса открывает здесь новые возможности. На фундаментальный вопрос, означает ли хаос отсутствие правила или просто правила неизвестны, теория хаоса дает оптимистический ответ: хаос может быть детерминисти-

ческим. Во многих случаях сложные системы могут быть описаны сравнительно простыми уравнениями. Несомненно, некоторые виды хаоса более хаотичны, чем другие.

Определение композита может быть записано так:

$$Y(A,B) = Y(A) + Y(B) + Y(A) \times Y(B) + \dots$$

механизм сложения синергетический эффект

где A, B — компоненты и/или фазы композита; $Y(A, B)$, $Y(A)$, $Y(B)$ — свойства Y композита композита и его компонентов соответственно, обычно зависящие от объемного содержания компонентов.

В противоположность композиту свойства смеси являются обычно суммой свойств ее компонентов, в соответствии с "правилом смеси"

$$Y(A,B) = Y(A) + Y(B),$$

где $Y(A, B)$ — свойства Y смеси.

Безусловно, особенно относительно механических свойств, данный эффект зависит от надежной связи между фазами и/или компонентами.

В качестве примера, композитный материал может обладать прочностью значительно выше той, которая описывается правилом простой смеси, вследствие так называемого пластического ограничения (т.е. вынужденных упругих поперечных деформаций усадки при осевой нагрузке). Чем выше жесткость (модуль Юнга) и большего размера фазы компонента, тем заметнее их влияние на более мелкие и более деформативные фазы/компоненты композита. Это хорошо известный эффект в силовых и других композитах, который также может быть привлечен для объяснения перехода от вязкого к хрупкому разрушению под нагрузкой для материалов, которые в обычных условиях ведут себя как вязкий материал. Как видим, вышеупомянутый синергетический эффект может быть вызван в некоторых практических случаях, и знание микроструктуры материала приобретает все большее и большее значение, особенно в материалах С-РС. Нет никакого сомнения в том, что знание этих параметров материала, поведения и модели

могут вести к более осознанному и рациональному подбору материалов при расчете, проектировании и конструировании.

Подобные эффекты можно разглядеть и в электрическом поведении композитных материалов. Эти материалы сопоставимы с полимерными бетонами с точки зрения микроструктуры и представляют собой высоконаполненные композиты, используемые в сетях высоких напряжений. Электрическое поведение этих электроизоляторов сильно зависит от их микроструктуры, и ее изменение вызывается, в частности, старением при эксплуатации. Синергетический эффект может быть выявлен при наложении эффекта частичного электрического разряда в газообразных контактных зонах между фазами: комбинированный (тепловой, механический, электрический...) эффект старения может проявляться, безусловно, в местных потерях внутреннего сцепления (контакта) между фазами с образованием тонких щелей между ними. Местный электрический разряд может иметь место в соответствии с законом Pashen'a; со временем это может привести к явлению электрического усталостного разрушения и, как следствие, к повреждению электроизоляции за счет постоянных и увеличивающихся частичных разрядов. Эти принципы позволяют создать измерительную систему для оценки поведения и старения композитных материалов, применяемых для изоляторов высокого напряжения, и тем самым оказать практическую помощь в управлении национальными электрическими сетями.

Прогресс знаний в области взаимосвязи "композиция — структура — свойства" может быть перенесен на область С-РС. С одной стороны, это может позволить создать модель материала и, с другой стороны, — исследовать новые свойства композитов применительно к их практическому поведению в эксплуатации с точки зрения безопасности, здоровья, создания новых микроструктур и т.п.

В этом свете весьма полезными могут оказаться концепции и методы детерминистической теории хаоса для создания новых тех-

нологий и разработок. Целью будущих исследований С–РС должно явиться уточнение спецификаций к материалу таким образом, чтобы “композиционный аттрактор” — набор всех возможных состояний материала — всегда соответствовал техническим требованиям. Более того, фрактальная геометрия, как производная теория хаоса, также может быть полезной при разработке модели материала. В зависимости “компоненты — микроструктура — свойства” обычно главную трудность представляет количественное описание микроструктуры. Весьма вероятно, что фактические размеры могут оказаться подходящим решением. В описании массопереноса в

данной композиции С–РС, так же, как и в процессе отверждения, весьма полезной окажется и теория перколяции (фильтрации), близкая к концепции теории хаоса.

Полезные открытия в смежных дисциплинах также могут оказать влияние на развитие С–РС. Некоторые из них следует упомянуть: термодинамика неравновесных состояний и термодинамика необратимых процессов достигли определенного прогресса в прогнозировании и обеспечении долговечности С–РС. Много идей может быть почерпнуто из применения теории “гомеостазиса”, означающего управление организма внутренними условиями, к инженерным

проблемам. Гомеостазис сохраняет свойства неизменными, несмотря на изменение внешних условий в определенных границах. С–РС с такого рода саморегулированием в условиях переменчивых внешних химических, механических или других физических нагрузок может представлять значительную ценность.

Заканчивая данный доклад, хотелось бы сделать более общее заключение: будущее С–РС лежит не только в технологии, но и в способности управлять ею, помня знаменитое изречение Вергилия: “Felix qui potuit rerum cognoscere causas” (“Будущее подчиняется от важному”).

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НИИЖБ

ЭКОНОМИКА ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

Государственным унитарным предприятием “Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона” — ГУП “НИИЖБ” разработаны “Методические рекомендации по определению экономической эффективности защиты от коррозии в строительстве” (МДС 80.1–99).

МЕТОДИКА

экономической оценки проектных решений антикоррозионной защиты строительных конструкций предусматривает сравнение совокупных затрат, включая эксплуатационные издержки, приведенные к началу функционирования здания или сооружения, с учетом фактора времени и срока службы строительных объектов.

В составе затрат, осуществляемых до начала эксплуатации зданий и других строительных сооружений, учитываются инвестиции в сопряженные отрасли промышленности или стройиндустрии, изготавливающие и поставляющие строительным организациям материалы и изделия, используемые в сравниваемых вариантах проектных решений. Затраты на возведение сравниваемых конструкций и их защиту от коррозии определяются по действующим сметным нормам и расчетным калькуляциям.

Затраты и издержки при эксплуатации строительных объектов включают в себя затраты на капитальные и текущие ремонты, восстановление защиты от коррозии, а также прямые и косвенные потери от коррозии, которые учитываются за весь срок службы зданий и сооружений. Метод определения экономических потерь от коррозии предусматривает учет потерь из-за возможного простоя основных производственных фондов от коррозии и во время ремонтов строительных конструкций, снижения объема выпуска продукции или ее качества, а также учет возможных потерь из-за сквозной коррозии конструктивных элементов резервуаров, трубопроводов, складов и хранилищ. Учитывается также стоимость возмещения ущерба смежным отраслям и от загрязнения окружающей среды.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Оценка эффективности научных, проектно-конструкторских и технологических разработок (в том числе при проектировании фундаментов и подземных сооружений, подверженных агрессивному воздействию грунтовых вод и промышленных стоков). Техничко-экономические обоснования освоения производства и поставки новых коррозионностойких материалов и изделий, а также внедрения мероприятий по защите от коррозии на отдельных предприятиях, в отраслях и регионах.

Оценка инвестиционных проектов при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте объектов с агрессивной средой, а также зданий и других строительных сооружений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях.

Разработка экономических обоснований программ научно-технического сотрудничества, содержащих разделы, связанные с защитой от коррозии.

Организация и проведение первичного учета потерь от коррозии строительных конструкций зданий и сооружений, а также составление отчетности на действующих предприятиях, в отраслях и регионах.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Реализация МДС производится оптом (на договорной основе) и в розницу (по договорной цене). Контактный тел. 174-76-65.

Предварительная ориентировочная цена: 50 руб. за 1 экз. (без НДС и почтовых расходов). При заказе 20 экз. и более — скидка 20%.

Предварительные заявки принимаются по адресу: Россия, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6 или по телефону (095) 170-52-42.

Поздравляем лауреатов!

Постановлением Правительства Российской Федерации
от 17 марта 1999 г. № 306, г.Москва
“О присуждении премий Правительства Российской Федерации 1998 г.
в области науки и техники”
премий удостоен ряд работников строительной отрасли:

Краснянский Леонид Наумович — первый заместитель руководителя Комплекса перспективного развития города Правительства Москвы;

Дмитриев Александр Николаевич — начальник отдела Управления развития Генплана комплекса перспективного развития города, к.т.н.;

Цепляев Николай Пантелеевич — генеральный директор ОАО ДСК-4 г.Москва;

Александров Евгений Филимонович — генеральный директор ОАО “Кунцевский комбинат ЖБИ-9”;

Макеев Николай Петрович — главный технолог ОАО “Кунцевский КЖБИ-9”;

Плотников Валентин Николаевич — начальник цеха ОАО “Кунцевский КЖБИ-9”;

Степанов Виктор Михайлович — начальник КБ ОАО “Кунцевский КЖБИ-9”;

Требесов Игорь Дмитриевич — заместитель главного инженера Тушинского завода ЖБК ДСК-1 г.Москва;

Граник Валентин Годович — заведующий сектором ЗАО НИПТИ “Стройиндустрия”, к.т.н.;

Ищенко Алевтина Тихоновна — начальник отдела ЗАО НИПТИ “Стройиндустрия”;

Магдеев Усман Хасанович — генеральный директор ЗАО НИПТИ “Стройиндустрия”, проф., д.т.н. чл.-корр.РААСН;

Мадатян Сергей Ашотович — заведующий отделом НИИЖБ, проф., д.т.н., заслуженный строитель РФ;

Тихонов Игорь Николаевич — ведущий научный сотрудник НИИЖБ, к.т.н. — *за работу “Новая универсальная технология предварительно напряженных железобетонных конструкций (экология производства, экономия ресурсов)”*.

Прокофьева Валентина Васильевна — Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет, профессор кафедры строительных материалов, д.т.н., руководитель работы;

Багаутдинов Загит Вагизович — Открытое акционерное общество “Нефриткерамика”, управляющий;

Бевзенко Леонид Павлович — Открытое акционерное общество “Нефриткерамика”, заместитель директора;

Боженков Петр Иванович — Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет, профессор кафедры строительных материалов, д.т.н.;

Денисов Геннадий Алексеевич — Акционерное общество Научно-производственная и инвестиционная ассоциация “Стройпрогресс”, генеральный директор, д.т.н.;

Качер Борис Геннадьевич — Открытое акционерное общество “Нефриткерамика”, директор;

Кемпи Елена Григорьевна — Испытательный центр, Товарищество с ограниченной ответственностью “Акцепт”, технический директор;

Кокосадзе Элгуджа Леванович — Открытое акционерное общество “Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию организации энергетического строительства “Оргэнергострой”, генеральный директор, к.т.н.

Поспелов Виктор Павлович — Открытое акционерное общество “Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию организации энергетического строительства “Оргэнергострой”, заведующий лабораторией, к.т.н.;

Хренов Владимир Иванович — Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет, заведующий кафедрой химии, к.т.н., доцент — *за работу “Разработка и внедрение ресурсосберегающих экологически чистых технологий производства строительных материалов на основе техногенного сырья с высоким содержанием силикатов магния”*.

Поздравляем юбиляра!

2 апреля исполнилось 80 лет со дня рождения и 55 лет научной, педагогической, инженерной и общественной деятельности видного российского ученого, доктора технических наук, профессора, почетного члена Российской Академии архитектуры и строительных наук, лауреата премии Правительства России **Сергея Владимировича Александровского**.

Профессиональный путь С.В.Александровского начинался в Новосибирском инженерно-строительном институте, который он с отличием окончил, и в аспирантуре Московского инженерно-строительного института. Здесь он провел свои первые научные исследования, связанные с теорией оболочек. В этой области им разработаны методы расчета гладких тонкостенных оболочек вращения, основанные на теории функций комплексной переменной, и вариационные методы нелинейной теории устойчивости ребристых цилиндрических оболочек.

Выдающийся вклад юбиляр внес в теорию ползучести бетона, который позволил ему занять достойное место среди признанных лидеров отечественной строительной науки. В области прикладной теории ползучести им доказана применимость теорем Н.Х.Арутюняна при граничных условиях, заданных в перемещениях или являющихся смешанными, и, наоборот, их неприменимость в случае упруго-податливых связей на контуре тела. Предложены новые эффективные ядра интегральных уравнений ползучести, позволяющие найти их резольвенту в замкнутой форме и тем самым свести решение сложных задач теории ползучести к квадратурам. Разработана классификация современных вариантов теории упруго-ползучего тела и предложены эффективные разновидности линейной и нелинейной теорий с соответствующими ядрами ползучести. Эффективность предложенных моделей ползучести доказана экспериментально в ряде отечественных и зарубежных исследований. Результаты этих исследований, а также новые методы расчета строительных конструкций на изменение температуры и влажности составили содержание популярной монографии С.В.Александровского, которая выдержала два издания и стала настольной книгой для нескольких поколений ученых.

Юбиляр известен и как крупный специалист в области строительной физики. Им предложен метод решения общей задачи теплопроводности с распределенным источником тепла, уточнена физическая модель фазовых превращений влаги в капиллярно-пористых материалах. С учетом результатов этих исследований и данных натурных наблюдений разработаны теория и методы оценки и прогнозирования долговечности ограждающих конструкций. В области новых методов экспериментальных исследований под его научным руководством разработаны эффективные методы голографической интерферометрии, которые с большим экономическим эффектом были использованы для контроля качества бетона при строительстве Саяно-Шушенской ГЭС и на ряде других ответственных объектов. В течение ряда лет он осуществлял руководство научно-исследовательскими и проектными работами по реконструкции объектов массовой жилой застройки в районе Западно-Сибирской железной дороги.

В последние годы С.В.Александровский интенсивно развивает новое важное направления прикладной теории ползучести — теорию термползучести наследственно-стареющих сред, учитывающую влияние повышенных температур на их физические свойства. Им опубликовано свыше 160 научных работ, среди которых несколько монографий и методических рекомендаций, 10 патентов и 6 медалей ВДНХ, подготовлено 20 кандидатов технических наук, он является членом двух специализированных советов по защите докторских диссертаций.

С.В.Александровский — участник Великой Отечественной войны, был тяжело ранен на фронте. Награжден Орденом Отечественной войны I степени и многими медалями. Дважды избирался депутатом Моссовета.

Коллектив НИИЖБ и редакция журнала "Бетон и железобетон" сердечно поздравляют Сергея Владимировича Александровского с замечательным юбилеем, желают ему крепкого здоровья, активного творческого долголетия и дальнейших успехов в научной, педагогической и общественной деятельности.

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.Кормилицин, К.В.Михайлов, В.А.Рахманов, И.Ф.Руденко, Р.Л.Серых (главный редактор), В.П.Сизов, В.Р.Фаликман, Ю.Г.Хаютин, А.А.Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н.Щербаков

Технический редактор Н.Е.ЦВЕТКОВА

Подписано в печать 26.05.99. Формат 60х88¹/₈. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная. Усл.печ.л. 4,0. Уч.-изд.л. 5,2. Заказ № 476

Адрес редакции:

Москва, Георгиевский пер., д.1, строение 3, 3-й этаж
Почтовый адрес редакции: 103031, Москва, ул.Рождественка, д.11
Тел. 292-6205

Отпечатано в типографии № 9
Комитета РФ по печати
109033, Москва, Волочаевская, д. 40



СКБ "СТРОЙПРИБОР"

представляет автономные микропроцессорные приборы неразрушающего контроля качества, отличающиеся высокой точностью и производительностью контроля, возможностью хранения результатов в памяти



Все приборы сертифицированы и зарегистрированы в Реестре средств измерения РФ. Гарантируется сервисное обслуживание, ремонт и метрологическая аттестация приборов в течение всего срока эксплуатации. **Гарантия 18 месяцев.**

**454126, г. Челябинск,
а/я 1147 т/ф (3512)
33-93-32, 65-64-19**

ИПС-МГ4 — измеритель прочности бетона, раствора, кирпича методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Обеспечивается автоматическая обработка измерений. Диапазон 6...55 МПа.

ЭИН-МГ4 — измеритель напряжений в арматуре ж/б изделий частотным методом по ГОСТ 22362. Обеспечивает автоматический расчет значений корректировки расстояния между временными анкерами и заданного удлинения арматуры. Диапазон напряжений 150–1500 МПа в стержневой, проволоочной и канатной арматуре диаметром 3–32 мм, длиной 3–18 м.

ИПА-МГ4 — измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры в ж/б конструкциях магнитным методом по ГОСТ 22904. Диапазон измерения защитного слоя 3–70 мм при диаметре стержней 3–40 мм.

ИТП-МГ4 — измеритель теплопроводности строительных материалов методами стационарного теплового потока по ГОСТ 7076 и теплового зонда. Диапазон измерения коэффициента теплопроводности 0,04–0,8 Вт/(м°С).

Вибротест — измеритель амплитуды и частоты колебаний виброплощадок. Диапазон частоты 10–100 Гц, амплитуды 0,1–2,5 мм.

ИПЦ-МГ4 — измеритель активности цемента. Диапазон 10–60 МПа.



ИТЦ «КОНТРОС» - НПК СВМ

**ПРЕДЛАГАЮТ ЛАБОРАТОРИЯМ
заводов товарного бетона и сборного железобетона
АРМ БЕТОН - ФАЙНЛАБ под WINDOWS**



Статистическая карта



Журнал прочности



Песок



Кр. заполнитель



Цемент

- ✓ Автоматизированное ведение журналов контроля качества цемента, песка, крупного заполнителя и бетона.
- ✓ Расчет норм расхода цемента.
- ✓ Расчет состава бетона, экспериментальное его уточнение по подвижности, соотношению мелкого и крупного заполнителей, цементно-водному отношению.
- ✓ Выдача карты подбора состава бетона.
- ✓ Статистический анализ прочности бетона.
- ✓ Выдача поставщикам документа о качестве бетона и сводной справки по основным характеристикам используемого бетона.

Дружественный интерфейс позволяет использовать систему без каких-либо навыков работы на компьютере

