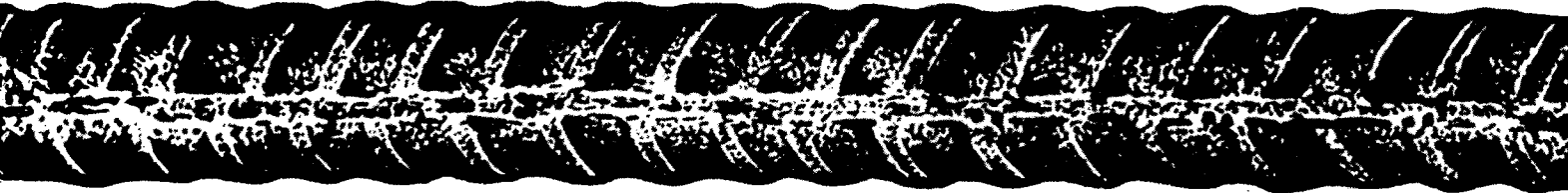
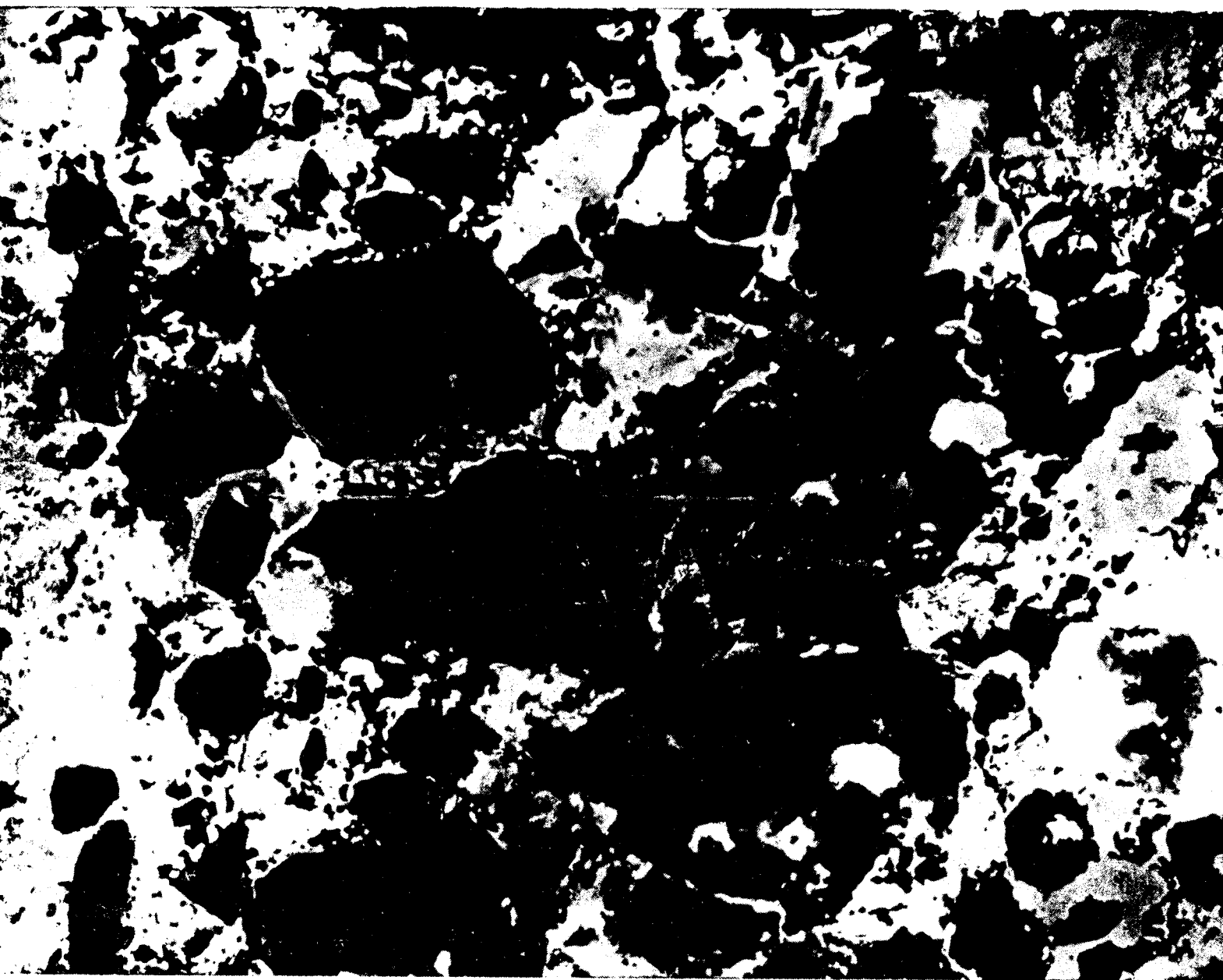


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6

1994



1994, № 6

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН

предлагает для внедрения

ВОДОДИСПЕРСНЫЙ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЙ СОСТАВ-СМАЗКУ "ВПС-СМ"

Предназначен для ухода за бетоном на ранних стадиях твердения и для смазки металлоформ при горизонтальном формовании. Смазку готовят двух-трехкратным разбавлением состава водой.

Наносится распылением на открытую поверхность бетона свежесформованных изделий; распылением, щетками или кистью — на поверхность металлоформ.

Производится на основе побочных продуктов нефтехимии. Нетоксичен и экологически безопасен. Транспортируется в цистернах и бочках.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Условная вязкость при 20°C по ВЗ-4, с	. . . . .	.12—18
pH водной вытяжки	. . . . .	7—9
Расход для ухода за бетоном, г/м ²	. . . . .	250—400
Расход для смазки металлоформ, г/м ²	. . . . .	.25—50
Стабильность, мес	. . . . .	12

ВПС-СМ обеспечивает:

- комплексный уход за железобетоном;
- полную защиту от коррозии;
- замену традиционных методов тепловой обработки бетона;
- сохранение прочности бетона в условиях естественного высыхания;
- снижение затрат на доводку изделий.

Предлагается



производстве сборного железобетона, обеспечивая высокое качество изделий; защищает изделия различными способами тепловой обработки бетона при воздушном и гелиоотоплении; обеспечивает смазку, чистку форм и

демонтирование, техническая смазка ВПС-СМ.

34-11, 306-33-46

СОДЕРЖАНИЕ

Бетоны

- Ушеров-Маршак А.В., Синякин А.Г.* Информационная технология бетона ускоренного твердения..... 2
Гиришель Г.Б., Глазкова С.В., Орбелин С.И., Харченко А.В., Гакен М.В., Салдугей М.М. Свойства бетонов на тонкомолотых многокомпонентных цементах..... 5
Лагойда А.В. О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте..... 7

Арматура и закладные детали

- Шапиро И.С., Судаков Г.Н.* Пучковая анкеровка закладных деталей.. 11

Заводское производство

- Ганжара В.И., Дьяковский В.И., Загурский В.А., Бомбергер И.И., Вебер Т.Ф.* Активное предварительное выдерживание бетона в процессе тепловой обработки..... 13
Грушевский А.Е., Балдин В.П. Технология и оборудование для малоэтажного строительства..... 16

Строительное производство

- Колчеданцев Л.М., Роцупкин Н.П.* Интенсификация бетонных работ в условиях массового строительства 18
Олехнович К.А. Средства изготовления объемных конструкций на объекте 21

Уважаемые подписчики!

Обращаем Ваше внимание на то, что подписка на наш журнал на первое полугодие 1995 г. будет осуществляться по Каталогу Центрального Агентства зарубежных изданий (ЦАЗИ), а не по Каталогу Роспечати, как было ранее.

Каталог ЦАЗИ имеется во всех отделениях связи.

Индекс журнала — прежний (70050)

В помощь проектировщику

- Изотов Ю.Л., Погребняк Н.А.* Учет коэффициента динамичности при расчете монтажных нагрузок..... 23

Теория

- Забегаяв А.В.* К построению общей модели деформирования бетона.... 23
Щербаков Е.Н., Ажидинов С.С. К оценке быстроснатекающей части деформаций ползучести бетона 27

Долговечность

- Несветаев Г.В., Черемисин В.В.* Определение морозостойкости бетона по удельной работе деформирования..... 30

Информация

- Габрусенко В.В.* Конференция по железобетону 31

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1994

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ВОЛОГОДСКАЯ

УДК 666.97.03

А.В. УШЕРОВ-МАРШАК, д-р техн. наук, проф., А.Г. СИНЯКИН,
инж. (Харьковский инженерно-строительный ин-т)

Информационная технология бетона ускоренного твердения

Современная технология бетона располагает широкими возможностями компьютерных систем накопления, использования значительных объемов нормативно-технологической информации и знаний в области бетоноведения. Становление этого направления осуществляется в рамках информационных технологий (ИТ) и экспертных систем (ЭС) [1—4].

ИТ развиваются, как известно, в сфере искусственного интеллекта и представляют собой систему обработки и реализации знаний. Состоит ИТ из трех частей. Содержательная часть включает банки данных (БД), базы знаний (БЗ), модели, методы и пакеты прикладных программ применительно к предметной области, в данном случае к технологии бетона. Функциональная часть предусматривает накопление и переработку информации, базовая — системное обеспечение и аппаратные средства. К ЭС относят комплексы компьютерных программ накопления знаний, моделирования и решения неформализуемых материаловедческих задач.

БД должны включать нормативную информацию, результаты текущего контроля, сведения о свойствах компонентов, полуфабрикатов и готового бетона, технологические требования и критерии оптимизации. БЗ, построенные на гносеологических предпосылках и моделях процессов твердения и службы бетона, содержат интеллектуальные программы для преобразования информации в соответствии с методологией бетоноведения.

К настоящему времени эксплуатируется ряд ИТ и ЭС. Отличительной особенностью одной из удачных, на наш взгляд, ЭС "Долговечный бетон" (DURCON) [2] является ис-

пользование имитационных моделей нарастания прочности, изотермического тепловыделения цемента и его минералов на ранних стадиях гидратации, количественную оценку пористости по данным сканирующей электронной микроскопии. Результатом работы системы являются исследование, проектирование и прогноз свойств материала при изготовлении и эксплуатации изделий и конструкций.

Другой пример — компьютерная интерактивная система технологии бетона (CIMS) предусматривает экспериментальное определение параметров адиабатического тепловыделения, прочности бетона в реальных температурно-влажностных условиях твердения и применение на этой основе имитационных моделей для подбора составов бетона и тепловой режим твердения с учетом развивающихся напряжений и деформаций [3].

Можно констатировать, что прочностные показатели, параметры тепловыделения при твердении цемента и бетона результативно используются при создании баз знаний ИТ. Формирование БЗ для функционирования ИТ невозможно без установления количественных закономерностей твердения и изменения свойств бетона, взаимосвязей между ними. Поиски взаимосвязей неформального плана оказываются недостаточно плодотворными. Как показывает опыт, для ИТ необходимы и достаточны отдельные функциональные зависимости изменения характеристик процессов твердения и свойств бетона во времени.

В основу получения количественной физически обоснованной информации могут быть положены методы термокине-

тического и термодинамического анализа гидратации и структурообразования цемента по данным изотермической и сканирующей калориметрии [5]. Термокинетический анализ позволяет выделять характерные периоды твердения, прогнозировать тепловыделение, оценивать степень превращения, влияние температуры или химических добавок на скорость и полноту гидратации. Термодинамический — базируется на представлениях физико-химии поверхностных явлений, термодинамике фазовых превращений поровой жидкости цементного камня в зависимости от размеров, формы пор и капилляров под действием знакопеременных температур.

С учетом высказанных соображений предлагается структура информационной технологии бетона "ТЕРМОБЕТ" (рис. 1).

БД представляет собой совокупность взаимосвязанных, структурированных в каталоги данных из технического задания и нормативов, характеристик компонентов, параметров бетонной смеси и свойств бетона, включая технологические особенности принятой технологии, а также меню выбора критерия оптимизации. Все фактографические данные в виде количественных характеристик систематизированы и записаны на машинных носителях информации в понятийных картотеках.

В БЗ представлены формализованные методики, правила подбора и корректировки состава бетонов, имитационные модели нарастания прочности бетона, тепловыделения при гидратации цемента, формирования микропористости цементного камня. Важно при этом, что, в отличие от упоминавшихся выше ЭС и ИТ [2, 3], в БЗ

вводится имитационная модель неизотермического тепловыделения цемента для заданных режимов твердения. Аппарат определения неизотермического тепловыделения базируется на методах решения обратных задач нестационарной кинетики. Эти модели необходимы для реализации методики выбора режима по одному или нескольким критериям оптимизации.

Решатель представляет собой программный аппарат извлечения данных и знаний, численную реализацию алгоритма решения задачи.

Лицо, принимающее решение (ЛПР), или пользователь с помощью диалоговой системы общения осуществляет во всех предыдущих подсистемах отбор и передвижение данных, знаний и организацию процесса решения задачи. Такой подход позволяет формулировать и вовлекать в решение поставленной задачи весь арсенал имеющихся данных и знаний. В процессе функционирования ИТ "ТЕРМОБЕТ" решаются две взаимосвязанные задачи: выбор рациональных составов и режимов твердения бетона.

Подбор состава бетона может осуществляться с использованием стандартной методики по "Рекомендациям к ГОСТ 27006—86" или СНиП 5.01.23—83 и нормативной информации из БД. Изготавливается партия образцов данного состава, производится их испытание для нескольких режимов твердения из каталога "Техническое задание". Рациональные температурные режимы располагаются в некоторой плоскости "температура—время", ограниченной условиями твердения, например, возможностями теплового агрегата, составом и заданной распалубочной прочностью бетона. Для бетонов ускоренного твердения нижняя граница плоскости определяется температурой окружающей среды, а верхняя представляет собой ломаную, ограниченную минимальной длительностью предварительного выдерживания (1—2 ч), максимально допустимыми показателями скорости нагрева (20—30 °С/ч) и температурой изотермической выдержки (80—95 °С). Длительность цикла твердения может изменяться в зависимости от технологических особенностей от 6 ч до 7 сут.

Полученные значения прочности вводятся пользователем в

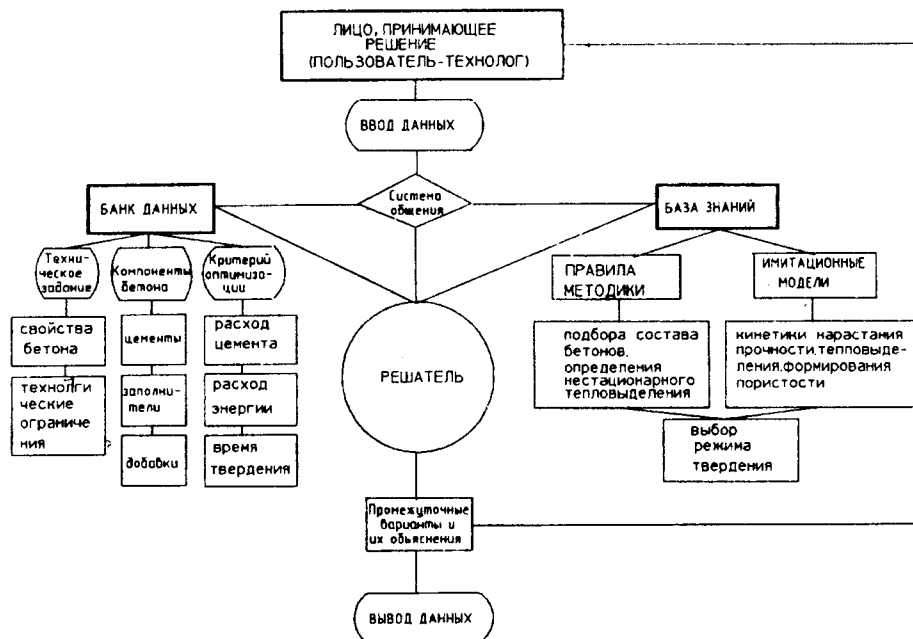


Рис. 1. Структура информационной технологии бетона "Термобет"

компьютер для дальнейшей обработки. Для этих же условий в блоке "Правила и методики" вычисляются параметры неизотермического тепловыделения с использованием результатов калориметрических экспериментов при твердении цемента в неизотермических условиях.

В блоке "Имитационное моделирование" выделяются характерные периоды твердения — индукционный и ускоренный, производится прогноз тепловыделения (рис. 2). Результаты вычислений аппроксимируются, находятся параметры имитационной модели, например, экспоненциального типа. В качестве параметров принимаются время окончания индукционного периода твердения — τ_1 , полное тепловыделение при твердении в определенном временном интервале — Q_n , безразмерные коэффициенты кинетических уравнений — k_q и n_q . Это позволяет решить задачу количественной оценки скорости и полноты тепловыделения при твердении в любом заданном режиме твердения и имеет принципиально важное значение для функционирования ИТ. Аналогичный подход используется для кинетического моделирования нарастания прочности бетона и определения параметров моделей — τ_1 , R_{28} , k_r , n_r .

Затем устанавливается формальная взаимосвязь между параметрами имитационных моде-

лей неизотермического тепловыделения и изменения прочности для конкретных режимов твердения — $F(k_q) = k_r$ и $F(n_q) = n_r$. Далее с помощью вычислительного эксперимента определяются значения прочности бетона для любого температурного режима в требуемый момент времени. Таким образом, появляется возможность обоснования режима твердения для заданных начальных условий и критериев оптимизации. С помощью блока "Выбор режимов" с требуемой точностью определяются температурно-временные параметры режимов твердения. Моделируется тепловыделение для каждого из них с использованием функций $F(k_q) = k_r$ и $F(n_q) = n_r$. Определяется прочность R_i к заданному сроку. После этого сравниваются значения R_i с $R_{\text{треб}}$. Должно быть соблюдено условие $R_i \geq R_{\text{треб}}$. Для выбранных режимов определяется достаточный расход теплоносителя, назначаются режимы с минимальным расходом. Окончательное решение принимает пользователь. После экспериментальной проверки результат вводится в БД. Если заданная прочность не достигнута, выбор режима повторяется.

Рассмотрим конкретный пример реализации ИТ "ТЕРМОБЕТ" для кассетной технологии железобетонных изделий из бетона марки 300. Расход

компонентов на 1 м³ бетона: портландцемент М500 — 430 кг, гранитный щебень — 1220 кг, песок $M_{кр} = 1,1$ — 510 кг, вода — 240 л. Исходя из соображений варьирования длительности отдельных параметров ТВО, в лабораторной пропарочной камере определены три режима твердения при температуре изотермической выдержки 80°C: 1) 1+4+8+6, 2) 2+4+7+6, 3) 3+5+1+9. Образцы бетона испытывались на прочность через 4 ч в течение первых суток, а затем через 3, 7 и 28 сут. Результаты испытаний обрабатывались по ГОСТ 18105—86 и вносились в соответствующий каталог БД.

Для наполнения каталога БД "Цемент" исследована кинетика тепловыделения при гидратации цемента. Изотермические зависимости $Q = f(\tau)$ в интервале 20—80°C приведены на рис. 3, а. Результаты экспериментов свидетельствуют об интенсификации гидратации с ростом температуры. Отмечено уменьшение полноты тепловыделения при 80°C. Модели неизотермического тепловыделения при твердении цемента в бетоне, пропаренном по трем режимам, отражаются зависимостями $Q = f(\tau)$ на рис. 3, б.

В табл. 1 приведены параметры имитационных моделей неизотермического тепловыделения.

Параметры модели нарастания прочности бетона приведены в табл. 2.

Рис. 3, в и табл. 2 отражают результаты имитационного моделирования кинетики нарастания прочности бетона. Взаимосвязь безразмерных параметров имитационных моделей тепловыделения и прочности бетона k_q от k_r и n_q от n_r представлена на рис. 4. Значения функций $F(k_q) = k_r$ и $F(n_q) = n_r$ занесены с БЗ для решения задачи прогноза изменения прочностных показателей в различных температурных условиях.

Назначаются граничные условия: распалубочная прочность 70% от марочной (21 МПа), температура окружающей среды 20°C, максимальная температура изотермической выдержки 80°C, максимальная скорость нагрева бетона 20 °C/ч, продолжительность твердения 20 ч. Из условия обеспечения принятого критерия оптимизации

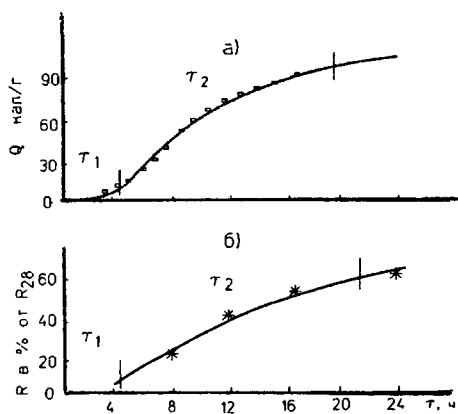


Рис. 2. Модели тепловыделения цемента (а) и нарастания прочности (б) в процессе твердения бетона

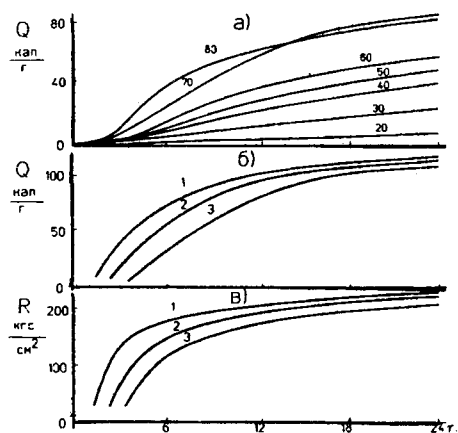


Рис. 3. Изотермическое (а) и неизотермическое (б) тепловыделение при твердении цемента и прочность бетона (в)

1, 2 и 3 — режимы твердения

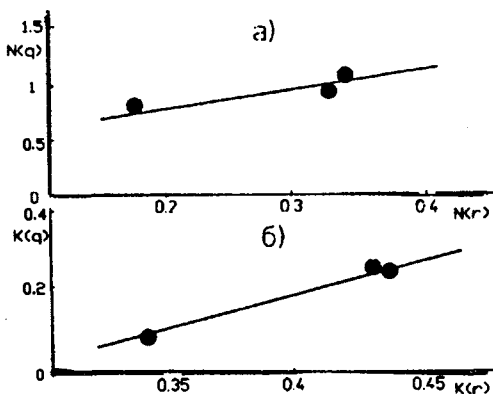


Рис. 4. Взаимосвязь параметров имитационных моделей твердения
а — $F(k_q) = k_r$, б — $F(n_q) = n_r$

(минимальный расход пара) назначается режим твердения 1+4+1+14 с изотермой 60°C.

Таблица 1

	$\tau_1, \text{ч}$	$Q_{п}, \text{кал/г}$	k	n
1	1.18	125	-.278	.823
2	2.15	121	-.247	.904
3	3.16	120	-.099	1.176

Таблица 2

	$\tau_1, \text{ч}$	$R_{28}, \text{МПа}$	k	n
1	1.181	340	-.429	.176
2	2.115	335	-.431	.323
3	3.115	360	-.341	.326

Приведенный пример свидетельствует о возможностях ИТ в оперативном решении сложной задачи обеспечения заданной прочности бетона ускоренного твердения и экономии ресурсов. Аналогичным образом могут решаться задачи для любых вариантов технологии сборного и монолитного бетона. Структура ИТ может и должна быть открытой, т.е. дополняться по мере необходимости конкретными условиями и требованиями с учетом влияния свойств компонентов, производственных и климатических факторов.

Развитие ИТ и ЭС обуславливает целесообразность привлечения разнообразных данных и знаний с целью приложения компьютерного бетоноведения для решения задач современной технологии бетона.

Библиографический список

- Исаев Х.А., Панченко И.П., Преждо Л.Н. Информационные технологии в строительстве. — Грозный, 1993. — 200 с.
- Frohnsdorff G., Clifton J. and so on. Implications of Computer — Based Simulation Models, Expert Systems. Data Bases and Networks for Advancing Cement Research // Ceram. Bull. — 1988. — vol. 67. — N8. — P. 36—41.
- Computer Interactive Manitory Sistem (private report).
- Преждо Л.Н., Бетрахмадов Р.В., Синякин А.Г. и др. Инновационная структура автоматизированной системы "Бетонпластификатор". — Новосибирск, "Известия вузов. Строительство", N4, 1993. — С. 15—21.
- Мчедлов-Петросян О.П., Ушеров-Маршак А.В., Урженко А.М. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. — М.: Стройиздат, 1984. — 224 с.

Г.Б. ГИРШТЕЛЬ, С.В. ГЛАЗКОВА, С.И. ОРБЕЛИН, А.В. ХАРЧЕНКО, кандидаты техн.наук, М.В. ГАКЕН, инж. (НИИСК); М.М. САЛДУГЕЙ, канд.техн.наук, ПО("Киевинжцемент")

Свойства бетонов на тонкомолотых многокомпонентных цементах

Проблема обеспечения строительной индустрии цементом требует поиска новых технологических решений. Увеличение производства вяжущего возможно за счет выпуска тонкомолотых многокомпонентных цементов (ТМЦ) с повышенным содержанием в их составе кремнеземосодержащих добавок (кварцевых песков, шлаков, зол ТЭС и др.).

Одной из эффективных минеральных добавок при производстве ТМЦ является неизбежная горная порода — перлит. Технология производства нового вяжущего на основе перлита разработана ПО "Киевинжцемент". Вяжущее включает цементный клинкер — 60, перлит — 40 и гипс — 3,5% (сверх 100%).

Химический состав портландцемента, ТМЦ и перлита приведен в табл. 1.

Портландцемент и ТМЦ получены на основе каменец-подольского клинкера на помольной установке ПО "Киевинжцемент". Добавка перлита значительно изменяет химический состав вяжущего — содержание SiO_2 увеличивается с 21 до 42%, Al_2O_3 — с 6 до 8%; вместе с тем содержание CaO понижается с 60 до 37%. Активность полученного ТМЦ 52,9 МПа при марке исходного цемента 50 МПа.

Исследованы бетоны на ТМЦ с расходом вяжущего от 200 до 600 $\text{кг}/\text{м}^3$ с добавками-пластификаторами и без них. Работы проводились при участии инженеров П.И. Белика, Л.М. Болотовой, Е.П. Згардан, А.И. Комарова.

"Жизнеспособность" бетонных смесей на ТМЦ несколько ниже, чем бетонов на портландцементе. При одинаковой начальной подвижности бетонной смеси на портландцементе и ТМЦ последние со временем теряют подвижность с большей скоростью, чем бетоны на портландцементе. Пластифицирующие добавки и суперпластификаторы значительно улучшают подвижность бетонной смеси в

начальные сроки (30 и 60 мин), однако через 90 мин подвижность бетонной смеси на ТМЦ значительно снижается (см. рисунк).).

Бетоны на ТМЦ с добавкой перлита продолжают набирать прочность после 28 сут естественного твердения. В возрасте 60 сут прочность составляет 115...120, через 90 сут — 125%.

Влияние режима тепловлажностной обработки на прочность бетона на ТМЦ исследовалось на бетоне с расходом вяжущего 400 $\text{кг}/\text{м}^3$, подвижностью бетонной смеси ОК = 4...6 см. Прочность бетона после ТВО в процентах от прочности бетона естественного твердения в возрасте 28 сут приведена в табл. 2. Для сравнения приведена прочность бетона на портландцементе (ПЦ).

Тепловая обработка действует более эффективно на бетоны на ТМЦ, чем на бетоны на ПЦ. Бетоны на ТМЦ после ТВО набирают до 80% проектной прочности, тогда как бетоны на ПЦ только 67%.

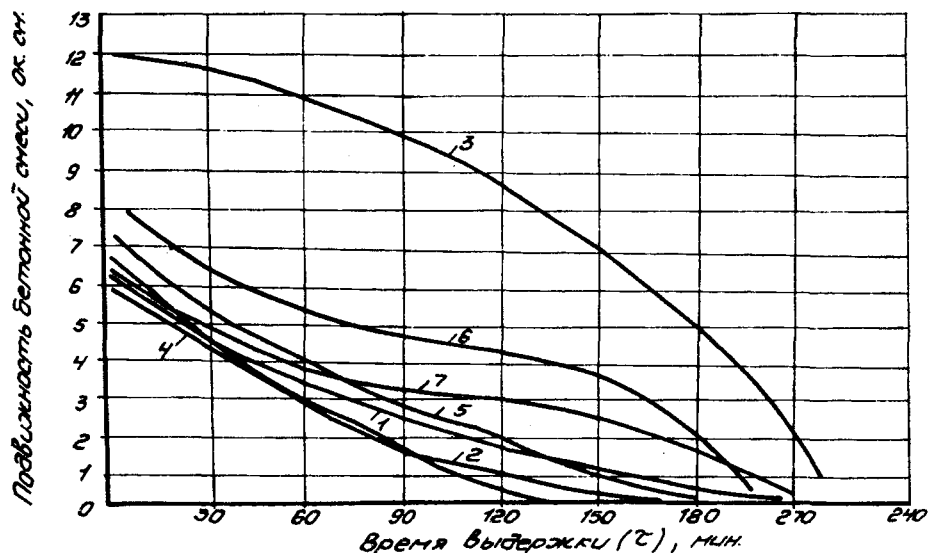
На 28 сут после ТВО бетоны на ТМЦ набирают прочность, равную проектной

(94...108%). Пропаривание бетонов на ПЦ приводит к недобору прочности на 28 сут на 13...26%.

Для бетонов на ТМЦ, полученных на основе портландцементного клинкера и активной минеральной добавки перлита, очевидны тенденции к эффективности высокотемпературных режимов ТВО, активное повышение прочности за счет увеличения градусочасов. Бетоны на ТМЦ с перлитом рекомендуется подвергать ТВО при температуре изотермы не менее 80°C.

Интенсивность набора прочности бетонов на ТМЦ без ПАВ, а также с добавками С-3 и ПФ при ТВО выше, чем бетонов на портландском цементе с теми же добавками.

Исследуемое ТМЦ, состоящее из портландцементного клинкера и активной минеральной добавки — перлита, относится к I группе по эффективности пропаривания в соответствии с ГОСТ 22236-85 "Цементы. Правила приемки". Прочность бетона и деформативные свойства определяли по ГОСТ 10180-78 и 24452-80 на



Изменение подвижности бетонной смеси во времени

1 — цемент портландский бездобавочный; 2 — ТМЦ без пластификатора; 3 — ТМЦ с добавкой С-3 (ТУ 6-14-625-80); 4 — ТМЦ с добавкой ПФ (ТУ 84-1067-85); 5 — ТМЦ с добавкой (С-3+ПФ); 6 — ТМЦ с добавкой "дофен" (ТУ 14-6-188-81); 7 — ТМЦ с добавкой (ЛСТМ-2+ПФ) (ТУ 13-04-600-81)

Таблица 1

Вяжущее	Содержание окислов, %												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	R ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ппп
Портландский цемент	21,32	6,13	4,90	0,13	0,16	0,035	60,76	3,40	0,05	0,55	0,24	1,26	0,83
ТМЦ	42,20	8,02	2,59	0,88	0,13	0,068	37,75	1,21	0,05	1,30	0,54	1,58	3,32
Перлит	72,65	12,35	0,22	1,05	0,06	0,052	1,03	0,10	0,05	4,54	3,81	0,05	3,68

Таблица 2

Номер режима	Режим ГВО, ч	Изо-терма, °С	Бетон без добавки				Бетон с добавкой С-3				Бетон с добавкой ПФ			
			ГВО		ГВО + 28 сут		ГВО		ГВО + 28 сут		ГВО		ГВО + 28 сут	
			ПЦ	ТМЦ	ПЦ	ТМЦ	ПЦ	ТМЦ	ПЦ	ТМЦ	ПЦ	ТМЦ	ПЦ	ТМЦ
I	2+3+6+4	80	67	82	89	108	68	82	95	103	66	71	90	94
II	2+3+4+4	80	54	72	77	100	67	83	83	100	57	63	78	90
III	2+3+8+4	60	63	60	81	87	60	62	80	83	54	55	78	77
IV	2+3+5,3+4	60	53	64	76	94	64	66	84	81	50	54	74	76

Таблица 3

Состав	Вид вяжущего	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг					В/Ц	Объемная плотность, кг/м ³	ОК, см
		вяжущее	песок	щебень	вода	добавка С-3, %			
1	Клинкерный цемент	260	716	1203	189	—	0,73	2328	5
2	То же	370	680	1212	135	—	0,36	2320	2,5
3	ТМЦ	225	850	1200	145	0,8	0,64	2253	6
4	То же	330	754	1200	145	0,8	0,44	2245	6
5	"	430	663	1200	145	0,8	0,34	2524	2

Таблица 4

Состав	R ₁₀		R ₁₅ 28 сут	R _в 28 сут	E _в · 10 ⁻⁴ 28 сут
	1 сут	28 сут			
1	12,8	25,4	24,1	17,9	2,56
2	35,5	55,3	53,3	41,4	3,75
3	9,5	16,2	16,8	11,0	2,07
4	16,8	31,9	31,8	29,9	3,11
5	42,2	62,7	59,8	54,4	4,10

образцах-кубах с ребром 10 см и призмах размером 10x10x40 см.

Составы и характеристики бетонов приведены в табл. 3...5.

Деформации усадки бетонов исследуемых составов не имеют существенных отличий — коли-

чественные отклонения находятся в пределах естественного разброса. Сопоставление деформаций ползучести близких по прочности бетонов свидетельствует о повышенной (в пределах 15...20%) деформативности бетонов на ТМЦ.

Долговечность и эксплуатационные качества бетонов на ТМЦ оценивались по характеристикам прочности, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости, стойкости в агрессивных средах и защитным свойствам бетонов по отношению к арматуре.

Исследованы бетоны на ТМЦ с расходом цемента 225, 330 и 430 кг/м³ (см. табл. 3, составы 3...5), по прочности соответственно классам В12,5; В20 и В45.

Бетоны на ТМЦ класса В12,5 характеризуются как бетоны нормальной проницаемости (W4), класса В20 — пониженной проницаемости (W6), класса В45 — особо низкой проницаемости (W8), что позволяет использовать бетоны класса В12,5 для конструкций в зданиях и сооружениях III класса по степени ответственности, В20 — III и II классов, В45 — III, II и I классов.

Морозостойкость бетонов на ТМЦ выше морозостойкости бетонов на портландцементе.

В связи с уменьшением клинкерной составляющей в бетонах на ТМЦ в сравнении с бетонами на портландцементе длительность защитного действия таких бетонов по отношению к арматуре железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях атмосферных воздействий, понижена. Бетон на ТМЦ класса В12,5 обеспечивает сохранность арматуры не более 10, класса В20 — 20 лет. Только бетон класса В45 (расход клинкера 250 кг/м³) может обеспечить сохранность арматуры на срок до 100 лет.

При использовании в бетонах ТМЦ в количестве 330 кг/м³ и более бетон может быть применен в конструкциях, эксплуатирующихся в условиях воздействия аммоний-сульфат содержащих сред, а также в воде в условиях переменного замораживания и оттаивания. При эксплуатации в условиях воздействия агрессивных газов и жидких сред, содержащих ионы хлора, должен применяться бетон класса В45.

Испытание опытной преднапряженной конструкции (ребристая плита 1,5x12 м серии КП-203/85), изготовленной из бетона с использованием ТМЦ, показали, что в характере ее трещинообразования и деформирования не выявлено качественных отличий от аналогичных конструкций из обычного бетона на основе ПЦ. Опытная плита удовлетворяет требованиям

прочности, жесткости и трещи-
нотстойкости.

Применение ТМЦ снижает себестоимость бетона по сравнению с бетоном на ПЦ на 2,1...5% в зависимости от класса бетона. Наряду с этим уменьшается расход клинкера в бетоне на 40...50%. Из 1 т клинкера можно получить 3,92 м³ бетона марки 200 на ПЦ и 8,7 м³ бетона на ТМЦ, и соответственно бетона марки 600—1,85 и 3,64 м³.

Полученные результаты позволяют рекомендовать ТМЦ с добавкой перлита для приготовления бетонов общего назначения классов В12,5...В45. Такие бетоны рекомендуется использовать в конструкциях с повышенными требованиями по водонепроницаемости и морозостойкости.

Номер состава	Деформации усадки $\varepsilon_{sh} \cdot 10^5$		Деформации ползучести $\varepsilon_c \cdot 10^5$ на 230 сут	Характеристика ползучести $\varphi_t (230, 28)$	Мера ползучести $C(230, 28) \times 10^5 \text{ МПа}^{-1}$
	на 21 сут	на 230 сут			
1	13,4	18,4	58,3	2,77	10,3
2	12,3	19,0	61,8	1,8	4,8
3	16,6	21,9	66,4	4,1	19,8
4	14,3	20,6	68,2	2,52	8,1
5	13,3	19,8	72,1	1,73	4,4

По имеющимся в настоящее время данным, бетоны на ТМЦ не рекомендуются для изготовления преднапряженных изгибаемых железобетонных конструкций. Нецелесообразно также использовать ТМЦ в конструкциях, работающих в агрессивных

по отношению к арматуре средах.

Следует продолжить исследования бетонов на различных видах ТМЦ с применением разных минеральных добавок, варьируя при этом способы изготовления вяжущего.

УДК 666.97.015

А.В. ЛАГОЙДА, д-р техн.наук, проф. (НИИЖБ)

О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте

При замораживании бетона из-за перехода воды в лед пористость его может увеличиваться не более чем на 2%. Поскольку каждый процент уменьшения плотности материала приводит к снижению его прочности на 4—6% [1], то уменьшение плотности на 2% должно привести к снижению прочности бетона на 8...12%. Экспериментально наблюдаемые недоборы прочности после однократного замораживания бетона в раннем возрасте могут превышать указанную величину в несколько раз [2]. Это свидетельствует о той большой роли, которую играет внутренний массоперенос в процессе формирования структуры бетона, в подавляющем большинстве случаев имеющий место при наличии градиента температуры по сечению изделий и конструкций.

Для изучения внутреннего массопереноса образцы размером 10х10х30 см, приготовленные из цементно-песчаных растворов нормальной густоты состава 1:2:0,4 (1) и 1:4:0,7 (2) по массе с добавкой 2% нитрита натрия от массы цемента в деревянных гидроизолированных формах с одной

торцевой стенкой из металла, помещались в камеру с температурой -15°C. Через 1 сут выдерживания по сечению образцов отбирали пробы, на которых весовым методом определяли общее содержание воды. Результаты этих исследований приведены на рис. 1, из которого видно, как перераспределялась вода затвердения в процессе одностороннего охлаждения образцов в зависимости от состава раствора.

Для раствора состава 1 вследствие миграции влаги к охлаждаемой поверхности влажность материала у нее, по

сравнению с исходной, увеличилась на 31,3%. Влажность же раствора состава 2 по сечению образца изменилась незначительно (на 5%). Влагосодержание в центральной части образцов составило соответственно 68,7 и 93,2% влагосодержания материала у охлаждаемой поверхности.

Исследования влияния замораживания на структуру указанных цементно-песчаных растворов показали, что если замораживание не привело к изменению в общем-то рыхлой структуры образца состава 2 в

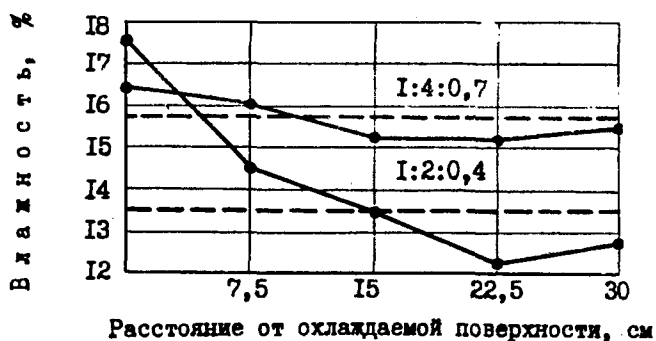


Рис. 1. Изменение влажности в образцах цементно-песчаных растворов после замораживания

— — — исходная; — — — после замораживания

Таблица 1

Состав (цемент:песок:вода) по массе	Режим* выдерживания	Прочность на сжатие, МПа/%	Место отбора пробы	Общая пористость, см ³ /г/%
1:0:0,24	1	53,3/100	Край Центр	0,0559/100 0,0740/100
	2	36,4/68	Край Центр	0,1333/239 0,0869/122
1:4:0,72	1	10,3/100	Край Центр	0,0782/100 0,0759/100
	2	10,7/104	Край Центр	0,0674/86 0,0686/90

*Сутки (°C): 1 – 28(–5); 2 – 1(–30)+27(–5)

Таблица 2

В/Ц	Характеристика бетона		Режим* выдерживания	Прочность на сжатие, МПа/%	Общая пористость, см ³ /г/%
	В, л/м ³				
0,4	180		1	49,5/100	0,0805/100
			2	41,8/84	0,0507/63
0,5	180		1	37,6/100	0,0770/100
			2	32,9/88	0,0638/83
0,6	180		1	27,2/100	0,0813/100
			2	24,4/90	0,0773/95
0,6	210		1	25,6/100	0,0661/100
			2	25,9/101	0,0640/97

*Сутки (°C): 1 – 28(–10)+28(20); 2 – 1(–55)+28(–10)+28(20)

поверхностном слое, то поверхностный слой образца состава 1 по внешнему виду стал близок поверхностному слою образца состава 2. Центральная часть образца состава 1 осталась при этом достаточно плотной.

Методом ртутной порометрии определялась пористость цементного камня и цементно-песчаного раствора состава 1:4:0,72 с добавкой нитрита натрия в количестве 4% массы цемента. Пробы для испытаний отбирали

как из центра образца размером 3х3х3 см, так и из поверхностных слоев. Из полученных данных, представленных в табл. 1, следует, что замораживание цемента, гидратированного в тесте, привело к резкому изменению пористости по сечению образца. Общая пористость периферийных слоев под действием замораживания увеличилась почти в 2,4 раза, в то время как пористость центральной части образца — лишь на 22%. Для цементно-песчаного раствора принятого состава замораживание привело к уменьшению пористости как поверхностных, так и центральных слоев материала.

В табл. 2 представлены результаты испытаний прочности бетонных образцов размером 10х10х10 см и определений общей пористости растворной части бетона с добавкой 6% нитрита натрия, взятой из центра образца. Из полученных данных также следует, что чем меньше водоцементное отношение и водосодержание бетона, тем большее уплотнение его структуры в центральной части имеет место при замораживании.

Таким образом, описанные выше исследования свидетельствуют о том, что замораживание бетона в раннем возрасте приводит к миграции жидкой фазы к поверхностным его слоям. При повышенных водоцементных отношениях бетона миграция влаги способствует некоторому уплотнению в общем-то достаточно рыхлой структуры материала, а при малых водоцементных

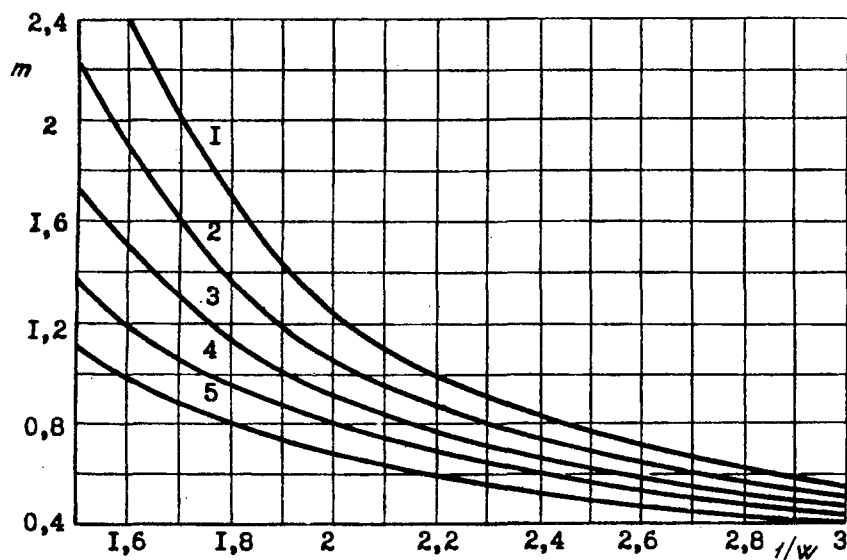


Рис. 2. Значения "структурного" коэффициента $m(S, 1/W)$ при удельной поверхности цемента, см²/г

1 – 3000; 2 – 3200; 3 – 3400; 4 – 3600; 5 – 3800

Таблица 3

Значения B_2 , л/м ³ , при подвижности смеси, см		
0–2	3–8	9–16
0,025.Ц	0,035.Ц	0,045.Ц

Примечание. Ц – расход цемента, кг/м³

Таблица 4

В/Ц	Значения B_3 , л/м ³ , при подвижности смеси, см		
	0–2	3–8	9–16
0,3	3.В ₁	3.В ₁	3.В ₁
0,4	3.В ₁	3.В ₁	2,5.В ₁
0,5	2,5.В ₁	2.В ₁	1,5.В ₁
0,6	1,5.В ₁	1.В ₁	0,5.В ₁

отношениях, наоборот, приводит к получению неоднородного по своей структуре материала. Эта его неоднородность затем и проявляется в качестве повышенных недоборов бетоном прочностями.

Поскольку процесс перемещения жидкой фазы происходит в еще не затвердевшем материале, скорость его достаточно велика. Этим и объясняется то обстоятельство, что прочность бетона, подвергнувшегося замораживанию непосредственно после укладки смеси, практически не зависит от температуры замораживания (в диапазоне от -15 до -45°C), скорости охлаждения до нее (от $1,7$ до 49°C/ч), дозировки и состава противоморозной добавки. Движущей силой этого процесса наиболее вероятным представляется перепад капиллярного потенциала, равный для воды [3]

$$\Delta\psi = -2\Delta G/r', \quad (1)$$

где G — поверхностное натяжение воды, r' — радиус капилляра.

Если перепад капиллярного потенциала из-за относительно большого их радиуса (при $r' > 10^{-7}$ м) не возникает или он мал, то вследствие внешнего массообмена в дальнейшем при твердении в благоприятных температурно-влажностных условиях может даже происходить повышение прочности. Это в свое время наблюдали И.А. Киреев для "тощих" строительных растворов и С.А. Миронов для бетонов низких марок [2]. И наоборот, внутренним массопереносом, усиливающимся с повышением тонкости помола цемента из-за уменьшения значения r' , можно объяснить данные [4] об уменьшении недоборов прочности бетона при применении шлакопортландцемента вместо портландцемента, а тем более — вместо быстротвердеющего портландцемента.

Процесс миграции и перераспределения влаги является главным фактором недобора прочности бетоном, подвергнувшимся замораживанию, только в тех случаях, когда бетон замерзал и полностью оттаивал до начала схватывания цемента в нем. Но он может замерзать после схватывания цемента либо частично затвердевать, находясь в замороженном состоянии, но имея еще какую-то часть жидкой фазы.

Поэтому при замораживании незатвердевшего или частично затвердевшего бетона недоборы его прочности могут быть обусловлены, видимо, следующими факторами:

внешне не проявившейся контракцией (стяжением), обусловленной уменьшением абсолютного объема реагирующей системы при переходе ее из неустойчивого состояния (цемент+вода) в устойчивое (гидратные продукты);

миграцией и перераспределением влаги при охлаждении бетона;

увеличением объема жидкой фазы при переходе воды в лед;

увеличением объема и появлением напряжений в процессе оттаивания бетона вследствие того, что температурный коэффициент расширения (КТР) льда значительно превышает КТР скелета материала, и увеличение объема льда при нагревании опережает общее термическое расширение скелета бетона.

Влияние рассмотренных выше факторов, приводящих к недобору прочности бетоном, подвергнувшимся замораживанию в раннем возрасте, можно выразить через объемные изменения материала в процессе замораживания и оттаивания. Тогда представляется возможным учесть их количественно, если рассмотреть прочность бетона с позиций прочности контактов, образующихся в нем между зернами цемента.

Согласно физико-химической теории [5, 6], прочность дисперсных систем определяется из выражения

$$R = P \cdot 1/(4r^2n^2), \quad (2)$$

где P — прочность единичного контакта; $1/(4r^2n^2)$ — число контактов в единице сечения; r — средний радиус частиц дисперсной фазы; n — параметр структуры.

Прочность единичного контакта может быть определена по формуле

$$P = A^* \cdot r/(12l^2), \quad (3)$$

где A^* — сложная константа Гамакера; l — расстояние между частицами.

Тогда, если сравнивать между собой две дисперсные системы, отличающиеся между собой только объемной долей дисперсной фазы, например цемента, то из выражений (2, 3) можно записать

$$R/R_x = a l_x^2/l^2, \quad (4)$$

где a — структурный коэффициент, учитывающий различные числа контактов частиц в сравниваемых системах.

Можно показать, что приняв для определения средних расстояний l и l_x известную модель [7], после дифференцирования окончательно получим

$$R_x = R[1 + m(S, 1/W)x \cdot x(1/W_x - 1/W)], \quad (5)$$

где W и W_x — водоцементные отношения сравниваемых бетонов; $m(S, 1/W)$ — "структурный" коэффициент, зависящий от цементоводного отношения бетона $1/W$ и тонкости помола цемента S (значения этого коэффициента, полученные из экспериментальных данных, приведены на рис. 2).

Для количественного обоснования нарушений структуры бетона при замораживании его в раннем возрасте водосодержание его B_0 принималось равным

$$B_0 = B + B_1 + B_2 + B_3 + B_4, \quad (6)$$

где B — водосодержание бетона, $л/м^3$; B_1 — увеличение объема жидкой фазы бетона при переходе воды в лед, $л/м^3$; B_2, B_3 и B_4 — "кажущиеся" увеличения объема жидкой фазы бетона за счет внешне не проявившейся контракции, миграции влаги и формирования неоднородной структуры бетона, различия КТР льда и скелета бетона при оттаивании соответственно, $л/м^3$.

Величину B_1 определяли по формуле

$$B_1 = 0,01 \cdot B(V - 100), \quad (7)$$

где B — водосодержание бетона, $л/м^3$; V — увеличение объема жидкой фазы бетона, рассчитываемое в зависимости от температуры замораживания по формулам:

$$V_1 = (100 \rho_n) / (A_k \rho_k) \times [1,0906 \rho_k (1 + \beta t) \times (A_k - A_n) + A_n], \quad (8)$$

$$V_2 = (\rho_n / \rho_k^*) [1,0906 \rho_k^* \times (1 + \beta t) (100 - A_n - (A_n M_{H_2O} \cdot \rho') / M_c) + A_n (1 + (M_{H_2O} \cdot \rho' / M_c))], \quad (9)$$

где ρ_n, ρ_k, ρ_k^* — плотность раствора затворения, раствора при температуре t и кристаллогидрата соответственно, $г/см^3$; A_n, A_k — концентрация раствора затворения и раствора при температуре t соответ-

ственно, %; β — коэффициент объемного расширения льда, град.⁻¹; t — температура, °С; M_{H_2O} , M_c — молекулярная масса воды и растворенного вещества, соответственно, г; n' — количество молекул воды, входящих в состав криогидрата.

Значения B_2 и B_3 по известным сведениям о контракции цемента [8] и на основе представлений автора настоящей статьи приняты согласно данным табл. 3 и табл. 4. Из-за отсутствия данных автор не смог предложить какие-либо значения для поправки B_4 .

В табл. 5 приведены характеристики бетона, условия выдерживания образцов, значения поправок, экспериментальные (R_3) и рассчитанные по формуле (5) значения прочности (R_p) для различных случаев замораживания, когда в расчете необходимо было использовать от одной до трех рассмотренных выше поправок.

В опытах 1...12 нарушения структуры бетона полагали обусловленными перераспределением влаги в процессе замораживания; так как бетон после оттаивания был в пластичном состоянии, то расширение структуры за счет образовавшегося льда восстанавливалось силой тяжести; схватывание цемента происходило, когда бетон находился в пластичном состоянии, что исключало возможность "нарушения" его структуры за счет внешне не проявившейся контракции.

В опытах 13...18 необходимо было учесть все три поправки, поскольку бетон, замороженный сразу же после укладки и уплотнения смеси, благодаря добавке нитрита натрия частично затвердел к моменту оттаивания.

В опытах 19...24 цемент схватился в период предварительного выдерживания, что исключало необходимость учета "нарушений" структуры за счет внешне не проявившейся контракции. Однако в расчетах концентрации раствора, а также V_1 и V_2 учитывалось связывание воды в размере 8, 10 и 12% массы цемента в бетонах с V/C соответственно 0,3; 0,375 и 0,45 [9], т.е. в расчетах принималось 99 вместо 135 л/м³.

Как видно из данных табл. 5, расчетная прочность отличается от экспериментальных ее значений не более чем на 15%. Это позволяет считать достаточно достоверным обоснование механизма нарушения структуры бетона, подвергающегося замораживанию в ран-

№ п.п.	Подвижность смеси, см	Расход цемента, кг/м ³	Водо-содержание, л/м ³	Концентрация раствора, %	Увеличение объема раствора при затверждении, %	Величина поправки, л/м ³			Прочность образцов, твердых без замораживания, МПа	Прочность образцов, подвергавшихся замораживанию		
						B_1	B_2	B_3		$R_{э'}$, МПа	$R_{p'}$, МПа	$R_{p'}/R_{э'}$, %
1	1	375	150	9,09	8,04	—	—	36,18	59,2	45,9	44,2	96
2	3	450	180	9,09	8,04	—	—	43,42	58,0	44,2	43,3	98
3	16	525	210	9,09	8,04	—	—	42,21	53,0	42,6	41,4	97
4	2	300	150	7,41	8,18	—	—	30,68	41,9	33,0	31,9	97
5	4	360	180	7,41	8,18	—	—	29,45	39,9	32,8	32,0	98
6	18	420	210	7,41	8,18	—	—	25,77	36,0	32,0	30,5	95
7	1	250	150	6,25	8,22	—	—	18,50	30,6	26,5	25,6	97
8	4	300	180	6,25	8,22	—	—	14,80	27,4	25,0	24,3	97
9	19	350	210	6,25	8,22	—	—	8,63	24,7	24,4	23,3	96
10	0	300	150	10,71	5,37	—	—	20,14	49,6	44,2	41,4	94
11	3	360	180	10,71	5,37	—	—	19,33	44,8	42,2	38,7	92
12	17	420	210	10,71	5,37	—	—	16,92	43,1	39,0	38,6	99
13	2	450	135	6,25	6,45	8,71	11,25	26,13	63,0	46,0	47,6	104
14	3	360	135	5,06	6,79	9,17	9,0	27,51	46,2	35,3	33,4	95
15	2	300	135	4,26	7,12	9,61	7,5	28,83	36,7	25,4	24,0	95
16	2	450	135	6,25	8,31	11,22	11,25	33,66	63,0	39,2	44,0	112
17	3	360	135	5,06	8,32	11,23	9,0	33,69	46,2	30,6	31,1	102
18	2	300	135	4,26	8,32	11,23	7,5	33,69	36,7	19,8	22,3	113
19	2	450	135	8,33	5,66	5,60	—	16,80	63,0	49,4	49,5	100
20	3	360	135	6,78	6,22	6,16	—	18,48	46,2	37,8	34,6	92
21	2	300	135	5,71	6,64	6,57	—	19,71	36,7	29,0	24,9	86
22	2	450	135	8,33	8,19	8,11	—	24,33	63,0	42,7	44,6	104
23	3	360	135	6,78	8,22	8,14	—	24,42	46,2	33,8	31,6	94
24	2	300	135	5,71	8,29	8,21	—	24,63	36,7	26,5	22,6	85

Примечания: 1. В опытах 1...12 использован воскресенский портландцемент марки 500 ($S = 3800 \text{ см}^2/\text{г}$); в опытах 13...24 — марки 400 ($S = 3200 \text{ см}^2/\text{г}$).

2. В опытах 1...9 применена добавка 4% НН от массы цемента, в опытах 10...12 — 6% ННХК, в опытах 13...24 — 2% НН + 0,7% (С-3).

3. Образцы размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, подвергавшиеся замораживанию, выдерживали по режимам, сутки (°С): в опытах 1...12 — 3(-30)+28(-5)+28(20), в опытах 13...15 — 28(-15)+28(20), в опытах 16...18 — 28(-25)+28(20), в опытах 19...21 — 0,25(20)+28(-15)+28(20) и в опытах 22...24 — 0,25(20)+28(-25)+28(20).

нем возрасте. При этом, как следует из полученных данных, независимо от условий при замораживании бетона в раннем возрасте основным фактором, определяющим недобор им прочности, является процесс миграции влаги и формирование неоднородной его структуры. Миграция влаги на 55—100% определяет величину недобора бетоном прочности, в то время как льдообразование и внешне не проявившаяся контракция — на 0...25%.

Библиографический список

1. Стольников В.В. Исследования по гидротехническому бетону. — М.-Л.: Госстрояздат, 1962. — 330 с.
2. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. — М.: Стройиздат, 1975. — 700 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки. — М.:

Энергия, 1968. — 472 с.

4. Бессер Я.Р. Методы зимнего бетонирования. — М.: Стройиздат, 1976. — 167 с.

5. Ребиндер П.А., Шукин Е.Д., Марголис Л.Я. О механической прочности пористых дисперсных тел // Доклады АН СССР. — 1964. — Т. 154. — № 3. — С. 695—698.

6. Шукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 352 с.

7. Лагойда А.В. Расчетно-экспериментальный способ назначения водоцементного отношения бетона // Бетон и железобетон. — 1984. — № 11. — С. 16.

8. Некрасов В.В., Шишог Г.А. Контракция при твердении портландцемента с добавками хлоридов при положительных и отрицательных температурах // Журнал прикладной химии. — 1958. — Т. 31. — Вып. 10. — С. 1460—1466.

9. Грин К.Т. Реакции гидратации портландцемента на ранних стадиях // Четвертый международный конгресс по химии цемента. — М., 1964. — С. 275—303.

УДК 691.8

И.С. ШАПИРО, Г.Н. СУДАКОВ, кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

Пучковая анкеровка закладных деталей

Снижение металлоемкости сварных закладных деталей железобетонных конструкций определяет не только уменьшение потребления стали для их производства, но также обеспечивает при этом снижение затрат, расхода сварочных материалов и энергопотребления [1, 2]. Однако эти ранее выполненные работы были ориентированы на совершенствование закладных деталей с одиночными анкерами.

Дальнейший комплекс работ позволил НИИЖБу предложить так называемую пучковую анкеровку закладных деталей, основанную на том, что каждый анкер такой детали выполняют в виде нескольких стержней, собранных в один пучок, который соединяют с плоским элементом посредством таврового или нахлесточного сварного соединения. При этом такой пучковый анкер эквивалентен по сечению заменяемому так называемому одиночному анкеру, выполняемому из одного отрезка арматурного стержня.

Выполнение пучкового анкера из 2...4 стержней меньшего диаметра позволяет снизить требуемую длину заделки анкера в бетоне за счет улучшения его сцепления. Это обусловлено тем, что пучковый анкер имеет более развитую поверхность контакта с бетоном (больший суммарный периметр по отношению к периметру одиночного анкера равного сечения). Данное обстоятельство, в свою очередь, способствует снижению металлоемкости закладных деталей.

Реализация пучковой анкерки в закладных деталях с диаметром анкера более 14 мм позволяет также снизить их

металлоемкость и обеспечить возможность их изготовления с помощью такого высокопроизводительного технологического процесса, как сварка под флюсом. Внешний вид тавровых сварных соединений, полученных при сварке под флюсом пучка арматуры с плоским металлопрокатом, приведен на рис. 1.

Возможность формирования при этом соединения нескольких арматурных стержней с пластиной за один цикл горения дуги дает возможность выполнения процесса при меньшей мощности свароч-

ного трансформатора. Так, например, широко используемый для сварки под флюсом сварочный трансформатор марки ТДФЖ-1002-УЗ обеспечивает приварку одиночных анкеров диаметром не более 14 мм. В то же время в случае пучковых анкеров такой трансформатор позволяет сваривать их с площадью поперечного сечения, равновеликой соответствующему значению для одиночного анкера диаметром 20 мм.

Определение прочности сварных соединений при пучковой анкерке [3], выполненной сваркой под флюсом, показало, что она всегда повышается при уменьшении толщины плоского элемента (по сравнению с соответствующим значением для одиночного анкера).

Обеспечение в тавровом сварном соединении пучка арматуры с пластиной их неразъемной связи через общий для всех отрезков арматуры данного пучка венчик наплавленного металла (см. рис. 1) способствует также возрастанию площади пластины, включающейся в работу при действии нормально ориентированного к пластине усилия, передаваемого анкером. Данное обстоятельство, в свою очередь, допускает возможность уменьшения в ряде случаев толщины плоского элемента закладной детали, определяемой исходя из нормируемых значений минимального отношения толщины плоского элемента сортового проката к диаметру стержня [4]. При этом минимально допустимое значение толщины плоского элемента, используемого при пучковом анкерке закладной детали, определяется как $S' = S/\sqrt{n}$, где S — минимально допустимая толщина плоского элемента закладной детали для одиночного анкера диаметром d_n , принимаемая в соответствии с ГОСТ 14098—91.

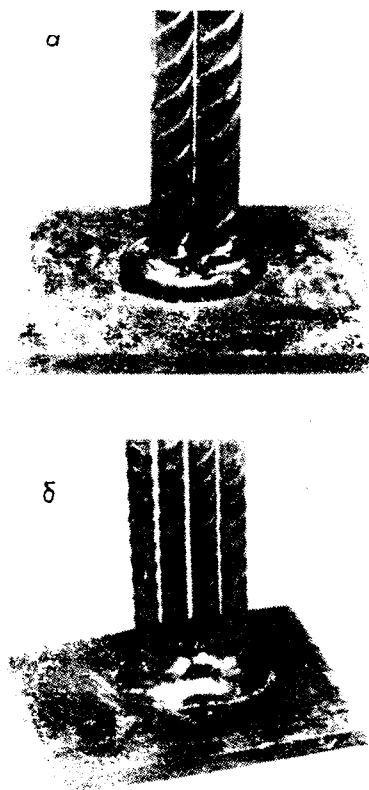


Рис. 1. Внешний вид тавровых сварных соединений при пучковой анкерке при различном числе арматурных элементов (n)

a — $n = 2$; b — $n = 4$

*Решения о выдаче патентов Российской Федерации от 29.04.93 по заявке N 5042045/33 и от 20.01.94 по заявке N 93-031620/33.

Чем большее число стержней использовано в пучке, тем существеннее снижение металлоемкости в пучковой анкеровке закладных деталей. При этом возрастает площадь поверхности арматуры, сцепляемой с бетоном, и увеличивается площадь поверхности плоского элемента, по которой перемещается дуга при оплавлении арматурных стержней пучкового анкера. Если первый из вышеуказанных факторов способствует экономии арматуры по сравнению с соответствующим ее потреблением для одиночного анкера, то благодаря второму фактору гарантируется отсутствие прожога плоского элемента уменьшенной толщины. Последовательное перемещение дуги в процессе ее горения на арматурных стержнях пучка предотвращает локальный перегрев плоского элемента закладной детали, который характерен при использовании одиночного анкера. Самопроизвольное перемещение дуги по арматурным элементам пучка в процессе ее горения происходит за счет шунтирования сварочного тока через слой жидкого электропроводного шлака, окружающего дугу.

Возможное уменьшение потребления металла при пучковой анкеровке закладных деталей, в свою очередь, обуславливает снижение трудозатрат и энергопотребления. Следует, однако, подчеркнуть, что использование в пучке более четырех анкеров нерационально из-за технологических неудобств, связанных с установкой такого пучка в зажиме устройства для сварки под флюсом.

Важным режимным параметром процесса является так называемое "расстояние в свету" между арматурными элементами пучка, которое может изменять свою величину от 0 до $0,5d_n$, где d_n — диаметр арматурного элемента, входящего в данный пучок.

При решении задачи расчета сцепления анкеров с бетоном, которая ставила целью установление различия между одиночным и пучковым анкером, был использован расчетный аппарат, ранее разработанный в НИИЖБ [5]. При этом математическая модель системы "одиночный арматурный стержень — периодического профиля — контактный слой — внешняя бетонная среда" была соответствующим образом переработана для случая групповой компонов-

ки арматурных элементов, заанкериваемых в бетоне. Программа расчета была написана на языке "ТурбоПаскаль" и отлажена на ПЭВМ РС/АТ ИВМ.

Данная методика расчета сцепления одиночных и пучковых анкеров с бетоном включает в себя учет неупругой работы бетона контактной зоны, внутреннее реальное образование и развитие разного рода контактных радиальных и конических трещин, усадочные деформации и другие факторы. Методика обеспечивает возможность определения прямым образом основных характеристик сцепления арматуры с бетоном и прогнозирования эффективности анкеровки того или иного вида анкерных элементов. При этом обеспечивается возможность определения нагрузки, соответствующей выдергиванию одиночного или пучкового анкера заданной геометрии из бетона или соответствующей длины их заделки в бетоне для заданного уровня разрушающей нагрузки.

В качестве сравниваемых объектов для одиночного анкера была принята арматура периодического профиля диаметром 14 мм ($1\phi 14$), в то время как пучковый анкер был выполнен из трех стержней диаметром 8 мм ($3\phi 8$). При вышеуказанных соотношениях между диаметрами одиночного и пучкового анкера сечения используемых анкеров равновелики (разница 2%).

Математическую модель реализовывали в режиме поэтапного нагружения. Степень этапа приложения нагрузки составляла около 1/20 от предполагаемой разрушающей нагрузки. На каждом этапе нагружения про-

водились многократные итерационные пересчеты всей системы до приведения ее в равновесие. Критерием итерирования служили величины расхождения значения касательных напряжений по контакту арматуры с бетоном для предыдущего и текущего цикла пересчета. Касательные напряжения сравнивались как для каждого из разностных участков по длине стержня, так и по их совокупному суммарному расхождению.

Расчетом, кроме значений деформаций и напряжений в элементах модели для всех этапов нагружений, определяли главный критерий разрушения — нагрузку, соответствующую выдергиванию анкера из бетона, или критическую величину его смещения относительно бетона, равную 3 мм (со стороны загружаемого сечения анкера).

На рис. 2 приведены результаты расчетов для вышеуказанных вариантов выполнения анкеров, а также для одиночного анкера диаметром 16 мм при различных значениях длины заделки ($l_{ан} = 160$ и 220 мм). На основании полученных результатов можно отметить, что прочность сцепления с бетоном пучкового анкера ($3\phi 8$) на 32% выше соответствующего значения для одиночного анкера ($1\phi 14$) равновеликого сечения, что соответствует значениям активной нагрузки $P_{ul}^0 = 140$ кН и 106 кН при равной длине заделки в бетоне ($l_{ан} = 220$ мм).

Расчеты также показывают, что для обеспечения равной прочности сцепления (усилие выдергивания из бетона), в данном слу-

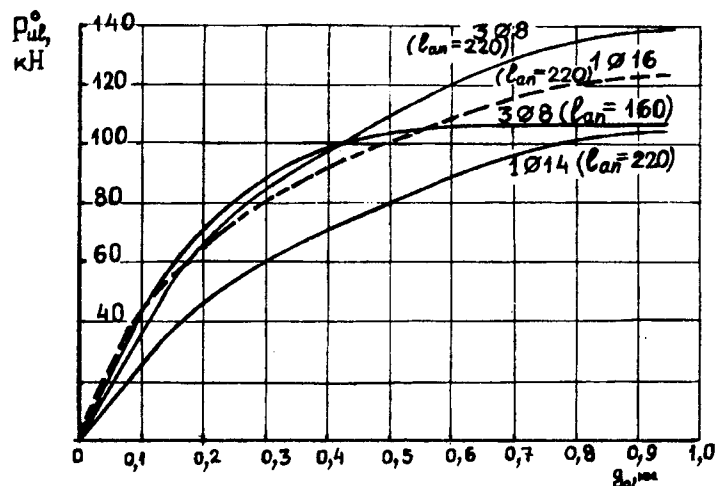


Рис. 2. Расчетные значения смещения граничного с пластиной участка анкера в бетоне (g_0) сварных закладных деталей в зависимости от активной нагрузки (P_0) при различной анкеровке

чае равной 106 кН, требуется иметь заделку в бетоне 175 мм для одиночного анкера (1o14) и 126 мм для пучкового (3o8). Реализация пучковой анкеровки закладных деталей обуславливает уменьшение примерно на 39% требуемой длины заделки. При замене одиночного анкера не тремя, а двумя анкерами идентичной суммарной площади сечения (например, 2o10) эта разница составляет 20...25% в зависимости от диаметра стержня и класса прочности арматурной стали.

Как видно из приведенных данных, прочность сцепления пучкового анкера (3o8) оказывается выше не только соответствующего значения для одиночного анкера диаметром 14 мм, но и для аналогичного анкера диаметром 16 мм при одинаковой длине их заделки. Что касается деформативности сцепления, т.е. смещений анкеров относительно бетона, то при фиксированном уровне нагрузки (вблизи диапазона рабочих нагрузок) для одиночного анкера (1o14) она примерно в два раза выше, чем для пучкового анкера (3o8) при одинаковой длине заделки в бетоне.

Все вышеуказанные расчеты проводились для параметров периодического профиля стержневой арматуры, соответствующих

ГОСТ 5781—82. Достоверность полученных данных основана на использовании математической модели сцепления арматуры с бетоном, выполненной в виде соответствующей программы, которая была составлена ранее, и ее сопоставление с большим количеством прямых экспериментальных данных показало, что она с достаточной степенью точности описывает совместную работу стержневой арматуры периодического профиля с бетоном.

ВЫВОДЫ

Предложена и разработана так называемая пучковая анкеровка закладных деталей железобетонных конструкций, основанная на выполнении каждого анкера в виде нескольких арматурных элементов меньшего диаметра. Реализация пучкового анкера в форме 2...4 арматурных стержней обеспечивает одинаковую прочность сцепления арматуры с бетоном при снижении длины их заделки на 20...40% по сравнению с одиночным анкером равновеликого сечения.

Установлено, что при пучковой анкеровке обеспечивается возможность уменьшения толщины плоского элемента сварной закладной детали по сравнению с соответствующим зна-

чением, определяемым ГОСТ 14098—91.

Технико-экономическая эффективность реализации пучковой анкеровки закладных деталей определяется уменьшением объема потребляемых материалов, снижением трудозатрат и энергопотребления.

Библиографический список

1. Шапиро И.С., Фридман А.М., Потапов Н.А. Снижение металлоемкости в сварных закладных изделиях при сварке под флюсом // Бетон и железобетон. — 1991. — № 3. — С. 8—9.
2. Шапиро И.С. Совершенствование сварки под флюсом закладных деталей железобетонных конструкций // Сварочное производство. — 1994. — № 2. — С. 20—23.
3. ГОСТ 10922—90. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматурные и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия.
4. ГОСТ 14098—91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкция и размеры.
5. Карпенко Н.И., Судаков Г.Н., Лейтес Е.С. и др. Моделирование механического взаимодействия арматурного стержня с бетоном, учитывающее напряженно-деформированное состояние контактной зоны. — В кн. "Поведение бетонов и элементов железобетонных конструкций при воздействии различной длительности". — М., НИИЖБ, 1980. — С. 133—156.

ЗАВОДСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 666.97.035.5

В.И. ГАНЖАРА, канд.техн.наук, В.И. ДЬЯКОВСКИЙ, инж. (ЦИСИ);
В.А. ЗАГУРСКИЙ, канд.техн.наук (НИИЖБ). И.И. БОМБЕРГЕР,
директор Целиноградского КСМ, Т.Ф. ВЕБЕР, гл.инженер Ерментауского ЖБИ

Активное предварительное выдерживание бетона в процессе тепловой обработки

Технология тепловой обработки предусматривает предварительное выдерживание бетонных изделий. Данному участку технологического передела посвящены многочисленные работы, основное резюме которых — набор начальной прочности, до-

статочной для восприятия напряжений от теплового воздействия. Развитие напряжений в теле бетона, определяемых температурой тепловой обработки, определено жидкой и газообразной составляющими конструктивной бетонной смеси. И чем

больше их содержание, тем в большей степени физические деструктивные процессы оказывают влияние на качество термобработываемых изделий.

Согласно теории П.А. Ребиндера, механизм гидратационных процессов определяет

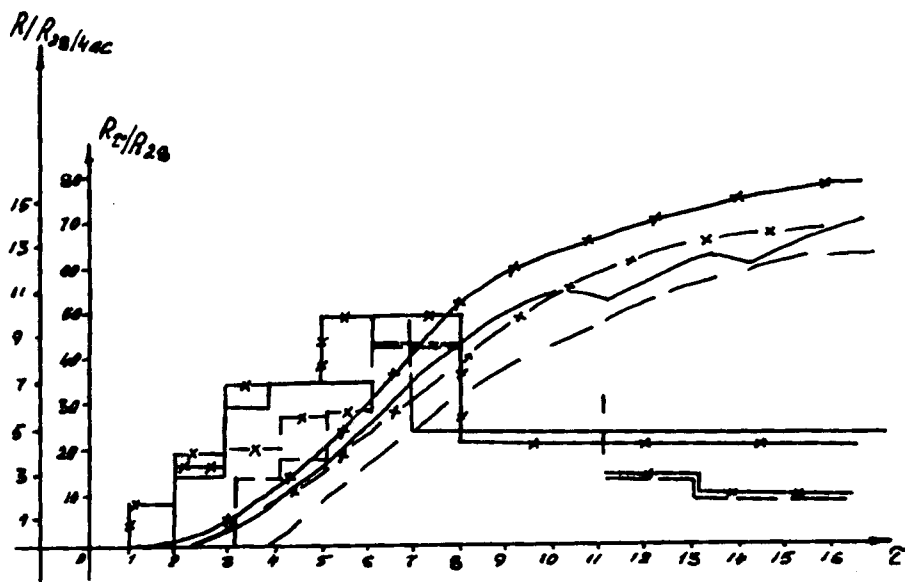


Рис. 1. Кинетика и интенсивность роста прочности бетонных образцов

--- состав № 1; -.-.- состав № 2; —*— предлагаемые условия предварительного выдерживания

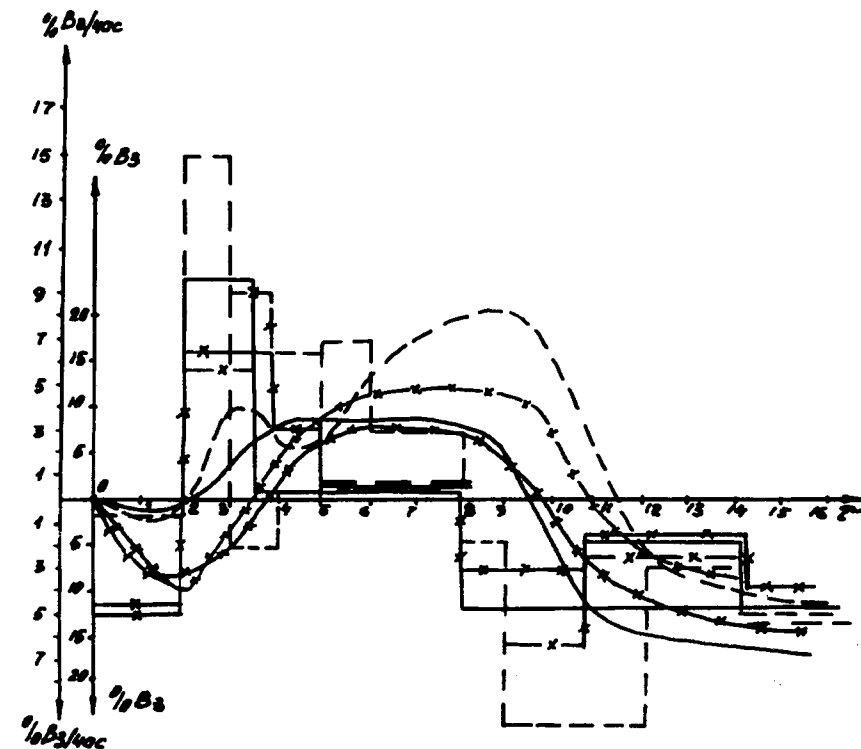


Рис. 2. Кинетика и интенсивность изменения влагосодержания бетонных образцов

--- состав № 1; -.-.- состав № 2; —*— предлагаемые условия предварительного выдерживания

растворение, а также образование коагуляционной и кристаллизационной структур. При этом исходим из классического положения о необратимости протекания процессов гидратации вяжущего, когда нарушения в структуре бетона на отдельных стадиях не залечиваются на последующих стадиях.

Согласно Ле-Шателье, для качественного процесса растворения необходимо достаточное или несколько большее количество воды. Качество цементного клея на стадии коагуляционного структурообразования тем выше, чем меньше содержание жидкой фазы. Кроме того, частички воды расчлениают образу-

ющиеся центры кристаллизации и задерживают дальнейшие гидратационные процессы. Образование качественной кристаллизационной структуры требует максимального влагосодержания, ибо на диффузионной стадии вода является и средой переноса продуктов гидратации. Кроме того, бетоны, образованные в водной среде, имеют большую зону пластичности, что для искусственных каменных материалов является важным в эксплуатационном плане.

Можно допустить, что растворение в основном заканчивается по окончании уплотнения конструктивной бетонной смеси. Образование коагуляционной структуры включает предварительное выдерживание бетонных изделий. Соответственно удаление части воды затворения в период предварительного выдерживания оказывает положительное влияние на качественное структурообразование с позиций химизма процесса. Удаление части воды затворения в период, когда бетонная смесь тиксотропна, создает предпосылки улучшения структурообразования искусственного камня и с позиций физики процесса.

Условия предварительного выдерживания можно подразделить на пассивные, когда уплотненная бетонная смесь определенное время находится при температурно-влажностных условиях формовочного цеха, и активные, когда отформованные изделия подвергают воздействию среды с повышенными термодинамическими параметрами.

Выдерживание бетонных изделий при термодинамических параметрах формовочного цеха обеспечивает в начальном периоде практически изохронные условия схватывания и твердения цементного клея и более качественное структурообразование конструктивной бетонной смеси. Однако гидратационные процессы при пассивных условиях развиваются медленно, и удаление наиболее деструктивного компонента — воды осуществляется в пределах 1...1,5% воды затворения в час.

Активное выдерживание бетонных изделий в замкнутом объеме путем циркуляции горячего воздуха интенсифицирует набор "критической" прочности при сокращении цикла тепловой обработки. Интенсивное движение воздуха вокруг отформованного изделия обеспечивает разность парциальных давлений

вблизи пограничного слоя и в поверхностном слое бетона изделия, что вызывает интенсивное влагоудаление. Однако активное выдерживание способствует обеспечению существенных температурных перепадов в теле термообрабатываемого бетонного изделия; разрывности внутреннего массопереноса; образованию поверхностной корки из бетона.

Бетонные изделия, подвергшиеся таким условиям активного выдерживания, при дальнейшей тепловой обработке любым теплоносителем будут иметь наружные дефекты, так как диффундируемая из внутренних слоев вода затворения прокладывает пути передвижения.

Особенно нежелательны такие условия предварительного выдерживания при конвейерном методе производства бетонных изделий, когда движущаяся тележка передает колебания на бетон изделия и нарушает целостность поверхностных затвердевших слоев.

С целью создания изохронных условий начального структурообразования при максимально возможном удалении части воды затворения предлагаются условия предварительного выдерживания, обеспечивающие интенсивную циркуляцию воздуха, забираемого из цеха, в замкнутом объеме с отформованными изделиями.

Для подтверждения эффективности предлагаемых условий предварительного выдерживания проведен комплекс экспериментов на двух производственных составах из бетонных смесей на плотных и пористых заполнителях (цемент Карагандинского завода).

Бетонные образцы соответствующего состава проходили тепловую обработку в камере ямного типа на Целиноградском КСМ по температурному режиму (2)+3+6+2 при $t_{из} = 85^{\circ}\text{C}$. Условия предварительного выдерживания для первого цикла экспериментов: температура 20...22 $^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч. Для второго цикла экспериментов в период предварительного выдерживания образцы в течение 2 ч находились в закрытой камере в условиях интенсивного обдува (со скоростью 2...3 м/с) воздухом с температурой 20...25 $^{\circ}\text{C}$.

В процессе экспериментов выявляли кинетику изменения влагосодержания бетонных образцов и кинетику роста прочности по методике, разработанной НИИЖ-Бом. Результаты экспериментов по кинетике и интенсивности из-

Состав бетонной смеси	Условия предварительного выдерживания	Временное сопротивление бетона, МПа								Коэффициент дефектности структуры после		
		сжатию				растяжению				тепловой обработки	28 сут твердения	твердения в нормальных условиях
		после тепловой обработки	K_1	после 28 сут твердения	K_2	после тепловой обработки	K_3	после 28 сут твердения	K_4			
1	Пассивные	21,0	0,66	30	0,94	1,11	0,48	1,88	0,82	18,9	15,9	14,0
	Предлагаемые	22,5	0,70	31,8	1,00	1,44	0,65	2,20	0,99	18,3	14,5	—
2	Пассивные	6,0	0,60	10	1,00	0,30	0,33	0,6	0,67	20	16,7	11,2
	Предлагаемые	6,3	0,63	10	1,00	0,32	0,36	0,63	0,70	19,5	15,9	—

менения влагосодержания (рис. 1) показывают, что предлагаемые условия предварительного выдерживания обеспечивают вынос влаги на начальной стадии процессов структурообразования в пределах 8...10%. На дальнейших этапах тепловой обработки паром низкого давления интенсивность изменения влагосодержания меньше, чем при тепловой обработке с пассивными условиями предварительного выдерживания.

На рис. 2 показаны кинетика и интенсивность роста прочности образцов соответствующего состава, из которого видно, что активные условия предварительного выдерживания обеспечили более стабильную кинетику роста прочности бетонов.

Для образцов из тяжелой бетонной смеси предлагаемые условия предварительного выдерживания обеспечивают большую интенсивность нарастания прочности на кинетической стадии процессов структурообразования бетонной смеси и бетона. На диффузионной стадии интенсивность нарастания прочности примерно на одном уровне.

Для образцов из керамзитобетонной смеси удаление части воды затворения также положительно сказалось на росте прочности бетона в начальном периоде структурообразования.

В процессе экспериментов определяли также начальные коэффициенты, характеризующие тепловую обработку.

Результаты испытания образцов-кубов на сжатие и растяжение путем раскола приведены в таблице, анализ данных которой свидетельствует об эффективности предлагаемых условий предварительного выдерживания.

Теоретический анализ и экспериментальные исследования показывают, что удаление части воды затворения на начальной стадии кинетической стадии структурообразования обеспечивает возможность сокращения продолжительности тепловой обработки. Согласно рис. 2, предлагаемые условия предварительного выдерживания на 1 ч удлиняют кинетическую стадию, и в дальнейшем на тепловую обработку не требуется теплоэнергетических затрат. При этом повышается качество термообрабатываемых изделий, поскольку коэффициент дефектности структуры приближается к условиям нормального твердения (см. таблицу).

На заводах сборного железобетона, реализующих тепловую обработку бетонных изделий в периодических камерах ямного типа, предлагаемые условия предварительного выдерживания можно обеспечить путем включения в технологический процесс вентиляционной системы, которая оборудуется на каждом тепловом агрегате периодического действия. Затраты, связанные с включением вентиляционной установки в технологический процесс тепловой обработки, незначительны.

При изготовлении сборного железобетона на конвейерах для обеспечения предлагаемых условий предварительного выдерживания необходимо как минимум два поста до участка подъема температуры оборудовать металлическим коробом с вытяжным вентилятором.

Предлагаемая технология тепловой обработки внедрена на Целиноградском КСМ и на заводе ЖБИ г. Ерментау.

А.Е. ГРУШЕВСКИЙ, канд. техн. наук (Белгородский научно-производственный центр стройматериалов); В.П. БАЛДИН, канд. техн. наук

Технологии и оборудование для малоэтажного строительства

В настоящее время взято направление на выпуск мелко-размерных изделий для малоэтажного строительства. В связи с этим нами предлагается несколько научно-технических разработок, пользующихся спросом малых предприятий, и реальными, на наш взгляд, для внедрения на заводах ДСК.

Для производства используются обычное гипсовое вяжущее или его водостойкие составы, а также местные отходы производства: шлаки, золы, золошлаковые смеси, опилки, отходы пиления блоков ракушечника и др.

Интерес к производству этих изделий вызван преимуществами самого вяжущего материала (по стоимости он дешевле цемента), обеспечивающего быстроту схватывания и твердения формируемых изделий, и возможность отказа от их пропарки или автоклавной обработки, что позволяет экономить дорогостоящие теплоэнергоресурсы.

Апробирована также и долговечность гипсовых изделий во многих районах России и Украины. Оштукатуренные или облицованные в полкирпича гипсовые дома эксплуатируются уже десятки лет. Разработанные и детально исследованные водостойкие составы гипсовых вяжущих позволяют изготавливать стеновые изделия, не требующие наружной защиты их от атмосферных воздействий.

Одной из запатентованных нами является вакуум-формовочная технология ячеистых стеновых мелких и крупных блоков. Если в производстве сборного железобетона вакуумирование смеси используют для отсоса воды из отформованных изделий и повышения их плотности и прочности, то при изготовлении изделий на основе гипса вакуумирование применяют для вспучивания гипсобетонных смесей. Технология основана на том, что в системе раствор—воздух (газ) создается разрежение, при котором мельчайшие пузырьки воздуха, адсорбированные материалом и вовлеченные при перемешива-

нии раствора, объединяются в более крупные, расширяются и вспучивают смесь, но не успевают выходить из нее, так как вспученная смесь быстро затвердевает благодаря применению быстротвердеющих вяжущих материалов.

На рис. 1 показана принципиальная схема производства газогипсовых блоков способом вакуум-формования. Агрегатно-поточная технология включает приготовление смеси из гипсового (гипсоцементного) вяжущего и воды, заливку ее в формы, вспучивание в течение 12...15 мин, немедленную распалубку блоков и их естественную сушку в цехе или на открытой площадке под навесом в летнее время. Для вспучивания смеси не требуются какие-либо пено- или газообразователи, а следовательно, и оборудование для их хранения, приготовления и дозирования. В технологии отсутствуют также искусственная сушка, пропарка или автоклавная обработка изделий, что позволяет экономить дорогостоящие теплоэнергоресурсы. Технология рассчитана на выпуск от 2,5 до 5 тыс.м³ блоков в год.

Газогипсовые блоки, полученные по этой технологии, имеют среднюю плотность 700...850 кг/м³, марку 15, 25, 35, морозостойкость 15, 25 циклов в зависимости от марки и вида вяжущих и коэффициент размягчения 0,65...0,70. Размеры блоков стандартные — 390x190x188 мм и 588x288x200 мм, масса соответственно 11 и 25 кг. Изготавливать блоки можно по агрегатно-поточному и конвейерному способам.

В настоящее время на Яковлевском ССК (г. Белгород, пос. "Строитель") заканчивается внедрение резательной технологии газогипсовых блоков, когда отформованный массив после вспучивания разрезается на отдельные блоки с помощью резательной машины, что исключает применение ручного труда при сборке и распа-

лубке кассет. Производительность механизированной линии 17 тыс.м³ (или 0,5 млн блоков размером 588x288x200 мм в год). Линию обслуживает бригада из 4...5 чел.

Совместно с Днепропетровским филиалом НИИСП разработаны чертежи высокомеханизированного формовочного ротора (рис. 2) производительностью 10 тыс.м³ (22 тыс.шт) блоков размером 1,5x0,8x0,4 м в год. Число форм на поддоне 4, продолжительность вакуумирования смеси 20 мин, мощность привода 8,5 кВт, масса ротора 17,7 т, диаметр 8,5 м. В основу конструкции ротора заложен принцип клиновой опалубки, благодаря чему обеспечивается механизация сборки и разборки форм, точность геометрических размеров блоков и надежность работы ротора. Последней работой в принудительно-пульсирующем цикле, который задается длительностью операции вакуум-формования. Одновременно формируется два смежных блока. Ротор имеет 4 поста: сборки форм, разлива смеси, формования изделий и их расформовки. Он отличается высокой степенью механизации, производительностью и культурой производства. Обслуживают ротор 1...2 рабочих.

Совместно с этим же филиалом разработана конструкция карусельной машины (рис. 3) для литья гипсовых перегородочных плит пазогребневой конструкции размером 900x300x80 мм. Она также использует принцип клиновой опалубки, вследствие чего обеспечиваются удобство сборки и разборки форм и хорошее качество плит. Производительность ее 20 шт/ч, или 80 тыс.плит в год; мощность электродвигателя 2,2 кВт, диаметр карусели 3,52 м, высота стола 1,35 м, габаритная высота 2 м, масса 2,1 т.

Карусель может вращаться легко вручную. В отличие от существующих конструкций формирующих машин она малогабаритная, легкая, может быть изготовлена в условиях механи-

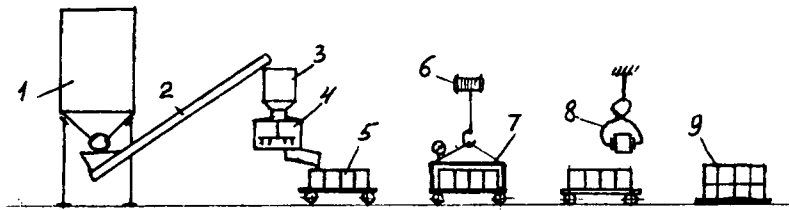


Рис. 1. Технологическая схема производства газогипсовых блоков

1 — силос; 2 — шнек; 3 — бункер-дозатор; 4 — смеситель; 5 — форма; 6 — тельфер; 7 — вакуум-колпак; 8 — захват; 9 — склад блоков

ческой мастерской в короткие сроки, быстро смонтирована, освоена и скоро окупается. Малая металлоемкость и энергоемкость, небольшие затраты средств при эксплуатации и низкая стоимость карусели — основные ее преимущества.

Машина может быть использована для изготовления плит утеплителя из пеногипса.

Для приготовления последнего предлагается опробованная в работе пеногипсовая установка конструкции НПКФ "2М-СТРОЙИНДУСТРИИ". Установка компактна и включает расходную емкость с насосом, смеситель, дозаторы ПАВ и воды, пеногенератор, раму и электрошкаф. Производительность установки 1600 л/ч; мощность электродвигателя 11,75 кВт; масса 0,8 т; расстояние подачи пеногипса по высоте 15 м, по длине 40 м. Установка обеспечивает двухстадийное изготовление пеногипса, когда пена приготавливается отдельно от гипсовой смеси, затем они вместе перемешиваются и из расходного бака подаются в карусельную машину или в стационарные кассетные формы.

Изготовлено оборудование и для одностадийной технологии получения пеногипса, которое включает бак для растворения ПАВ, дозаторы воды и гипса, смеситель, насос и насадок специальной конструкции, шланги. Производительность такой установки до 2...3 м³/ч при расходе электроэнергии 2...3 кВт ч/м³ пеногипса. Последний характеризуется средней плотностью 200...850 кг/м³, прочностью при сжатии 0,1—3,5 МПа.

Разработана конструкция карусельной машины (диаметр карусели 5,5 м) для формирования сплошных гипсобетонных блоков размером 300x140x140 мм (2,7 шт. усл. кирпича) методом литья. В состав смеси могут входить шлаки, золы, терриконовая порода и другие отходы промышленно-

сти. За один оборот карусели формируется 80 шт. блоков, или 480 шт/ч, что составляет 5 млн. шт. усл. кирпича в год.

Производство таких блоков намного эффективнее и экономичнее производства керамического кирпича той же мощности. Блоки в 3...4 раза дешевле, технология не требует обжига (нужна лишь естественная или искусственная сушка); в 2...3 раза снижается расход электроэнергии. Ввиду отсут-

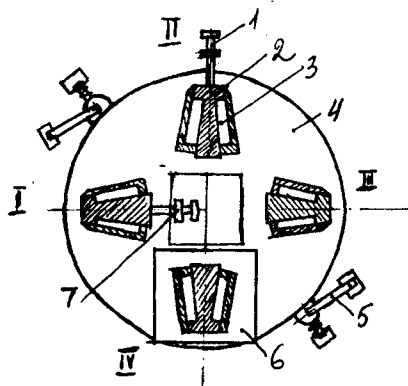


Рис. 2. Формовочный ротор: I — пост расформовки блоков; II — пост сборки смазки формы; III — пост заливки смеси; IV — пост вакуумирования

1 — механизм сборки формы; 2 — клиновидная опалубка; 3 — блоки; 4 — ротор; 5 — механизм поворота ротора; 6 — вакуум-камера; 7 — механизм расформовки

вия громоздкого и металлоемкого оборудования машина проста в обслуживании и надежна в эксплуатации, освоить ее можно в течение недели. Управляет каруселью один человек.

На рис. 4 показана линия производства мелких блоков с применением карусельной машины (подобная машина эксплуатируется на Новомосковском гипсовом комбинате). Блоки отливаются как из чистого гипсового вяжущего, так и из водостойкого гипса, и поэтому могут применяться для наружных стен малоэтажных домов и

построек. Блоки, изготовленные из гипсового вяжущего и отходов пиления ракушечника, имеют марку 75, среднюю плотность 1500 кг/м³. Из чистого гипса — марку 100 и среднюю плотность 1200 кг/м³.

На одном из заводов нами внедрена технология производства стеновых камней методом вибропрессования из водостойкого гипсового вяжущего, песка и опилок. Такой откорректированный состав гипсобетона был принят потому, что он применялся для гипсопркатных перегородок, так как вместо гипсопркатного стана был установлен вибропрессовальный станок. В линии пришлось несколько реконструировать узел приготовления гипсобетонной смеси с заменой непрерывно работающей гипсобетонмешалки на другой смеситель. Сложность запуска технологии заключалась в том, что применялась полусухая быстросхватывающаяся смесь. Эту сложность удалось преодолеть благодаря применению предложенной нами недорогой и хорошо растворимой в воде добавки, введение которой замедляло процесс гидратации смеси, не снижая прочности гипсобетона. Отформованные гипсобетонные камни размером 390x190x188 мм имели

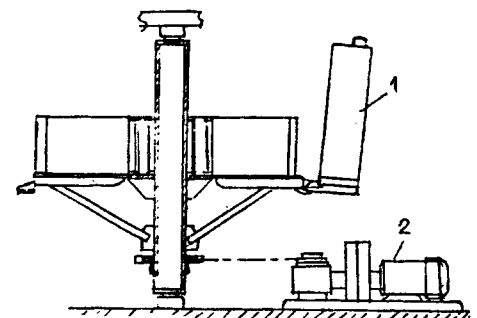
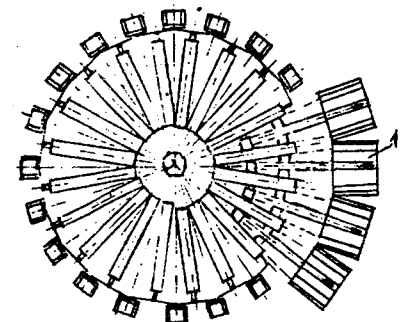


Рис. 3. Карусельная машина для формирования перегородочных плит газогребневой конструкции

1 — клиновидная опалубка; 2 — привод

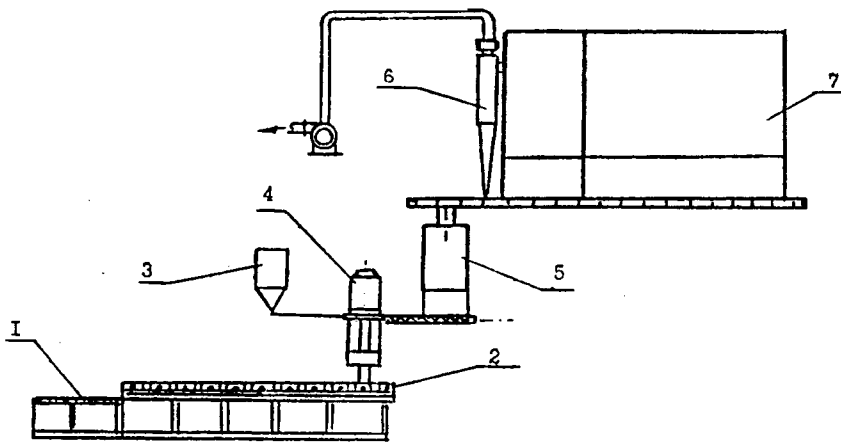


Рис. 4. Технологическая линия производства гипсовых блоков

1 — приемный рольганг; 2 — карусельная машина; 3 — бункер добавок; 4 — смеситель; 5 — дозатор гипса; 6 — циклон; 7 — бункер гипса

плотную структуру, марку 35 при 30% пустотности, морозостойкость 25, 35 циклов.

Вибропрессовальная технология эффективных гипсобетонных камней может быть организована на любом заводе ДСК, тем более, что сейчас имеется большой выбор вибропрессовальных станков различной производительности. Последние могут быть использованы для выпуска гипсоцементного кирпича. Имеются комплект оборудования и технологическая документация на производство 5 млн шт. усл. кирпича.

Нами также разработана технология изготовления кирпи-

ча стандартных размеров 250x120x65 (88) мм методом прессования с использованием роторных прессов. В частности, с фирмой "АДА" внедрена технология гипсоцементнозольного кирпича. Преимущество технологии заключается в том, что благодаря применению быстродействующих полусухих смесей кирпич через несколько часов приобретает 30...40% марочной прочности и не требует сушки, пропарки или автоклавной обработки. В составе смеси используются местные отходы производства.

Марки кирпича 35, 50, 75, 100 и 125. Морозостойкость 15,

25 циклов, коэффициент размягчения 0,7, средняя плотность 1500...1800 кг/м³. Кирпич можно использовать для строительства одно-двухэтажных домов и хозяйственных построек.

Что касается прессов, то они выпускаются различными по конструкции и производительности. Пресс, рекомендуемый нами для кирпича, имеет производительность 1000 шт/ч, удельное усилие прессования 15 МПа, мощность привода 10 кВт, габарит 2600x1400x2050 мм, массу 4,4 т.

Предлагается для внедрения "под ключ" технология облицовочной гипсовой плиты размером 300...400x400x12 мм из высокопрочного гипсового вяжущего. Плиты имеют глянцевую лицевую поверхность, цвет по желанию заказчика и применяются для наружной и внутренней отделки. Масса плит 1,6...2,2 кг, они выдерживают 8...10-кратную нагрузку от массы, их водонепроницаемость соответствует ОСТ 21-32-84, морозостойкость 25, 35 циклов. При трех занятых рабочих технология, обеспечивает выпуск 5 тыс. м² плит в год и окупается за 1...2 мес работы.

С запросами обращаться по адресу: 308007 г. Белгород, ул. Б. Хмельницкого, 96, к. 35, НПЦСТРОМ, А.Е. Грушевскому, тел. (8-072-22) 4-44-24

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 693.546

Л.М. КОЛЧЕДАНЦЕВ, канд. техн. наук (Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет); Н.П. РОЩУПКИН, генеральный директор АО "Роцинострой"

Интенсификация бетонных работ в условиях массового строительства

Интенсификация производства предполагает решение одной из двух задач: увеличение выпуска продукции без привлечения дополнительных ре-

сурсов (трудовых, материальных и энергетических) или сокращение указанных ресурсов без уменьшения объемов выпускаемой продукции. В обоих

случаях при внедрении интенсифицированной технологии качество работ (продукции) должно быть не хуже исходного уровня.

Применительно к бетонным работам, выполняемым в построечных, полигонных или цеховых условиях, интенсификация их производства предусматривает: сокращение сроков получения распалубочной прочности бетона, что при возведении монолитных конструкций обеспечивает уменьшение зимних удорожаний и в обоих случаях (в монолитном и сборном строительстве) позволяет увеличить оборачиваемость форм или опалубки; сокращение расхода материальных ресурсов и, в первую очередь, — цемента; уменьшение энергозатрат и прежде всего — на термообработку бетона; повышение качества бетона.

Одним из перспективных направлений интенсификации бетонных работ является термовиброобработка бетонных смесей, суть которой заключается в том, что непосредственно перед укладкой в форму или опалубку бетонную смесь подвергают непрерывной обработке с одновременным воздействием на нее температуры, вибрации, избыточного давления и электрических полей. Сочетание указанных воздействий, осуществляемых в непрерывном режиме, позволяет резко ускорить процессы гидролиза и гидратации цемента, вовлечь "в работу" его большее количество на ранних стадиях твердения бетона, т.е. обеспечить ускоренный набор прочности в первые часы и повышение прочности бетона в 28-суточном возрасте (рис. 1).

Выделение тепла непосредственно в бетонной смеси при прохождении через нее электрического тока (а не обогрева бетона), форсированный режим обработки смеси (время прохождения смеси через термовиброорган составляет 1...2 мин) позволяют эффективнее использовать подводимую энергию и тепло экзотермии цемента. При непрерывном режиме термовиброобработки в каждый момент времени разогревается малый объем бетонной смеси ($0,15 \text{ м}^3$), а не $1...3 \text{ м}^3$, как при порционном разогреве, что позволяет существенно снизить требуемую электрическую мощность.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта по созданию и эксплуатации устройств для разогрева бетонных смесей и прежде всего работ [1, 2], а также наши многолетние исследования и разработки позволили создать установку для термовиб-

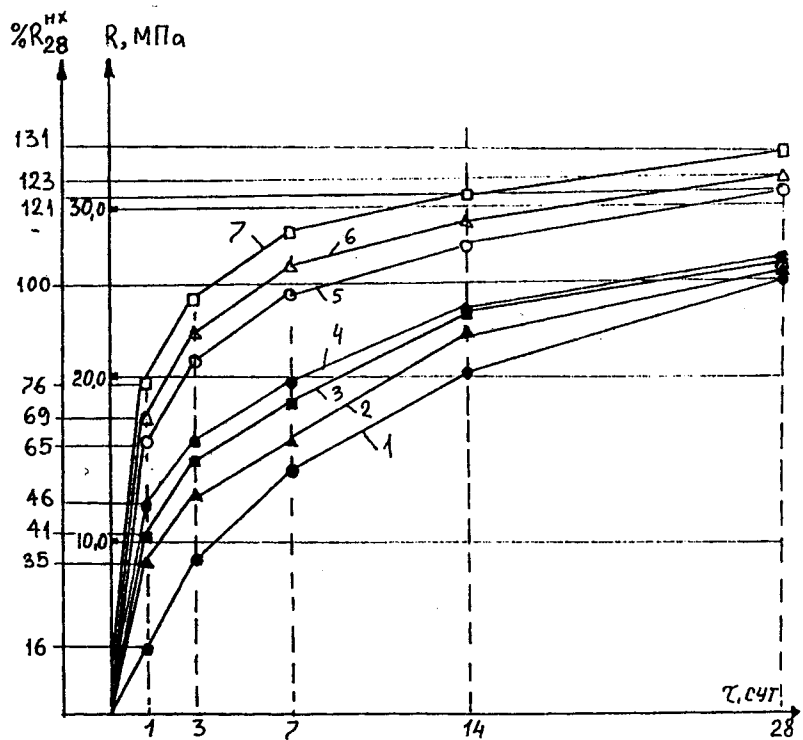


Рис. 1. Кинетика нарастания прочности бетона при различных режимах предварительной обработки бетонной смеси

1 — без обработки, нормальное хранение; 2 — предварительный разогрев до 55°C ; 3 — то же, до 70°C ; 4 — то же, до 90°C ; 5—7 — термовиброобработка по режимам соответственно $\text{ВА}_x + (\text{BA} + 55^{\circ}\text{C}) + \text{BA}_p$, $\text{BA}_x + (\text{BA} + 70^{\circ}\text{C}) + \text{BA}_p$, $\text{BA}_x + (\text{BA} + 90^{\circ}\text{C}) + \text{BA}_p$ (состав бетона: В:Ц:П:Щ = 0,62:1:1,91:3,62; подвижность ОК = 6 см)

рообработки бетонной смеси (ТВОБС).

Основные исходные предпосылки, положенные в основу указанной установки, были следующими.

1. Поток бетонирования конструкций с использованием одной установки составляет $20...80 \text{ м}^3$ в смену, что соответствует объемам бетонных работ в условиях массового строительства и возможностям предприя-

тий и строек в части их энергообеспечения.

2. Непременным условием внедрения установки ТВОБС в массовое строительство являются надежность работы, удобство эксплуатации, в том числе при ее очистке, безопасность работы на ней.

3. Конструктивно-технологические решения установки в части ее изготовления ориентированы на возможности специ-

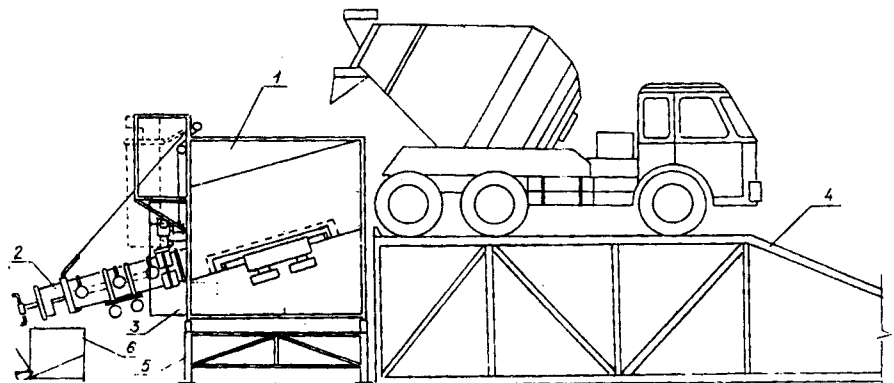


Рис. 2. Вариант использования установки для термовиброобработки бетонной смеси в построечных условиях

1 — загрузочный бункер; 2 — термовиброорган; 3 — электрошкаф с пультом управления; 4 — инвентарная эстакада; 5 — инвентарная опора с направляющими для движения установки; 6 — бункер для бетонной смеси объемом 1 м^3

ализированных заводов, в том числе предприятий военно-промышленного комплекса.

4. Для решения вышеуказанных задач интенсификации бетонных работ эксплуатационные параметры установок должны быть не хуже соответствующих параметров аналогичных устройств.

Основными элементами установки ТВОБС, общий вид которой представлен на рис. 2, являются загрузочный бункер, термовиброорган и электрошкаф с пультом управления.

Загрузочный бункер предназначен для приема бетонной смеси, ее локальной виброактивации и непрерывной подачи в термовиброорган. Объем бункера установки 3 м³, и его опорожнение при производительности установки, например, 6 м³ в 1 ч происходит за 30 мин, что неизбежно привело бы к расслоению смеси при вибрировании всего корпуса бункера. Наличие в последнем виброоргана специальной конструкции, закрепленного на корпусе через упругую диафрагму, позволяет обеспечить локальное вибрирование смеси, что предотвращает ее расслоение. Виброорган выполняет функцию не только вибропитателя, но и виброактиватора бетонной смеси. Экспериментальные исследования показали, что виброобработка последней перед разогревом в течение 30...45 с при частоте вибрации 50 Гц и амплитуде 0,1...0,35 мм дает дополнительный прирост прочности бетона на 10...12% (см.рис. 1). Загрузочный бункер выполнен в соответствии с а.с. № 1749047.

Термовиброорган, в котором осуществляется разогрев смеси при одновременном воздействии на нее вибрации, избыточного давления и электрических полей, представляет собой трубу специальной конструкции диаметром около 300 мм. Конструктивно-технологическое решение электродной группы, размещенной внутри трубы, позволило сократить ее длину до 2 м при таких же рабочих параметрах устройства, как у аналогов [2]. При этом за счет более равномерного распределения плотности электрического поля по объему разогреваемой смеси снижается величина тока на каждой из фаз и обеспечивается равномерный и быстрый разогрев смеси. Замеры, выполненные в производственных условиях, показывают, что через

1,5...2 мин после подачи напряжения на электроды температура смеси достигает 70°C. При этом сила тока на каждой из фаз не превышает 200 А. Это свидетельствует о достаточно эффективном использовании электроэнергии.

Важнейшим технологическим достоинством установки ТВОБС является возможность быстрого (в течение 1 мин) доступа к внутренним поверхностям термовиброоргана с обоих торцевых концов его корпуса. Таким образом, очистка рабочих поверхностей термовиброоргана трудностей не представляет. Эта проблема сведена к минимуму еще и за счет того, что футеровка термовиброоргана и электроды выполнены из неадгезионного материала.

Работает установка ТВОБС следующим образом. Бетонная смесь, приготовленная и доставленная к месту укладки по традиционной технологии, загружается в бункер при закрытом затворе термовиброоргана. После подачи напряжения на электродные секции на бункере и термовиброоргане включаются вибраторы. Под воздействием вибрации и собственного веса бетонная смесь из бункера поступает в термовиброорган, перемещаясь по его кольцевому сечению. Через бетонную смесь, как через проводник с определенным омическим сопротивлением, проходит электрический ток. В соответствии с законом Джоуля—Ленца бетонная смесь разогревается при одновременном воздействии на нее вибрации и избыточного давления. Последнее неизбежно имеет место, так как разогрев смеси, сопровождающийся резким увеличением паровоздушной среды, происходит в замкнутом пространстве (в трубе). После достижения бетонной смесью требуемой температуры, которая определяется по термометру, датчик которого установлен вблизи выпускного отверстия термовиброоргана, затвор открывается и процесс обработки смеси идет в установившемся режиме.

Технологическая привязка установки ТВОБС осуществляется по различным вариантам с учетом конкретных условий.

На строительной площадке рекомендуется использование установки в комплекте с инвентарными эстакадой для автотранспорта и опорой, обеспечивающей превышение установки над емкостью, в которую посту-

пает обработанная бетонная смесь (см.рис. 2). В этом случае процесс ведется в непрерывно-циклическом режиме: загруженная в приемный бункер установка смесь обрабатывается непрерывно и поступает в одну из трех рабочих емкостей (бункер, бадью), из второй емкости смесь с помощью крана укладывается в дело, а третья рабочая емкость — запасная.

Применительно к полигонным и цеховым условиям может быть реализована схема, заключающаяся в том, что портал, на котором размещена установка ТВОБС, перемещается вдоль рядов форм, а в поперечном направлении установка перемещается по portalу.

Возможно применение установки как технологического элемента существующих бетоноукладчиков, которые могут быть модернизированы с минимальными затратами. Термовиброобработку смеси возможно осуществлять на бетоносмесительном узле с последующей ее доставкой к месту укладки в миксерах при обязательном перемешивании в процессе транспортирования.

Характеристика и рабочие параметры установки ТВОБС: производительность 6 м³/ч, или 40 м³/см; требуемая установленная мощность 150 кВА; расход электроэнергии до 40 кВт·ч/м³; температура разогрева до 70°C; время прохождения бетонной смеси по ТВО 1...2 мин; рабочий объем термовиброоргана 0,15 м³; режим работы (на объем смеси в бункере) непрерывный; объем бункера 3 м³; требования к бетонной смеси: подвижность 6...12 см; крупность заполнителя не более 20 мм; обслуживающий персонал — бетонщик-оператор IV разряда — 1 чел. с 4-й группой допуска по электробезопасности.

Установка для термовиброобработки бетонной смеси позволяет:

сократить расход цемента минимум на 10...15%, а электроэнергию — в 2 раза;

обеспечить ускоренный набор прочности бетона: 40...50% — через 6...8 ч и 70...100% — через 1 сут, что позволит, например, темпы возведения монолитных зданий сопоставить с полносборным строительством, использовать обычную опалубку, а не греющую; организовать изготовление изделий на полигоне или в цехе

без их пропаривания (отпадает необходимость в устройстве пропарочных камер), а за счет ускоренного нарастания прочности бетона увеличить оборачиваемость форм или кассетных установок;

отказаться от прогрева бетона на строительной площадке, исключив расход металла на электроды и их коммутацию, греющих проводов и т.п.;

повысить качество бетона в

изделиях и конструкциях по таким показателям, как плотность, морозостойкость, сцепление с арматурой.

В зависимости от конкретных условий срок окупаемости установки 4...6 мес.

Установка разработана на уровне изобретений. Стадия разработки — рабочие чертежи. Организовано изготовление установок на заводах военно-промышленного комплекса.

За справками обращаться по телефонам в Санкт-Петербурге 292-41-96; 259-49-38.

Библиографический список

1. Арбеньев А.С. Зимнее бетонирование с электропрогревом смеси. — М.: Стройиздат, 1970.

2. Арбеньев А.С. Устройства для электроразогрева бетонных смесей // Механизация строительства. — 1992. — № 3. — С. 7.

УДК 693.546.4

К.А. ОЛЕХНОВИЧ, д-р техн. наук, проф. (Полтавский инженерно-строительный ин-т)

Средства изготовления объемных конструкций на объекте

С укрупнением сборных железобетонных элементов снижаются удельные материалоемкость и трудоемкость сооружений, открываются возможности осуществлять их прогрессивные объемно-планировочные решения [1].

Однако такие конструкции, особенно объемные, пока составляют незначительную долю в объектах массового капитального строительства, что объясняется отсутствием рациональной технологии изготовления, а также определенной трудоемкостью их транспортировки с заводов-изготовителей на строительную площадку.

В то же время все возрастающая грузоподъемность монтажных кранов стимулирует дальнейшее укрупнение железобетонных деталей. Эти противоречия могут быть разрешены за счет изготовления крупногабаритных деталей на временных приобъектных полигонах непосредственно в зоне действия монтажных кранов.

Такие полигоны могут работать на товарной бетонной смеси и привозных армокаркасах, осуществлять термообработку изделий с помощью недорогих теплогенераторов, поэтому организация и эксплуатация приобъектных полигонов потребует значительно меньше времени и затрат, чем соответствующая реконструкция действующих региональных предприятий сборного железобетона. Следова-

тельно, появляется реальная возможность изготовления объемных элементов с габаритами в плане бхб м или более, например, для возведения силосных башен, а также блок-квартир, резервуаров, цельных по периметру элементов туннелей, звеньев водопроводных труб большого диаметра, фасонных гидротехнических блоков, укрупненных фрагментов фундаментов и других изделий. Укрупненные железобетонные детали в этом случае повышают свою конкурентоспособность по сравнению с монолитными, металлическими и другими конструкциями.

Преимущества такого производства строительных работ будут реализованы в полной мере, если для формования железобетонных элементов использовать эффективные и экономичные виброподъемки типа ВПГ грузоподъемностью 50...100 т, обладающие хорошей работоспособностью на открытых полигонах [2]. Новые разработки в этом плане, основанные на опыте эксплуатации виброплощадок типа ВПГ большой грузоподъемности, открывают дополнительные технологические возможности для сборного строительства.

Сюда, например, относится сборно-разборный вибростенд ВС-60 грузоподъемностью до 60 т для формования объемных изделий, в основу которого положены унифицированные уз-

лы, используемые в виброплощадке ВПГ-100 грузоподъемностью до 100 т [3], хорошо зарекомендовавшие себя за пять лет эксплуатации. Подвижная рама вибростенда (см. рисунок), выполненная в виде восьмиугольника, собирается из шести элементов, габариты каждого из них превышают 2,6х7,2 м, что позволяет транспортировать их с завода-изготовителя и с объекта на объект автомобильным и железнодорожным транспортом. Вибровозбудители смонтированы в окнах моторной рамы, которая посажена крестообразно в углубление опорной рамы, а каждая из них опирается на шесть резинометаллических упругих опор простой и надежной конструкции, устанавливаемых непосредственно на бетонную плиту фундамента небольшого заглубления.

Четыре угловые секции-вставки опираются на боковые выступы моторной и опорной рам, а своими внешними углами присоединяются к ним с помощью болтов.

Подмоторные рамы с электродвигателями монтируются на фундаменте против окон моторной рамы и соединяются с вибровозбудителями клиноременными передачами. Окна моторной рамы закрываются крышками. Формы ограничиваются от сползания с подвижной рамы посредством жестких упоров.

При включении приводных двигателей валы вибровозбуди-

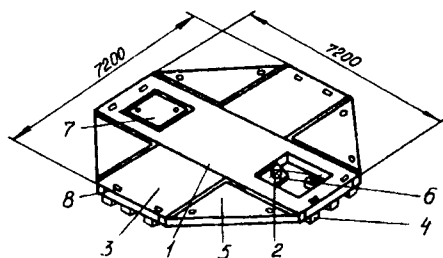
телей вращаются в противоположных направлениях и за счет эффекта самосинхронизации обеспечивают пространственные колебания формы, преимущественно нормальные к вертикальным опалубочным поверхностям, что приводит к быстрому и качественному уплотнению бетонной или керамзитобетонной смеси с ОК = 2...4 см.

Замеры параметров вибрации на виброплощадках ВПГ-50М2 и ВПГ-100 [3] показывают, что процесс самосинхронизации вибровозбудителей не является стабильным, а осуществляется в режиме "бие-ния" с продолжительностью цикла 4...6 с. Периодическая смена режима вибрации также способствует повышению эффективности вибрационного воздействия на уплотняемую бетонную смесь в изделиях большой высоты. Таким образом, при менее "слышимой" частоте колебаний, равной 24...30 Гц, и при относительно небольших энергетических затратах удается обеспечить достаточную технологическую эффективность уплотнения подвижных и малоподвижных бетонных смесей, а также создать благоприятные условия труда по уровню шума и вибрации на рабочих местах формовщиков-бетонщиков.

Есть основания предполагать, что такой же эффективный режим пространственных колебаний будет реализован и при работе вибростенда ВС-60. В случае необходимости формования на этом вибростенде изделий, масса которых вместе с формой составляет 5...15 т, целесообразно включать лишь один вибровозбудитель, что обеспечит достаточную интенсивность вибрации.

Заполнять формы бетонной смесью в процессе формования изделий можно с помощью бады и крана или посредством портального бетонораздатчика или автобетононасоса. Пропаривать изделия на приобъектном полигоне можно в ямных камерах или под съемными термоизолированными колпаками. В южных районах представляется возможным использовать гелиопрогрев [4].

Основные технические параметры вибростенда ВС-60: грузоподъемность 20...60 т; размеры в плане формируемых изделий высотой до 3 м — 6х6 м; установочная мощность электродвигателей 22х2 кВт; габаритный размер 7250х7250х600 мм; масса 11 000 кг. Как и виброплощадки типа ВПГ, вибростенд требует ми-



Сборно-разборный вибростенд для формования объемных железобетонных изделий

1 — моторная рама; 2 — вибровозбудитель; 3 — опорная рама; 4 — упругие резинометаллические опоры; 5 — секция-вставка; 6 — приводной электродвигатель; 7 — крышка над виброприводом; 8 — упоры для фиксации формы

нимум покупных комплектующих изделий: 4 роликовых и 2 шариковых подшипников, 2 электродвигателя и 8 клиновых ремней для передач. Его можно без затруднений изготовить на предприятии, имеющем соответствующий опыт и оборудование для сборки металлоконструкций или стальных форм.

При заранее подготовленном фундаменте вибростенд можно смонтировать за несколько часов, а многократное его перебазирование с объекта на объект за 4...5 лет службы предполагает быструю окупаемость оборудования.

Большинству строительных организаций и предприятий сборного железобетона стран СНГ даже на своих территориях пока трудно конкурировать с зарубежными фирмами по качеству и срокам строительства жилых и промышленных объектов, если следовать за ними в духе традиционных технологий строительного производства. Известно достаточное число примеров последних лет, когда выгодные, в том числе валютные, инвестиции на конкурсной основе доставались зарубежным предпринимателям даже при ус-

ловии удорожания сооружений. Использование объемных крупноразмерных железобетонных конструкций дает шанс осуществить прорыв на более высокий технический и экономический уровень строительства и вступить в соревнование с престижными зарубежными фирмами для получения выгодных подря-дов.

В сложившейся экономической ситуации нужны смелые архитектурно-строительные решения, предусматривающие широкое применение укрупненных железобетонных конструкций, а также квалифицированные строительные коллективы, стремящиеся воплотить такие проекты в жизнь.

КБ "Вибротехника" Полтавского инженерно-строительного института готово сотрудничать в этом плане с заинтересованными организациями, может выдать техническую документацию на изготовление предлагаемого вибростенда и других виброформовочных средств, а также участвовать в их внедрении в конкретных условиях производства (314601, Полтава, Первомайский пр., 24).

Библиографический список

1. А г а д ж а н о в В.И. Развитие сборного железобетона и его экономическая эффективность. Сб. науч. трудов: Экономическая эффективность производства и применения железобетона. — М., НИИЖБ, 1982.
2. О л е х н о в и ч К.А. Формование изделий на открытых полигонах сборного железобетона // Промышленное строительство и инженерные сооружения, Киев, 1991, № 3.
3. О л е х н о в и ч К.А. Средства объемного виброформования крупноразмерных железобетонных деталей // Бетон и железобетон. — 1990. — № 2.
4. К р ы л о в Б.А., М а л и н с к и й Е.Н., Л и А.И., У р а к о в Н.А. Тепло-влажностная обработка изделий в гидроаэроциркуляционных камерах с использованием солнечной энергии // Бетон и железобетон. — 1990. — № 2.

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

ИП "СОВПАТЕНТ" предлагает прогибомеры динамометрические (датчики давления) ПДМ-70 и электродвигатели мощностью 7 кВт (750 об/мин).

Обращаться: 142040, Моск. обл., г. Домодегово, Главпочта, а/я 7.

Контактный тел. в Москве: (095) 174-85-92

УДК 666.982.001.1

Ю.Л. ИЗОТОВ, канд. техн. наук, Н.А. ПОГРЕБНЯК,
инж. (ДДАП НИИСП)

Учет коэффициента динамичности при расчете монтажных нагрузок

При проектировании сборных железобетонных конструкций поперечное сечение рабочей арматуры определяется расчетом на действие основных и дополнительных нагрузок с последующей проверкой ее достаточности на действие монтажной и транспортной нагрузки от собственного веса. Такой подход гарантирует несущую способность конструкций, если при монтаже каркаса здания конструкции испытывают статические нагрузки, принятые в расчете и приложенные в соответствии с расчетной схемой.

В строительных организациях для монтажа конструкций разрабатывается проект организации работ (ПОР), при этом проектировщиками ПОР не рассматривается соответствие армирования конструкций действующим на них нагрузкам в процессе монтажа. Из этого следует, что сборные железобетонные конструкции и, в частности, типовые рассчитываются без полного учета комбинаций их загрузки, что иногда приводит к обрушению конструкций.

Так, например, при строительстве сельскохозяйственного одноэтажного производственного здания для покрытия были при-

менены одноконсольные балки марки БК10,5-2100, изготовленные по альбому шифр 86-11-1, вып. 3, с размерами пролетной части балки 7,5 м и консольной — 3 м, которые рассчитаны на сочетание эксплуатационных нагрузок. Армирование балок, в частности обрыв верхней и нижней рабочей продольной арматуры, выполнено с учетом характера эпюры изгибающих моментов и положения ее нулевой точки.

При строительстве производственного здания плиты покрытия размером 1,5х6 м монтировали автокраном с раскладкой их от крайней опоры в сторону консоли балки. Панели покрытия монтировались по длине здания. При укладке последней плиты пролетной части балки в замыкающем пролете произошло обрушение двух смежных балок этого пролета здания.

Обследованием обрушившихся балок было установлено, что падение их произошло вследствие разрыва продольной арматуры $\sigma 14A-III$ в месте обрыва пролетного стержня $\sigma 25A-III$. Местоположение разрыва стержня находилось на расстоянии 1,5 м от оси опоры, или на расстоянии 25 см

от нулевой точки эпюры изгибающих моментов эксплуатационной нагрузки. Прочность бетона балки была в пределе проектной.

Выполненный поверочный расчет показал, что разрушение балки произошло в результате воздействия монтажной нагрузки от плит покрытия при определенном коэффициенте динамичности на этот вид нагрузки. При испытании аналогичных одноконсольных балок статическим нагружением пролетной их части получено, что при нагрузке, составляющей 0,9 веса плит покрытия, напряжения в продольной арматуре $\sigma 14A-III$ в рассматриваемом сечении пролетной части балки достигли $\sigma_{т}$.

На основании анализа результатов испытаний одноконсольных балок, как первое приближение, определен коэффициент динамичности от монтируемых элементов на изгибаемые железобетонные конструкции, который предлагается выразить зависимостью

$$K_g = (1,1n + 1,6)/(n + 11),$$

где n — число элементов, монтируемых на изгибаемую железобетонную конструкцию.

ТЕОРИЯ

УДК 691.327:624.044

А.В. ЗАБЕГАЕВ, д-р техн. наук, проф. (МГСУ)

К построению общей модели деформирования бетона

Выполняемые в последние годы во всем мире исследования бетона характеризуются стремлением к углубленному изуче-

нию его структуры и природы происходящих в нем процессов. Объединение усилий специалистов в области химии цемента

и бетона, материаловедов и технологов позволило в значительной степени прояснить структуру и обуславливаемые ею свой-

ства бетона [1]. Вместе с тем проектировщики пока не могут использовать эту информацию из-за отсутствия приемлемых физико-механических моделей, отражающих упомянутые выше достижения, хотя во многих проектных организациях уже существует достаточная компьютерная база, способная применять более прогрессивные, по сравнению с существующими, расчетные технологии.

В настоящей статье представлена механическая модель бетона, основанная на современных данных о его структуре и позволяющая с общих позиций описать внутренние процессы и реакцию на различные загрузки, зависящие от времени: длительные, многократно-повторные, кратковременные. До сих пор расчеты на эти воздействия основаны на разных подходах [2, 3]. Такое положение связано с тем, что расчетные предпосылки весьма огублены и относятся в основном к макроструктуре бетона.

Рассматривая бетон как иерархическую систему [4], можно констатировать, что на мезоуровне — это двухфазный материал, в котором зерна заполнителя включены в цементную матрицу. Наиболее важным его элементом являются микротрещины в интерфейсе между заполнителем и матрицей. На микроуровне обычно рассматривается матрица как среда, содержащая твердую, жидкую и газовую фазы. Заметим, что этот подход нуждается в коррекции при изучении легкого и высокопрочного бетонов.

При осевой сжимающей нагрузке на образец из обычного тяжелого бетона вначале закрываются открытые поры, что выражается в начальном жестком участке диаграммы "б — ε", который обычно в расчетах не учитывается. Дальнейшие деформации при стандартном нагружении до уровня напряжений 0,4—0,6 от пиковых обусловлены в основном упругим скольжением берегов начальных трещин в интерфейсе и относительно небольшими деформациями матрицы. При превышении упомянутого уровня нагружения начальные трещины начинают прорастать вначале в интерфейс, а затем в матрицу, образуя так называемые "развернутые" трещины, ориентированные по направлению действующего внешнего усилия. При напряжениях 0,75—0,85 от пи-

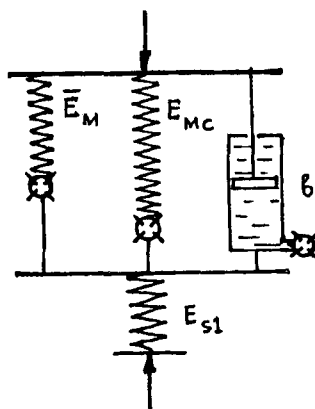


Рис. 1. Модель деформирования бетона при осевом сжатии

ковых образуются трещины взаимодействия между развернутыми трещинами. Результатом сформировавшейся таким образом сети микротрещин являются макротрещины при нагрузках, близких к пиковым. Дальнейший характер разрушения (продольные трещины, сдвиг) определяется как внутренними, так и масштабными [5] факторами.

Отметим как важное обстоятельство, что прорастающие в матрицу трещины перерезают поры и капилляры, содержащие воду и водяные пары; возрастающее давление от нагрузки способствует выдавливанию их из пор. С другой стороны, имеются экспериментальные свидетельства, что раскрывающиеся трещи-

ны интенсифицируют абсорбцию влаги из пор [6].

Согласно экспериментальным данным [7], жесткость образца из тяжелого бетона средней прочности, обусловленная скольжением краев начальных трещин, значительно превышает жесткость матрицы без трещин, которая, очевидно, превышает жесткость матрицы с трещинами. Результаты недавних опытов [8] с высушенными образцами и образцами естественной влажности, подвергнутыми осевому растяжению при кратковременных динамических и статических нагружениях, свидетельствуют о том, что реакция бетона, зависящая от времени, обусловлена главным образом присутствием жидко-газовой фазы, в первую очередь, свободной воды.

Учитывая изложенное выше, автором предложена упруго-вязко-хрупкая модель, показанная на рис. 1. Параметр E_{s1} характеризует сопротивление бетона, обусловленное скольжением краев трещин в интерфейсе; E_{Mc} характеризует жесткость матрицы с трещинами; $\bar{E}_M = E_M - E_{Mc}$, где E_M — аналогичный параметр для матрицы без трещин; b — коэффициент вязкости. Очевидно, что две пружины в верхнем элементе вместе моделируют твердую матрицу без трещин, тогда как вязкий элемент — жидко-газовую фазу.

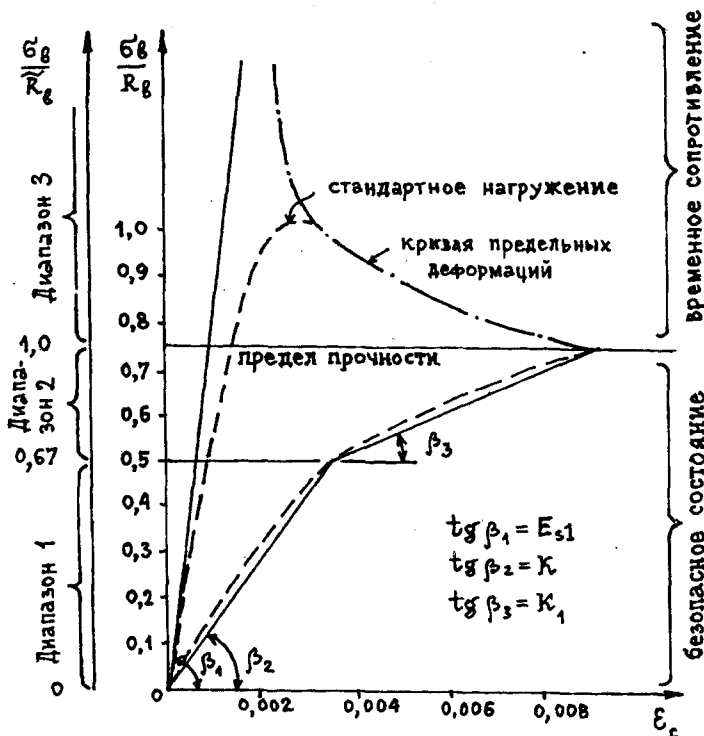


Рис. 2. Диаграмма "относительная прочность — деформации бетона"

По достижении уровня напряжений 0,4—0,6 от стандартных пиковых левая пружина выходит из строя, что соответствует началу распространения трещин. Начиная с этого уровня имеет также место выдавливание влаги из пор в трещины (разрушение клапана вязкого элемента).

При достижении уровня напряжений 0,75—0,85 от стандартных пиковых вторая пружина верхнего элемента также выходит из строя, что соответствует образованию сети микротрещин и началу образования микротрещин в матрице, т.е. фактически — началу разрушения образца. Этот уровень целесообразно рассматривать как предел прочности, независимой от времени (рис. 2).

Более высокое сопротивление можно рассматривать лишь как временное, обусловленное главным образом деформациями вязкого элемента. При быстрых (динамических) нагружениях жидкость ведет себя как несжимаемая, и более высокие напряжения могут поддерживаться в течение короткого промежутка времени. При постоянном напряжении, превышающем указанный на рис. 2 предел, деформация растет во времени, пока не достигнет предельной величины. Эти явления известны как динамическое упрочнение и ползучесть и приняты за базовые для определения значений параметров модели. Предполагается, что если исходные предположки верны, то модель корректно опишет поведение бетона при повторных нагружениях.

Обратимся к определению параметров модели. Обозначим независимый от времени предел прочности через \bar{R}_b , тогда напряжения, соответствующие началу роста трещин, составят $\approx 0,67\bar{R}_b$. Как уже указывалось, жидкая фаза при быстрых нагружениях ведет себя как несжимаемая жидкость, блокируя деформации верхнего элемента и оставляя возможность деформирования только нижней пружины. Хорошо известно, что этому режиму нагружения соответствует начальный модуль упругости бетона E_b . Таким образом, естественно положить $E_{s1} = E_b$.

Величина E_M (при $\sigma_b \leq 0,67\bar{R}_b$) может быть легко получена из рассмотрения предельных деформаций линейной ползучести. Действительно, для любого уровня напряжений из

этого диапазона (здесь и далее — диапазон 1) можно записать (см.рис. 2):

$$1/K = 1/E_{s1} + 1/E_M, \quad (1)$$

где K — параметр общей жесткости образца, полученный как секущий модуль кривой полных деформаций линейной ползучести. Из (1) будем иметь

$$E_M = KE_{s1}/(E_{s1} - K). \quad (2)$$

Аналогично, для диапазона 2 ($0,67\bar{R}_b < \sigma_b < \bar{R}_b$) получим

$$E_{Mc} = K_1 E_{s1}/(E_{s1} - K_1), \quad (3)$$

где K_1 — параметр общей жесткости бетона с трещинами, получаемый из опытов как секущий модуль кривой полных деформаций нелинейной ползучести. Определение параметра b теперь возможно на основе приведенных данных и существующих экспериментальных результатов.

Приведем и проанализируем основные расчетные зависимости. Полагаем, что нагружение линейно зависит от времени

$$\sigma_b(t) = \sigma_0 t / \tau_1, \quad (4)$$

где τ_1 — время нагружения; σ_0 — максимальное напряжение.

Диапазон 1. Уравнение равновесия (инерцией пренебрегаем)

$$\sigma_b(t) = E_M \varepsilon_1 + b \dot{\varepsilon}_1 = E_{s1} \varepsilon_2 \quad (5)$$

при решении дает:
— для стадии нагружения

$$\varepsilon_1 = \sigma_0 [t - b(1 -$$

$$\exp(-E_M t/b)/E_M] / E_M \tau_1; \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = \sigma_0 t / E_{s1} \tau_1; \quad (7)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_1 + \varepsilon_2; \quad (8)$$

— для стадии выдержки под нагрузкой ($\sigma_b = \sigma_0 = \text{const}$)

$$\varepsilon_1 = (\bar{\varepsilon}_1 - \sigma_0 / E_M) \exp(-E_M(t - \tau_1)/b) + \sigma_0 / E_M, \quad (9)$$

где $\bar{\varepsilon}_1$ находят из (6) подстановкой $t = \tau_1$; ε_2 определяется согласно (7);

— для стадии разгрузки, полагая ее также линейно зависящей от времени

$$\sigma_b(t) = \sigma_0 [1 - (t - \tau_1) / \tau_2], \quad (10)$$

где τ_2 — время разгрузки;

$$\varepsilon_1 = [\bar{\varepsilon}_1 - \sigma_0 (\tau_2 +$$

$$+ b/E_M) / E_M \tau_2] \exp x$$

$$x (-E_M (t - \tau_1) / b) +$$

$$+ \sigma_0 (\tau_1 + \tau_2 - t +$$

$$+ b/E_M) / E_M \tau_2; \quad (11)$$

$$\varepsilon_2 = \sigma_0 [1 - (t - \tau_1) / \tau_2] / E_{s1}.$$

(12)

Из (6) следует, что при $t \rightarrow \infty$ $\tau_1 \rightarrow \infty$ $\varepsilon_1 \rightarrow \sigma_0 / E_M$, а из (9), что при $\tau_1 = 0$, $\bar{\varepsilon}_1 = 0$ (мгновенно приложенная постоянная во времени нагрузка). ε_1 стремится к тому же значению, если $t \rightarrow \infty$. Это соответствует общеизвестному факту, что конечная деформация бетона не зависит от времени нагружения. Согласно (11), в конце разгрузки при $t = \tau_2$

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(\tau_2) = & [\bar{\varepsilon}_1 - \sigma_0 (\tau_2 + b/E_M) / E_M \tau_2] \times \\ & \times \exp(-E_M (\tau_2 - \tau_1) / b) + \\ & + \sigma_0 (\tau_1 + b/E_M) \neq 0, \end{aligned} \quad (13)$$

т.е. имеется остаточная деформация, а форма ветви разгрузки зависит от скорости разгрузки, т.е. в конечном счете от жидко-газовой фазы. При быстрой разгрузке эта ветвь асимптотически приближается к прямой линии с наклоном, определяемым начальным модулем E_{s1} , что обычно и наблюдается в опытах.

Дальнейшее восстановление деформации (упругое последствие) имеет место вследствие деформаций вязкого элемента под действием усилия в распрямляющихся пружинах (матрице) верхнего блока. Соответствующее уравнение равновесия имеет вид

$$E_M \varepsilon_1 + b \dot{\varepsilon}_1 = 0, \quad (14)$$

а его решение

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 = & \varepsilon_1(\tau_2) \exp x \\ & \times (-E_M (t - \tau_2) / b); \end{aligned} \quad (15)$$

при $t \rightarrow \infty$ $\varepsilon_1 \rightarrow 0$.

Поведение бетона при разгрузке после выдержки в течение времени τ_3 может быть получено из (11) в предположении, что $\bar{\epsilon}_1(\tau_3) < \sigma_0/E_M$ определяется из (9).

При повторных нагружениях для $n + 1$ цикла будем иметь вместо (6)

$$\begin{aligned} \epsilon_{1n} = & [\epsilon_{1n} - \sigma_0(t_n - b/E_M) / \\ & / E_M \tau_1] \exp x (-E_M(t - \\ & - t_n) / b) + \sigma_0(t - b/E_M) / \\ & / E_M \tau_1, \end{aligned} \quad (16)$$

где ϵ_{1n} — деформация, достигнутая в конце разгрузки n -го цикла.

Из (16) видно, что текущая деформация является функцией скорости нагружения и разгрузки. При высоких скоростях требуется больше циклов, чтобы достичь максимальной деформации, так как неупругая деформация за цикл невелика. Предложенный подход адекватно отражает и другие особенности поведения бетона при циклических нагружениях, что является подтверждением справедливости и общности предлагаемой модели.

При мгновенном нагружении верхний элемент заблокирован и из (6), (7) и (8) следует, что $\epsilon_b = \epsilon_2$.

Аналогичные результаты могут быть легко получены для диапазона 2. Для иллюстрации запишем лишь выражения для ϵ_1 при нагружении и выдержки под нагрузкой:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = & \{ \bar{\epsilon}_1 - [\sigma_0 + \\ & + 0,67\tilde{R}_b(1 - E_{Mc}/E_M) / \\ & / \tau_1 E_{Mc}] (t_1 - b_1/E_{Mc}) \} \exp x \\ & x (-E_{Mc}(t - t_1) / b_1) + \\ & + [\sigma_0 + 0,67\tilde{R}_b(1 - E_{Mc} / \\ & / E_M)] (t - b_1/E_{Mc}) / \tau_1 E_{Mc}; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = & [\tilde{\epsilon}_1 - \sigma_0 / \\ & / E_{Mc} + 0,67\tilde{R}_b(E_M - E_{Mc}) / \\ & / E_M E_{Mc}] \exp(-E_{Mc}(t - \tau_1) / \\ & / b_1) + \sigma_0 / E_{Mc} - \end{aligned}$$

$$-0,67\tilde{R}_b(E_M - E_{Mc}) / E_M E_{Mc}, \quad (18)$$

здесь $\bar{\epsilon}_1 = 0,67\tilde{R}_b[t_1 - b(1 - \exp(-E_M t_1/b) / \tau_1 E_M)] / E_M \tau_1$; t_1 — время достижения напряжения $0,67\tilde{R}_b$; $\tilde{\epsilon}_1$ — деформация в конце стадии нагружения, определяемая из (17) при $t = \tau_1$.

Истечение свободной воды из капилляров в поры является собой весьма сложный процесс, механизм которого пока недостаточно изучен [6]. На основании представлений гидродинамики можно сделать вывод, что напряжение σ_b пропорционально скорости падения уровня жидкости в вязком элементе, если увеличение площади его клапана линейно связано с увеличением площади трещин, что подтверждается результатами опытов. Эта довольно очевидная предпосылка позволяет упростить расчетные зависимости и ввести некоторый усредненный для данной стадии коэффициент вязкости b_1 , как это и сделано в (17) и (18).

Диапазон 3. ($\sigma_b > \tilde{R}_b$). На этом этапе нагружения рассматривается только временное сопротивление. Сеть трещин резко снижает способность матрицы сопротивляться внешней нагрузке, так что этот фактор в первом приближении может быть принят равным нулю.

Уравнение равновесия имеет вид

$$\sigma_b = b_2 \dot{\epsilon}_1 = E_{sl} \dot{\epsilon}_2, \quad (19)$$

и для стадии нагружения имеем

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = & \epsilon_1(t_2) + \sigma_0 x \\ & x (t^2 - t_2^2) / 2b_2 \tau_1; \end{aligned} \quad (20)$$

для стадии выдержки под нагрузкой

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = & \epsilon_1(t_3) + \sigma_0 (t - \\ & - t_3) / b_2, \end{aligned} \quad (21)$$

здесь t_2 и t_3 — время достижения R_b и конца стадии нагружения, определяемые из (17) и (20) соответственно. Деформации ϵ_2 и ϵ_3 находят, как и ранее, из (7) и (8).

Предельную деформацию теперь легко получить из рас-

смотрения результатов испытаний при стандартной скорости нагружения, поскольку в ряде зарубежных нормативных документов эта величина нормирована (см., например, [9]).

Из (20) следует, что для достижения предельной деформации при малых продолжительностях нагружения необходимо прилагать большие напряжения. Этому соответствует эффект динамического упрочнения в реальном бетоне.

Значения b , b_1 и b_2 (для стадии 3) определялись для бетонов высокой и средней прочности и оказались достаточно стабильными.

Предложенная модель описывает и другие свойства бетона, например релаксацию напряжений, а также верно отражает поведение бетона на восходящей ветви при других режимах воздействия (при постоянной скорости деформирования и т.п.). Подчеркнем, что результаты настоящей работы свидетельствуют о большей значимости жидко-газовой фазы, чем до сих пор считалось, во многом определяющей все зависящие от времени процессы в бетоне.

Библиографический список

1. Concrete 2000//Proc.Int.Conf., Dundee, Scotland, 1993.
2. СНиП 2.03.01—84. Бетонные и железобетонные конструкции. — М. — 1985.
3. Eurocode 2. Concrete Structures. Draft. — 1992. — 153 p.
4. Wittmann I.H. Structure of Concrete with Respect to Crack Formation //Fracture Mechanics of Concrete. — Elsevier. — 1953. — 43—74.
5. Markeset G. Failure of concrete under compressive strain gradients //Ph.D.Thesis //Norwegian Institute of Technology. — 1993. — 167 p.
6. Rossi P. Influence of cracking in the presence of free water on the mechanical behaviour of concrete //Magazin of Concrete Research. — 1991. — 43 — No.154. — 53—57.
7. Mindess S. The application of Fracture Mechanics to Cement and Concrete: A Historical Review //Fracture Mechanics of Concrete //Elsevier. — 1983. — 1—30.
8. Reinhardt H.W.et al. Joint investigation of concrete at high rates of loading //Materials and structures. — 1990. — 23—213—216.
9. Concrete structures. Design rules. NS 3473E (Norges Standardiseringforbund) — 1992. — 78 p.

К оценке быстронатекающей части деформаций ползучести бетона

Ранее нами [1] были обнаружены систематические отклонения измеренных деформаций ползучести бетона на начальной стадии процесса (порядка 1...2 сут после загрузки) от результатов весьма надежной аппроксимации соответствующих кривых на весь последующий период времени наблюдений (20 и более лет). В [1] эти отклонения объяснены наличием некоторой компоненты суммарных деформаций ползучести, которая, согласно [2], названа быстронатекающей.

В работе [3] содержится экспериментально-статистическое обоснование протяженности указанного начального участка. Оно основывалось на использовании базовой трехпараметрической функции времени [4], представленной в преобразованных координатах

$$X_i^n / Y_i = (a^n / Y_m) \pm (X_i^n / Y_m), \quad (1)$$

где Y_i — текущие значения удельных деформаций ползучести, соответствующие моментам времени наблюдения X_i ; Y_m , n и a^n — числовые параметры, зависящие, согласно [3], от уровня приложенных напряжений $\eta = \sigma / R_{pr}$ (R_{pr} — призменная прочность бетона в момент загрузки по постоянной нагрузкой).

В [3] на основе опытных данных авторов настоящей статьи и объективных статистических критериев доказано, что протяженность по времени начального участка кривых ползучести, на котором в координатах $X_i^n / Y_i - X_i^n$ обнаруживаются очевидные отклонения результатов измерений от регрессионной прямой (1), стремительно уменьшается по мере роста уровня напряжений η . В области напряжений $\eta = 0,3 \dots 0,75$; не превышающих предела длительной прочности, она составила примерно 0,3...1,75 сут.

Из графиков на рис. 1, построенных по опытным данным авторов [3], видно, что в указанной области напряжений можно провести четкую границу (показана вертикальной пунктирной линией), разделя-

ющую разные закономерности нарастания во времени деформаций ползучести бетона. Со-

гласно рис. 1, для упрощения аппроксимации эта граница может быть принята независи-

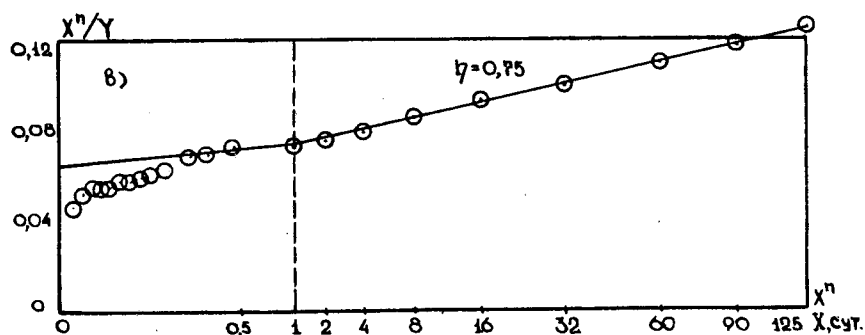
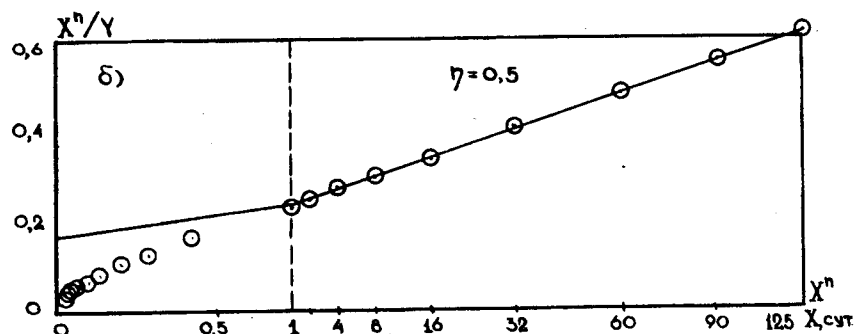
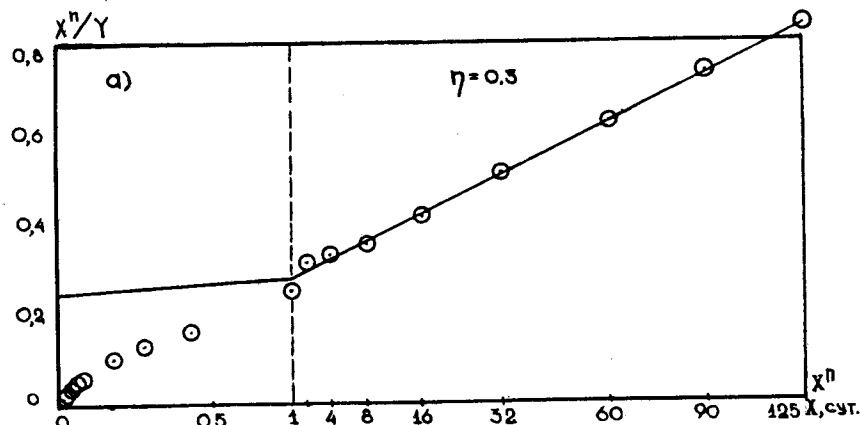


Рис. 1. Развитие деформаций ползучести бетона на ранних (до 1 сут наблюдения) и последующих стадиях процесса при уровнях нагружения $\eta = 0,3; 0,5$ и $0,75$. Регрессионная прямая — согласно выражению (1)

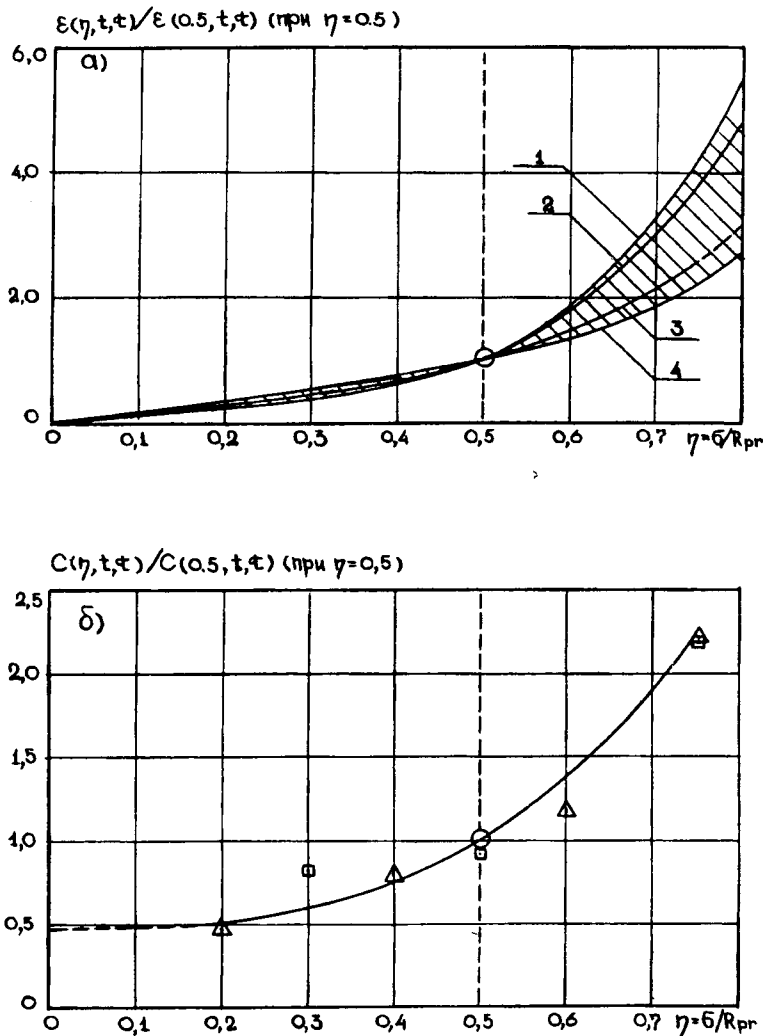


Рис. 2. К оценке степени нелинейности быстронатекающей ползучести
 а — относительные деформации по данным работы [5]; б — удельные деформации по данным □ — авторов и Δ — работы [2]

щей от уровня напряжений и соответствующей времени наблюдения, равного 1 сут. Перелом регрессионной прямой (1) на рис. 1 связан только с изменением масштаба по оси абсцисс для более наглядного представления результатов измерений деформаций в диапазоне времени 0...1 сут, что полностью соответствует регрессии (1).

Анализ показывает, что быстронатекающая часть деформаций ползучести бетона (при времени наблюдений до 1 сут) явно нелинейно зависит от уровня напряжений.

Это следует из графиков на рис. 2, а, где обобщены данные опытов Гленвилля, Шенка, Дженсона и Джонса, основанные на измерениях относительных деформаций ползучести бетонов при разных уровнях напряжений от 1 мин до 1 сут после загрузки (взяты из

работы [5]). В силу различных характеристик бетонов в опытах этих авторов и особенностей методики испытаний на рис. 2, а приведены относительные (по отношению к $\eta = 0,5$) значения деформаций. Естественно, что все четыре кривые на рис. 2, а не совпадают, но находятся в достаточно узкой (заштрихованной) зоне, свидетельствующей о явно не-

линейном характере зависимости деформаций ползучести от уровня напряжений при любых, в том числе самых коротких интервалах времени выдержки нагрузки.

На рис. 2, б аналогичным образом сопоставлены экспериментальные результаты авторов [3] и опытных данных С.В. Александровского [2] в отношении оценки деформаций быстронатекающей ползучести в течение 1 сут после загрузки бетона. В данном случае (в отличие от рис. 2, а) результаты измерений выражены в виде удельных значений деформаций ползучести. Как видно из рис. 2, б, оценки степени нелинейности быстронатекающих (удельных) деформаций ползучести в обоих случаях практически полностью совпадают. При уровне напряжений $\eta = 0,75$ удельные деформации быстронатекающей ползучести (в течение 1 сут после загрузки) превышают аналогичные деформации при $\eta = 0$ не менее чем в 2, 3 раза.

Согласно [1], аппроксимация начального участка кривой на рис. 2, а при времени наблюдения до 1 сут включительно может быть представлена в виде

$$Y_1 = Y_1 X_1^q, \quad (2)$$

где Y_1 — значение деформаций ползучести бетона при $X_1 = 1$ сут; q — числовой параметр, меньший единицы.

В [1] при обработке результатов измерений в 21 опытной реализации разных авторов доказано, что функция (2) обеспечивает высокую точность аппроксимации деформаций на указанном начальном участке (коэффициенты корреляции не менее 0,995). Получена мультипликативная модель для оценки параметра q в функции (2)

Таблица 1

Варьируемые факторы	Размах варьирования	
	min	max
Призменная прочность бетона в момент загрузки R_{pr} , МПа	7,5	127
Содержание цементного теста в композите P_z	0,20	1,0
Возраст в момент загрузки τ , сут	7	14600
Уровень относительной постоянной нагрузки η	0,1	0,88
Модуль открытой поверхности образца M , см ⁻¹	0	0,8

Таблица 2

Блок опытных реализаций	Количество реализаций	Статистические характеристики			
		по модели (3)		по модели (4)	
		m_{cp}	$\delta, \%$	m_{cp}	$\delta, \%$
Из работы [1]	21	0,96	16,5	0,91	12,3
Из работы [6]	11	0,95	10,8	0,92	8,9
По данным авторов из работы [3]	11	1,26	13,6	1,23	9,1
По всей выборке	43	1,04	19,2	0,996	17,3

$$q = K^3 \sqrt{P_z} (1 + 0,625M), \quad (3)$$

где P_z — содержание цементного теста в долях по массе композита; M — открытая удельная поверхность опытных образцов, см^2 ; K — коэффициент, принятый равным 0,32.

В настоящей работе выборка опытных данных для оценки параметра q в (2) была расширена примерно вдвое за счет включения в нее данных авторов настоящей статьи [3], а также некоторых новых данных из зарубежных источников [6]. В этих опытах варьировалось, помимо учтенных в (3), влияние уровня и возраста загрузки цементных композитов. Размах варьирования главных факторов представлен в табл. 1.

Как следует из табл. 1,

размах варьирования всех перечисленных факторов чрезвычайно высок и охватывает практически все возможные варианты цементных композитов (от чистого цементного камня до бетона на крупном заполнителе). Согласно данным табл. 1, широко изменялись также возраст в момент загрузки, масштабный фактор и уровень нагрузки.

Тем не менее результаты статистического анализа всей выборки ($N = 43$) показали вполне удовлетворительное совпадение с результатами аппроксимации на основе функции (2) существующих опытных данных (коэффициент корреляции — не менее 0,98).

На основании этого анализа получена мультипликативная

модель для оценки параметра q с четырьмя факторами в виде, аналогичном (3),

$$q = K(P_z)^{0,2} (1 + 0,625M) \times (1 - 0,285\tau) (31,3 + 0,81\tau) / (25,6 + \tau), \quad (4)$$

где τ — возраст в момент загрузки, сут; η — относительный уровень напряжений σ/R_{pr} ; K — коэффициент, составивший по статистической оценке 0,36; остальные обозначения — согласно (3).

Мультипликативная модель (4) позволяет учесть, в отличие от (3), влияние на параметр q двух дополнительных факторов (η и τ), что в принципе улучшает совпадение с опытными данными. Статистические характеристики модели (4) по всем трем блокам результатов измерений деформаций представлены в табл. 2.

Остается вопрос, поставленный в работе [1], с чем физически связаны отклонения быстронатекающей ползучести от ее долговременной части и в чем заключается механизм этого процесса.

Ответ дают графики на рис. 3, построенные по данным авторов с применением измерений кинетики акустической эмиссии при разрушении бетона и заданном уровне постоянной нагрузки. Из рис. 3 очевидно, что скорость разрушения структуры бетона на начальных стадиях процесса его деформирования явным образом зависит от уровня приложенных напряжений. Отсюда следует, что быстронатекающая ползучесть тесно связана с разрушением (возможно, и уплотнением) структуры бетона под напряжениями сжатия разного уровня, причем этот процесс наиболее интенсивно протекает вслед за приложением нагрузки. Не исключено, что некоторая часть быстронатекающей ползучести обусловлена интенсивной миграцией влаги в порах бетона непосредственно после приложения нагрузки.

Библиографический список

1. Шербakov Е.Н. Особенности быстронатекающей ползучести бетона и способ прогнозирования этих деформаций. — В сб.: Исследования прочности бетона и железобетонных конструкций для транспортного строительства. — М.: ЦНИИС, 1990.

2. Арутюнян Н.Х., Александровский С.В. Современное состояние развития теории ползучести бетона. — В

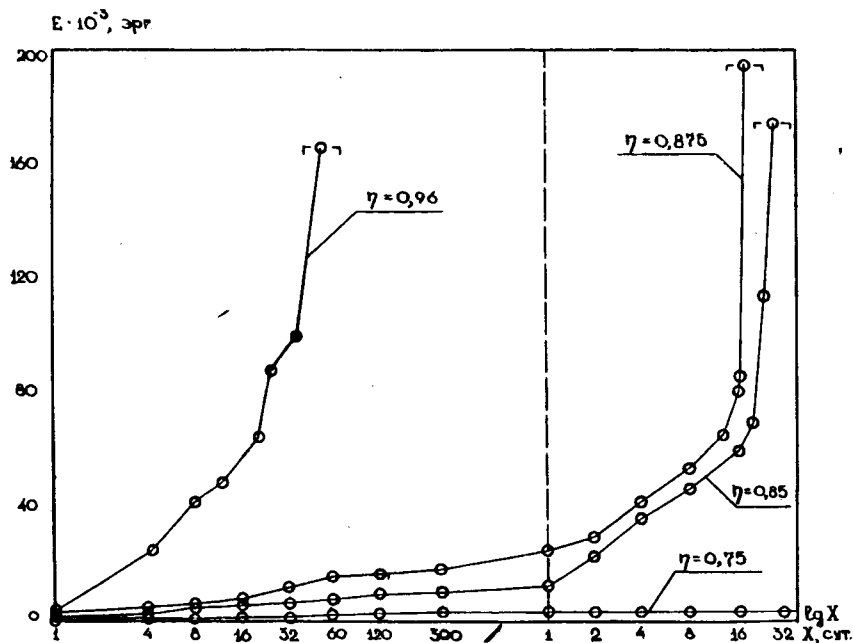


Рис. 3. Кинетика накопления повреждений в структуре бетона по данным измерений акустической эмиссии

— разрушение бетона под длительной нагрузкой

сб.: Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1976.

3. Щербakov E.H., Ажидинов С.С. Экспериментальное обоснование зависимости ползучести цементных бетонов от уровня сжимающих напряже-

ний. — Бетон и железобетон, 1994, №3.

4. Щербakov E.H., Ажидинов С.С. Функция времени и напряжений для прогнозирования разрушения бетона под длительной нагрузкой. — Бетон и железобетон, 1993, №12.

5. W a g h e r O. Das Kriechen

unbewerten Betons. — DAFS, H. 131, Berlin, 1958.

6. W i t t m a n n F. Bestimmung physikalischer Eigenschaften des Zementsteins. — DAFS, H. 232, Berlin, 1974.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

УДК 691.327:536.485

Г.В. НЕСВЕТАЕВ, канд. техн. наук, В.В. ЧЕРЕМИСИН, инж.
(Грозненский нефтяной ин-т)

Определение морозостойкости бетона по удельной работе деформирования

Разработка методов оперативного контроля морозостойкости бетона с целью оперативного управления технологическим процессом производства изделий с нормированной морозостойкостью является актуальной научно-технической проблемой. Многочисленные методы оперативного контроля морозостойкости не получили широкого распространения в стройиндустрии по ряду причин, среди которых дефицит низкотемпературного холодильного оборудования, позволяющего производить замораживание до минус 50°C, является, вероятно, одной из основных.

Заводам ЖБИ необходим метод определения морозостойкости, позволяющий получать результат в течение одной смены и реализуемый с помощью оборудования, доступного заводской лаборатории. Очевидно, что в основу такого метода должна быть положена оценка стойкости структуры бетона к знакопеременным температурным воздействиям.

Известно, что одной из главных причин разрушения структуры бетона при замораживании—оттаивании является процесс образования и развития микротрещин [1], сопровождающийся, в частности, снижением модуля упругости. Деформирование бетона в условиях одноосного сжатия также сопряжено со снижением модуля упругости вследствие превращения микроразрушений структуры в микротрещины [2]. В

связи с этим стойкость структуры бетона к микротрещинообразованию при деформировании в условиях сжатия должна характеризовать морозостойкость бетона.

В [3] в качестве критерия заторможности процесса развития микротрещин предлагается показатель K , равный отношению удельной работы разрушения к удельной работе упругой деформации при уровне нагружения испытуемого бетона, равном 0,5. Удельная работа разрушения определяется по площади петли гистерезиса на диаграмме

и характеризует работу по образованию микротрещин в структуре бетона. В [4] отмечается, что показатель K , определяющий скорость протекания процессов разрушения в материале, может быть использован для оценки структуры бетона. Однако для оценки стойкости структуры бетона знакопеременным структурным воздействием определение показателя K должно производиться не при произвольно выбранном уровне нагружения 0,5, а при уровне нагружения, характеризующем качественное изменение в структуре бетона. Таким значением является верхняя граница микротрещинообразования R_T , при которой микротрещины в цементном камне фиксируются микроскопом и превышение которой сопровождается интенсивно прогрессирующим процессом разрушения [2].

В наших исследованиях установлено, что модуль упругости тяжелого бетона на портландцементе при уровне нагру-

жения, равном значению верхней границы микротрещинообразования, снижается примерно на 40% в сравнении с начальным значением. В нормах США в качестве критерия морозостойкости принято снижение модуля упругости бетона на 44%. Очевидно, что одинаковое снижение модуля упругости как при многократном замораживании—оттаивании, так и при нагружении бетона до верхней границы микротрещинообразования является результатом идентичных изменений в структуре бетона при этих воздействиях.

Поэтому можно, видимо, считать, что стойкость структуры бетона к микротрещинообразованию, характеризующая величиной K_n , равной отношению удельной работы неупругих сил к удельной работе деформирования при уровне нагружения, равном верхней границе микротрещинообразования, должна определять морозостойкость бетона.

Для получения количественной зависимости морозостойкости бетона от величины K_n нами испытаны более 60 серий образцов из тяжелого и керамзитобетона. Образцы были изготовлены с использованием цемента трех заводов, мелкого заполнителя двух различных карьеров. В качестве крупного заполнителя применяли гранитный щебень, известняковый щебень двух карьеров, керамзитовый гравий двух заводов. Образцы твердели в нормальных условиях или пропаривались.

Расход цемента изменялся в пределах 250...500 кг/м³. Химические добавки не применялись. Возраст образцов в момент испытаний составлял от 28 сут до 1 года.

По полученным данным определяли величину K_n посредством построения диаграммы состояния бетона по методике [2] и нахождения по диаграмме геометрических эквивалентов удельной работы неупругих сил, а также удельной работы деформирования. Затем рассчитывали морозостойкость бетона в циклах замораживания—оттаивания при температуре замораживания минус 50°С (для ускорения испытаний). В результате испытаний получена зависимость $F = a \cdot e^{b \cdot K_n}$, где F — морозостойкость бетона при температуре замораживания минус 50°С, циклы; K_n — отношение удельной работы неупругих сил к удельной работе

деформирования в условиях одноосного сжатия при уровне нагружения, равном верхней границе микротрещинообразования испытываемого бетона; a, b — эмпирические коэффициенты (соответственно 111 и —2).

Полученная зависимость характеризуется значением $S_T/\bar{F}_\Phi = 0,19$. С вероятностью 0,95 при значении K_n не более 0,46 бетон будет иметь марку по морозостойкости F200, при значении K_n не более 0,22 — F300.

На основе полученной зависимости для заводов ЖБИ можно разработать систему оперативного контроля морозостойкости бетона и управления технологическим процессом. Ежедневная оценка морозостойкости бетона по величине K_n в перерывах между испытаниями по ГОСТ 10060—87 не требует дефицитного оборудования и доступна любой заводской лаборатории. Продолжительность ис-

пытаний не превышает 3 ч. Возможность оперативного контроля морозостойкости практически одновременно с контролем прочности бетона позволит повысить качество продукции при вероятном снижении затрат.

Библиографический список

1. Подвальный А.М. Элементы теории стойкости бетона и железобетонных изделий при физических воздействиях среды: Автореф. дисс. докт. техн. наук. — М.: НИИЖБ, 1986. — 41 с.
2. Берг О.Я., Шербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. — М.: Стройиздат, 1971. — 208 с., ил.
3. Иванов И.А., Григорьев А.В. Оптимизация структуры легких бетонов посредством измерения энергии их деформации: Исследования по технологии бетонов и железобетонных изделий. Вып. 1. — Казань, 1978. — С. 50..54.
4. Иванов И.А., Григорьев А.В., Нефедов В.В. Бортовой дорожный камень из керамзитобетона // Бетон и железобетон. — 1979. — № 11. — С. 22..24.

ИНФОРМАЦИЯ

Конференция по железобетону

В апреле 1994 г. в г. Новосибирске состоялась 4-я Сибирская конференция по железобетону, организованная Обществом железобетонщиков Сибири и Урала и Новосибирской государственной академией строительства. Ведущие ученые Новосибирска, Томска, Омска, Челябинска и Екатеринбурга представили результаты научных работ по широкому кругу вопросов. Значительная часть докладов и сообщений была посвящена прикладным задачам, имеющим сегодня наибольший спрос на научном рынке. Среди них — оригинальные способы реконструкции зданий и усиления их элементов (СибГАПС, НГАС, ТГАСА, СибАДИ, УралАрХИ), модификации сборных железобетонных конструкций применительно к реальным условиям заводского производства (НГАС, АОЗТ "ТЭЗИС") и др. Отрадно отметить тот факт, что ученые Сибири и Урала продолжают заниматься фундаментальными исследованиями и поисками новых конструктивных форм железобетона. В частности, интерес слушателей вызвали со-

общения об оценке прочности массивных железобетонных элементов численными методами (СибГАПС), расчете ростверков на температурные воздействия, экспериментальных исследованиях косвенного армирования оголовков свай, разработке новой конструкции балок, исследовании моделей армированных балок поляризационно-оптическим методом (все — НГАС), расчете оболочки двоякой кривизны на температурные воздействия (ЧГТУ).

Из вопросов, обсуждавшихся на конференции, особое внимание было уделено подготовке новых норм проектирования железобетонных конструкций. Отмечалось, что все очередные редакции норм неизбежно влекут за собой шлейф вспомогательной технической литературы (пособия, рекомендации, учебники и т.д.), без которой немисливо освоение новых методов проектирования. Обычная, 2—3-летняя, продолжительность подготовки и издания такой литературы в нынешних условиях может растянуться на

долгие годы, а приобретение книг в нужном количестве из-за высокой стоимости окажется непосильным делом для проектных организаций и учебных заведений, испытывающим серьезные материальные трудности.

Для смягчения этих негативных последствий было предложено: в случае введения в действие новых норм сохранить параллельное применение существующих норм на переходный период не менее 5 лет, что и было записано в решении конференции.

К открытию конференции был подготовлен очередной сборник научных трудов Общества, изданный на средства СибГАПС, НГАС и АОЗТ "ТЭЗИС".

Проведение 5-й Сибирской конференции намечено в 1995 г. в г. Новосибирске.

В.В. Габрусенко,
председатель Общества железобетонщиков Сибири и Урала,
канд. техн. наук

Новая ассоциация

В 1993 г. при содействии НИИЖБа, ЦНИИСКА и ЦНИИИПСКА создана (свидетельство о регистрации №1575 в Минюсте РФ) ассоциация "Пространственные конструкции" (АПК).

Ассоциация объединит специалистов и организации, осуществляющие исследования, проектирование и возведение оболочек, складок, сводов, стальных структур, висячих систем, резервуаров, силосов, водоводов, рамных и других пространственных конструкций.

АПК является коллективным членом международной ассоциации по оболочкам и другим пространственным конструкциям (ИАСС). С привлечением ведущих специалистов АПК выполняет исследования сооружений и их элементов, проектирование различных строительных конструкций любой сложности, содействует организации их изготовления и возведения, а также проводит обследование зданий и сооружений и экспертизы проектов, организует семинары, научно-технические конференции и экспедиции по России и за рубежом.

Ассоциацией руководит президиум, в который входят Г.К. Хайдуков (президент), В.В. Шугаев (вице-президент), П.Г. Еремеев (вице-президент), Л.И. Гольденберг, О.А. Курбатов, М.М. Лачинов, Б.В. Поповский, В.И. Травуш, В.И. Трофимов, Б.С. Соколов, В.И. Колчунов.

*Более подробные сведения можно получить
по тел. 171-02-96*

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

Технический редактор *Р.Я. Лаврентьева* Корректор *Н.Я. Шатерникова*

Подписано в печать 10.11.94 Формат 60x90 1/8 Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.
Усл.печ.л. 3,92. Усл.кр.-отт. 4,92. Уч.изд.л. 5,2. Тираж 1930 экз. Заказа № 1864

Адрес редакции:
Москва, Георгиевский пер., д. 1, строение 3, 3-этаж
Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул., 23а
Тел. 292-41-34

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

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН
предлагает для внедрения
ВОДОДИСПЕРСНЫЙ ГИДРОФОБИЗУЮЩИЙ
СОСТАВ “ВГС”

Предназначен для поверхностной гидрофобизации поризованных заполнителей и бетонов. Наносится методом распыления, струйного облива или окунания. Допускает последующую отделку, окраску и омоноличивание обработанных поверхностей.

Производится на основе побочных продуктов нефтехимии. Не токсичен, экологически безопасен.

По гидрофобизирующим свойствам приближается к кремнеорганическим жидкостям и эмульсиям типа ГКЖ-94, ФЭС-50, ПМФС, КЭ 30-04. Стоимость в 5—10 раз меньше стоимости КОС. Транспортируется в цистернах и бочках.

**Сравнительные показатели
водопоглощения материалов (W), мас. %**

Перлитобетон	95—99
Перлитобетон, обработанный ВГС . . . . .	.6—8
Перлитобетон, обработанный КЭ 30—04	3—4
Керамзит	15—20
Керамзит, обработанный ВГС . . . . .	.1—2
Пеногипс	87—101
Пеногипс, обработанный ВГС . . . . .	.18—27
Тяжелый бетон . . . . .	.4—9
Тяжелый бетон, обработанный ВГС	0,3—0,4

Предлагаются:
техническая документация, техническая помощь при внедрении,
поставка ВГС.

Обращаться:

111524 Москва, ул. Плеханова, 7,
тел.(095) 306-34-11, 306-33-46, Топильский Г.В.

Уважаемые читатели и подписчики нашего журнала!

Приглашаем Вас к сотрудничеству и предлагаем Вам стать прямым дилером издательства "Стройиздат" в Вашем регионе — представлять нашу продукцию в местных проектных, строительных и эксплуатационных организациях, направлять Каталог и другие рекламные материалы Стройиздата книготоргам, книжным магазинам, предприятиям соответствующего профиля и собирать заказы на книги.

Со своей стороны, издательство обязуется выдать Вам доверенность на эксклюзивное право проведения торговых операций на данной территории и предоставить разный процент торговой скидки на реализацию книжной продукции (условия нашего сотрудничества будут оговорены в заключенном с Вами контракте).

Если Вас заинтересовало предложение Стройиздата, то наиболее полную информацию Вы можете получить, позвонив непосредственно в отдел маркетинга издательства по телефону 978-62-55, факс — 978-79-00. Адрес для писем: **101442, Москва, Долгоруковская, 23а, Стройиздат, отдел маркетинга.**

**Надеемся на взаимовыгодные
контакты с Вами!**