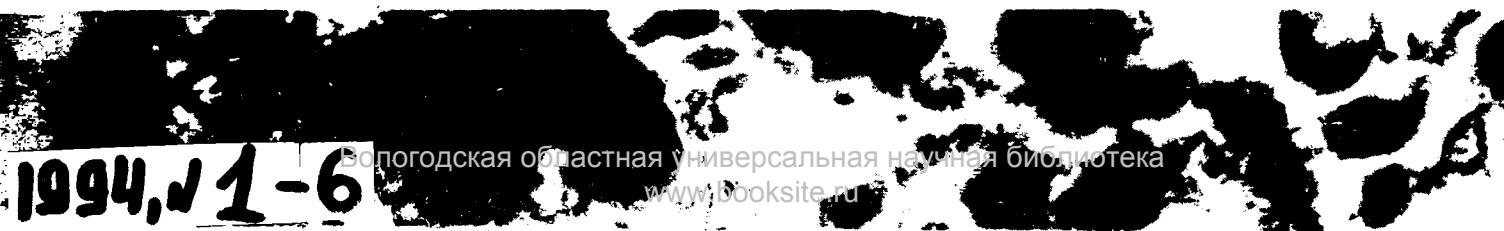
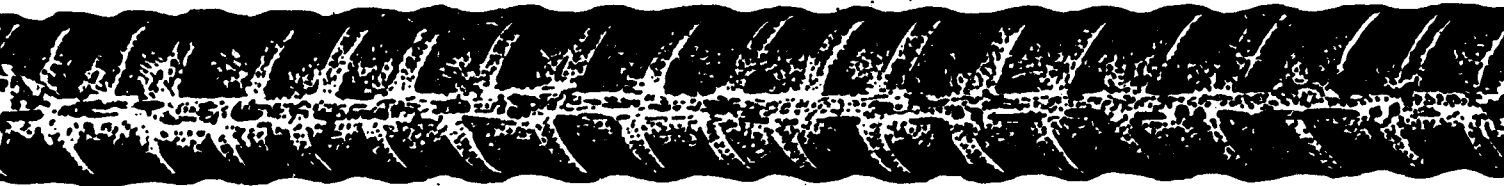
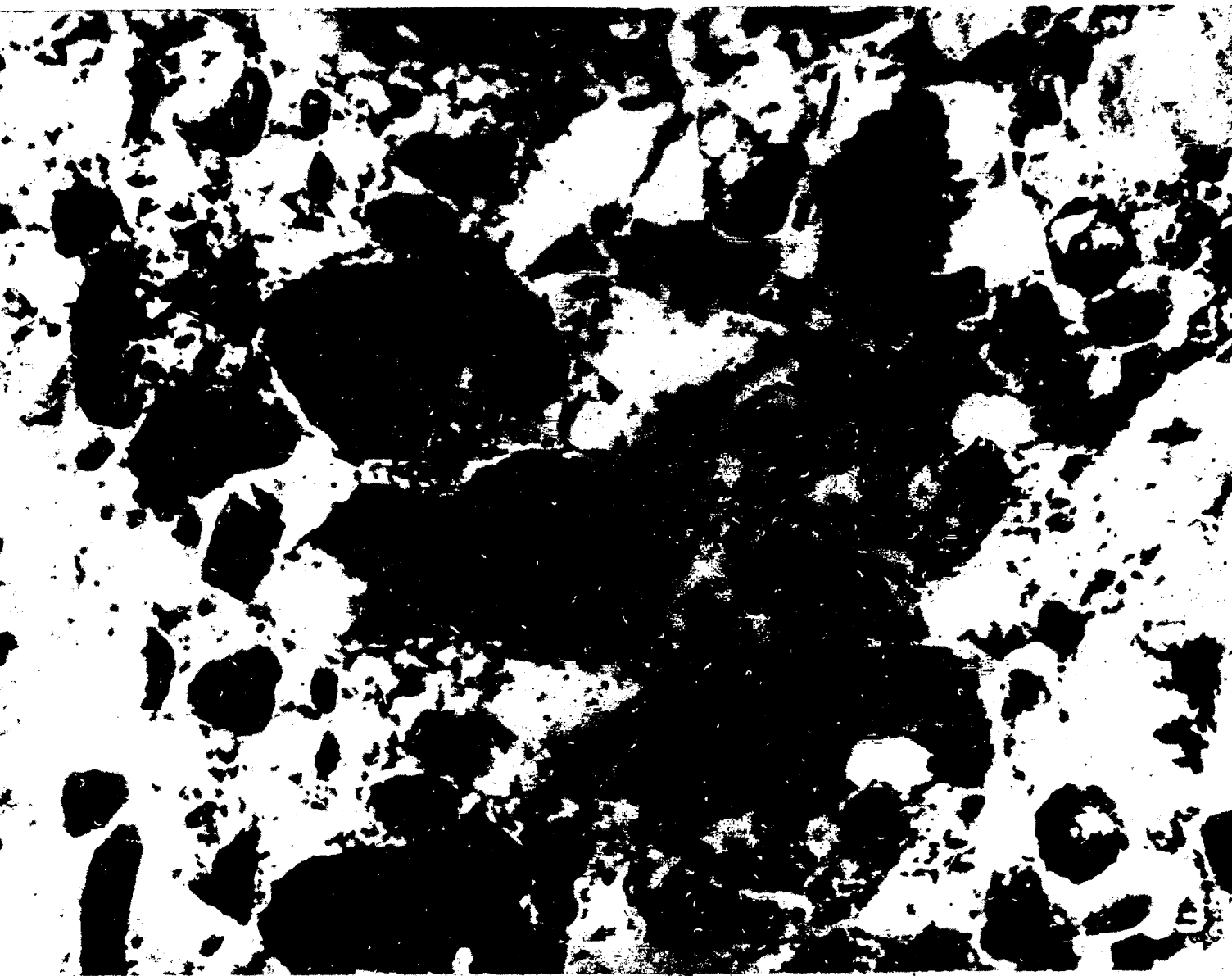


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1

1994



1994, № 1-6

ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОЙИНДУСТРИИ

Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) готов выполнить следующие работы:

● **восстановить в неограниченном количестве любые изношенные медные электроды контактных машин для точечной сварки арматуры посредством специальной износостойкой наплавки, а также отдельные детали этих машин — электрододержатели, токоподводы и т. п. Благодаря такой наплавке стойкость электродов при сварке проволочной арматуры диаметром 3...6 мм возрастет до 20 раз, при сварке стержневой арматуры диаметром 8...40 мм — в 5...6 раз.**

● **передать рекомендации по дуговой резке стержневой напрягаемой арматуры с помощью новых высокопроизводительных электродов марки ОЗР-2 и обеспечить их поставку в требуемом объеме.**

Их применение взамен электродов сварочных модификаций характеризуется снижением расхода электродов, уменьшением потребления электроэнергии, а также повышением производительности резки.

● **изготовить и поставить в неограниченном количестве устройства для сварки под флюсом арматуры в гражданском и промышленном строительстве.**

Производительность при сварке арматуры с помощью свариваемых анкеров — 8...14 м/ч.

● **поставить в неограниченном количестве устройства для сварки арматуры с помощью свариваемых анкеров, обеспечивающих снижение расхода электродов при жилищного и промышленного строительства и ширины плоского элемента.**

Для анкеров диаметром 8...14 мм обеспечивается возможность сварки арматуры диаметром до 40 мм.

Заявка №
109428.

Уч.
сварки.

Содержание

Конструкции

- Кодыш Э.Н., Лемыш Л.Л., Мордохович И.И., Трекин Н.Н., Янкилевич Л.М.* Универсальный узел сопряжения ригеля с колонной..... 2
Габрусенко В.В., Редько Ю.М., Малых Н.Е. Конструкция решетчатых балок пролетом 24 м 4

Бетоны

- Харченко А.В., Гиришель Г.Б.* Прочностные и деформативные свойства бетонов на тонкомолотых многокомпонентных цементах..... 5
Клевцов В.А., Коревицкая М.Г. Определение прочности сталефибробетона на неразрушающими методами..... 7
Титов В.А. Несущая способность и деформативность поперечного анкерующего стержня в ячеистом бетоне 9
Подмазова С.А. Высокопрочные бетоны на вяжущем низкой водопотребности 12
Гнатусь Н.А. Новый материал для легкобетонного строительства..... 14

Теория

- Чайка В.П.* Характеристики диаграмм неоднородного сжатия бетона 17

Вопросы качества

- Топильский Г.В., Образцов Н.А., Филатова И.В.* Энергосберегающая технология изготовления высококачественной цементно-песчаной черепицы..... 19

Долговечность

- Сетков В.Ю., Шибанова И.С., Рысева О.П.* Срок службы сборных железобетонных перекрытий промзданий в среде, содержащей хлор 24
Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В., Черемисин В.В. Оценка термоморозостойкости бетона по изменению модуля деформации при нагружении 26
Орловский Ю.И., Хоржевский В.И. Об условиях длительности пассивирующего действия серного бетона на стальную арматуру 28



МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1994

Вологодская областная универсальная научная библиотека

oblib.ru

УДК 691.328:624.078

Э.Н. КОДЫШ, д-р техн. наук, Л.Л. ЛЕМЫШ, И.И. МОРДУХОВИЧ, Н.Н. ТРЕКИН, Л.М. ЯНКИЛЕВИЧ, кандидаты техн. наук (ЦНИИпромзданий)

Универсальный узел сопряжения ригеля с колонной

Важнейшие характеристики каркасов многоэтажных зданий, такие как несущая способность, стоимость, трудоемкость изготовления и монтажа, а также эстетика внутренних помещений, определяются конструктивными особенностями узлов сопряжения ригелей с колоннами.

В наиболее массовых сборных конструкциях многоэтажных промышленных зданий (серии 1.020-1/87 и 1.020.1-4) использовано универсальное решение узлов для связевых и рамных каркасов. В этих конструкциях ригели опираются на скрытые железобетонные консоли колонн. В опорных зонах ригелей устраиваются глубокие подрезки, прямоугольная форма которых соответствует форме консолей колонн.

Фиксированное расстояние между железобетонными консолями, соответствующее определенным высотам этажей, приводит к тому, что для зданий с разными высотами этажей изготовление колонн ведется в разных опалубочных формах. Замена железобетонной консоли стальным столиком позволяет изготавливать колонны любой длины в гладких формах (например, в формах, используемых для изготовления свай) с последующей приваркой столиков к закладным деталям, установленным в нужных местах. Такое решение позволяет также отказаться от глубоких подрезок в опорных зонах ригелей, что существенно упрощает армирование этих зон.

В ЦНИИпромзданий разработано универсальное соедине-

ние ригелей с колонной, конструкция которого показана на рис. 1, а. Основным элементом узла сопряжения является скрытый металлический столик (в дальнейшем металлическая консоль), привариваемый к плоской закладной детали колонны 1. Столик состоит из горизонтальной пластины 2 и составного вертикального ребра 3, соединенных между собой угловым сварным швом по четырем линиям сопряжения. В пластине устроен сквозной паз с раззенкованным отверстием на конце. Составное ребро выполнено из пластины и приваренного к ней по всей длине арматурного стержня из стали класса А-III. В данной конструкции сопряжения отпадает необходимость в глубокой подрезке. В торце ригеля устроен вертикальный паз для размещения ребра консоли, а в зоне опирания предусмотрено закладная деталь 4 с прорезью, устанавливаемая вплотную к низу рабочей продольной арматуры таким образом, чтобы образовалась небольшая подрезка высотой не менее 30 мм. Подрезка в ригеле позволяет "скрыть" нижнюю поверхность столика путем заделки раствором до уровня низа ригеля по металлической сетке, приваренной к нижней поверхности пластины.

С целью опытной проверки работы предлагаемого узла сопряжения ригеля с колонной были проведены экспериментальные исследования, в задачу которых входило изучение напряженно-деформированного состояния металлической консоли, общего характера работы

узла и определение его фактической несущей способности.

Для испытаний была изготовлена рама, состоящая из двух фрагментов колонн и шестиметрового ригеля. Колонны защемляли в силовом полу, а ригель с обоих концов устанавливали на металлические консоли и закрепляли путем приварки боковых накладок из пластин ($\delta = 10$ мм), Металлические консоли изготовили двух типоразмеров, которые отличались между собой величиной вылета ребра и диаметром арматурного стержня (см. рис. 1, б). Нагрузку создавали с помощью двух гидравлических домкратов и прикладывали непосредственно к ригелю в четвертях пролета.

Одним из важных факторов, определяющих несущую способность консоли, является эксцентриситет приложения внешней нагрузки. В связи с этим особый интерес представляли характер распределения опорного давления ригеля на консоль и динамика его изменения в процессе нагружения. Для исследования этого фактора на горизонтальной пластине каждой консоли были предусмотрены силоизмерительные устройства в виде точечных динамометрических опор со сферической головкой, размещенных в точках, указанных на рис. 2, а. Давление на каждую опору определяли по его деформациям и тарировочному графику, построенному по силовым испытаниям на сжатие. Одновременный контакт всех динамометрических опор с опорной частью ригеля обеспечили путем предварительного нагружения с последующей разгрузкой.

Анализ опытных данных показал, что потеря несущей способности металлической консоли происходит вследствие достижения в вертикальном ребре напряжений, равных пределу текучести, и сопровождается разрушением сварных швов в плоскости боковых накладок.

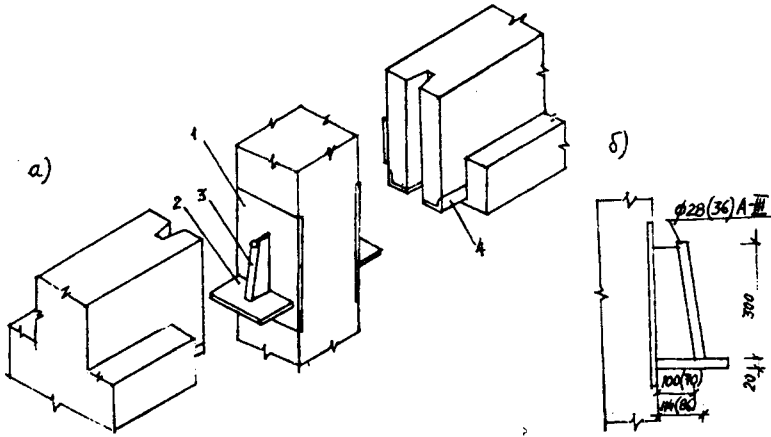


Рис. 1. Узел сопряжения ригеля с колонной (а) и геометрические размеры металлической консоли (б)

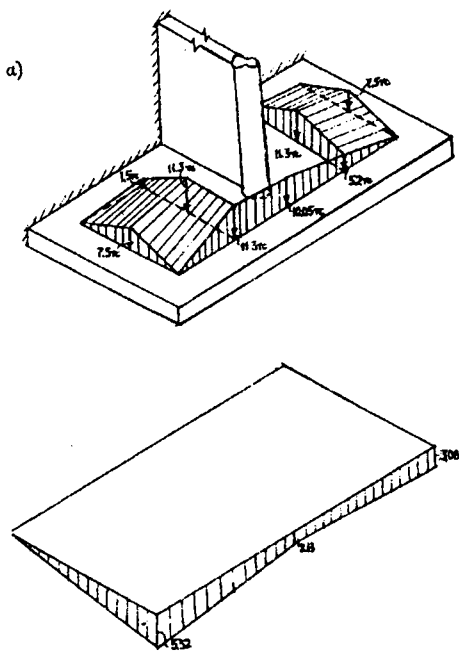


Рис. 2. Эпюры распределения опорного давления (а) и перемещений (б)

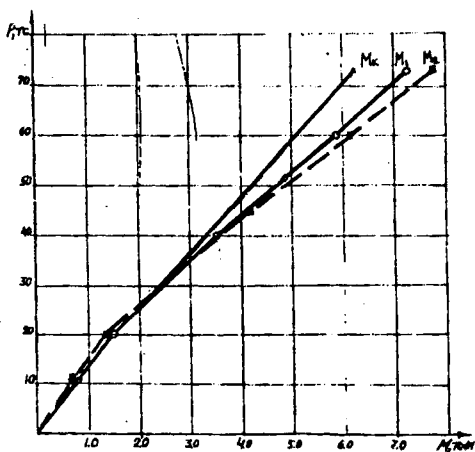


Рис. 3. График зависимости опорного изгибающего момента от внешней нагрузки

$$M_k = M_{\Pi} + M_p + M_s =$$

$$= \sigma_{\Pi} \frac{b_{\Pi} h_{\Pi}^2}{6} + \sigma_p \frac{\delta_p l_p^2}{3} +$$

$$+ \sigma_s A_s \left(l_p + \frac{d}{2} \right),$$

где M_{Π} , M_p , M_s — соответственно изгибающие моменты, воспринимаемые пластиной, ребром и арматурным стержнем консоли; σ_{Π} , σ_p , σ_s — нормальные напряжения соответственно в пластине, ребре и арматурном стержне; b_{Π} , h_{Π} — ширина и толщина пластины; A_s , d — площадь и диаметр арматурного стержня; δ_p , l_p — толщина и вылет ребра.

На графике рис. 3 линией M_k показано изменение изгибающего момента, определенного по представленному выражению. При этом величины внутренних усилий в элементах консоли принимались из опыта. Как видим, на стадии упругой работы наблюдается хорошая сходимость с экспериментальными данными. На этом этапе практически вся вертикальная нагрузка воспринималась ребром консоли. С развитием пластических деформаций по выражению получены несколько заниженные значения M_k . По всей видимости, это связано с перераспределением внутренних усилий.

Сопоставительный анализ конструкции сопряжения ригеля с подрезкой и скрытой железобетонной консолью и предлагаемого варианта стыка показал, что по расходу металла они практически одинаковы.

ВЫВОДЫ

1. Предложена и исследована конструкция сопряжения ригеля с колонной, которая может использоваться как в связевом, так и в рамном каркасах многоэтажных зданий. Крепление стальной консоли к колонне осуществляется путем ее приварки к плоской закладной детали, располагаемой по высоте колонны на требуемом уровне, что дает возможность использования одной типоформы для изготовления колонн зданий с различными высотами этажей.

2. Соединение обладает достаточной прочностью и жесткостью. При испытаниях максимальная нагрузка на консоль составила 72,5 тс.

На рис. 2, а показана эпюра распределения внешней нагрузки по плоскости столика консоли, построенная по показаниям динамометрических опор. Концентрация давления в предельной стадии происходит у ребра консоли. В угловых точках на концах вылета пластины получили максимальные прогибы и незначительные величины давления (см. рис. 2, б).

Опытная зависимость между внешним усилием и изгибающим моментом, показанная на рис. 3, имеет практически линейный характер (линии M_1 и M_2 построены соответственно для первой и второй консоли). Очевидно, что положение результирующей внешней нагрузки в процессе нагружения изменялось незначительно, и в среднем эксцентриситет для двух консолей составил $e = 10$ см. Это совпадает с серединой зоны опирания ригеля.

По данным замера деформаций на уровне линии сопряжения ребра с горизонтальной пластиной установлено, что при работе в упругой стадии нормальные напряжения в ребре распределялись по треугольному закону, с очевидным максимумом на арматурном стержне и незначительными по величине у "защемления". С появлением пластических деформаций эпюра нормальных напряжений приобрела трапецевидную форму.

Опираясь на экспериментальные данные для оценки несущей способности консоли, предложена зависимость, имеющая вид

В.В. ГАБРУСЕНКО (Новосибирский инженерно-строительный ин-т), Ю.М. РЕДЬКО (Новосибирский ин-т инженеров ж.-д. транспорта), кандидаты техн. наук, Н.Е. МАЛЫХ, инж. (Новосибирский инженерно-строительный ин-т).

Конструкция решетчатых балок пролетом 24 м

Предварительными расчетами установлено [1], что замена железобетонных стропильных ферм пролетом 24 м с высотой в коньке 3,3 м на решетчатые балки с высотой 2,4 м сулит немалую экономическую выгоду: несмотря на увеличение расхода материалов, на 10—15% сокращаются приведенные затраты за счет уменьшения эксплуатационных расходов (затраты на отопление, вентиляцию и пр.) в течение 50-летнего срока службы здания. Полученные результаты дали исходные материалы для разработки конструкции балок.

Из номенклатуры сегментных и безраскосных ферм пролетом 24 м в большинстве регионов России применяют конструкции под условные расчетные нагрузки до 11 кПа при шаге 6 м и до 6,5 кПа при шаге 12 м. Эти границы и были приняты для несущей способности решетчатых балок, которые рассчитывали на воздействие нагрузок от покрытия, фонарей и подвесного транспорта (последнее — только при шаге 6 м) грузоподъемностью до 5 тс. Эксплуатация конструкций предусмотрена в условиях обычной, слабо- и среднеагрессивной газовых сред.

Очертание верхнего пояса принято арочным (полигональным), практически повторяющим балочную эпюру изгибающих моментов от равных сосредоточенных сил с шагом 3 м. Такое очертание позволяет свести к минимуму поперечные силы в поясах и стойках и моменты в узлах [2]. Для обеспечения центровки усилий над опорами в крайних панелях верхнего пояса предусмотрена переменная высота сечения (см. узел 1 на рисунке). Пояса рассчитывали по прочности как нормальные сечения сплошных балок с учетом отверстий [3]. Рабочую арматуру верхнего пояса,

стоек и опорных участков принимали из стержней класса А-III, напрягаемую для нижнего пояса — из канатов класса К-7 (предусмотрен также вариант армирования стержнями класса А-IIIв).

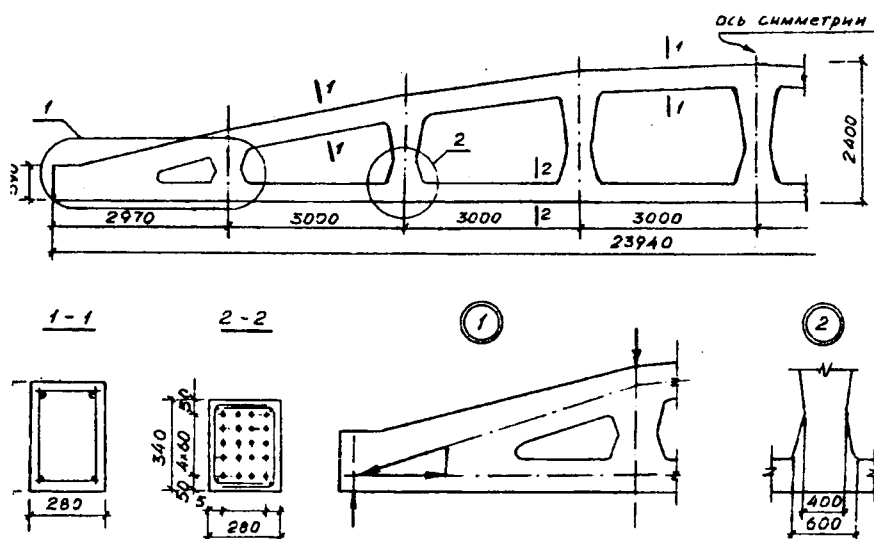
Расчет балок по образованию и раскрытию (закрытию) трещин выполняли на РСАТ 386/387 по специальной программе одновременно с составлением ключей нагрузок для подбора балок [4]. Конструкцию при этом рассматривали как статически неопределимую стержневую систему с жесткими стержневыми узлами. В качестве исходных данных были подготовлены схемы загрузки в виде сосредоточенных сил от каждой из четырех групп нагрузок — покрытия, снега, фонарей и кранов. Все возможные комбинации нагрузок определялись программно, для каждой выполнялись статический расчет и проверка трещиностойкости нижнего пояса и стоек.

Расчет начинали с балок самой низкой марки. Если при

какой-либо комбинации трещиностойкость не обеспечивалась, данную комбинацию относили к более высокой марке и проверку повторяли. В случае если недостаточной оказывалась трещиностойкость стоек, увеличивали диаметры рабочих стержней на 1—2 ступени против принятых расчетом прочности. Если и эта мера не помогала, то данную комбинацию также относили к следующей марке.

После составления ключей нагрузок выяснилось, что марки арочных балок соответствуют более высоким маркам безраскосных ферм. В некоторых областях нагрузок разница в марках составляет 2 единицы (например, балка 6-й марки соответствует ферме 8-й марки). Сравнение расхода материалов, выполненное с учетом этого обстоятельства, показало, что, проигрывая фермам по расходу бетона и напрягаемой арматуры, балки имеют примерно одинаковый с ними общий расход стали и одинаковые или меньшие классы бетона.

Таким образом, в результа-



Опалубочные размеры балок и схема армирования поясов

Наименование показателей	Марка по несущей способности						
	3/4	4/5	5/6	6/7	7/8	8/9	9/10
Класс бетона В	25/30	25/30	27,5/30	30/35	35/35	40/40	45/45
Число камер катанов 15к7	10/8	12/8	12/10	14/12	16/14	18/14	20/16
Общий расход стали, кг	572/606	680/675	695/761	795/898	908/952	983/1080	1150/1180

Примечание: Перед чертой — показатели балок, после черты — безраскосных ферм. Объем бетона балок — 6,2, ферм — 4,7 м³.

те рабочего проектирования расход материалов в балках оказался несколько ниже полученного при эскизном проектировании [1], т.е. приведенные затраты на балки будут еще меньше. К этому следует добавить не учтенное расчетами снижение технологических за-

трат, в частности, от уменьшения производственных площадей для изготовления конструкций. Например, в стел-камере вместо одной фермы пролетом 24 м можно изготавливать одновременно одну балку пролетом 24 м и две балки пролетом 12 м.

Библиографический список

1. Габрусенко В.В., Кузнецов С.М. Повышение эффективности железобетонных стропильных конструкций пролетом 24 м. // Известия вузов. Строительство. — 1991. — ± 10. — С. 5—7.
2. Габрусенко В.В. Влияние геометрии решетчатых балок на поперечные силы в поясах. // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала. Вып. 1. — Новосибирск, 1993. — С. 66—67.
3. Габрусенко В.В. Некоторые результаты экспериментальных исследований решетчатых балок. // Снижение материалоемкости и трудоемкости железобетонных конструкций. / Межвузовский сб. научн. трудов. — Омск.: ОмПИ, 1989. — С. 13—18.
4. Габрусенко В.В., Редько Ю.М. Составление ключей подбора решетчатых балок. // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала. Вып. 1. — Новосибирск, 1993. — С. 63—66.

БЕТОНЫ

УДК 691.327:539.376

А.В. ХАРЧЕНКО, Г.Б. ГИРШТЕЛЬ, кандидаты техн. наук (НИИСК)

Прочностные и деформативные свойства бетонов на тонкомолотых многокомпонентных цементах

Одним из путей увеличения объема производства цемента из наличного количества клинкера является введение в процессе его помола активных компонентов в виде минеральных добавок и отходов промышленности, а также увеличение тонины помола вяжущего с 2800 до 3500...4500 см²/г.

В НИИСКе проведены исследования многокомпонентных цементов (ТМЦ) с различными минеральными добавками и отходами промышленности. Исследования выполнены совместно с ПО "Киевинжцемент".

В качестве добавок на Украине могут быть использованы:

перлит — Береговское месторождение Закарпатской обл.; шлак — отходы производства чугунолитейного цеха завода "Красный экскаватор" (Киев); зола — отходы Трипольской ГРЭС Киевской обл.; горелая порода — отходы производства литейного цеха завода им. И. Лепсе (Киев) и ряд других отходов промышленности.

Удельный расход сырьевых материалов на приготовление ТМЦ различных марок представлен в табл. 1. В табл. 2 приведены прочностные характеристики бетонов на различных вариантах ТМЦ-40.

Из приведенных показате-

лей по расходу материалов и прочностных характеристик видно, что можно существенно (на 30—35% и более) сократить расход клинкера на производство вяжущего, что равноценно увеличению производства цемента на сэкономленном клинкере.

По прочностным показателям наиболее эффективной добавкой является перлит.

В 1990 г. ПО "Киевинжцемент" было изготовлено около 30 тыс.т ТМЦ с перлитом. Вяжущее выпущено под шифром ТВНКД в соответствии с ТУ 21-4882448-01-89. Учитывая достаточно значительный объем ис-

Таблица 1

Сырье, материалы	ТМЦ-50	ТМЦ-40	ТМЦ-30	ТМЦ-20
Клинкер	48	58	68	78
Перлит, шлак, горелая порода, зола	50	40	30	20
Гипс	2	2	2	2

Примечание. Цифры в марке ТМЦ характеризуют процентное содержание минеральной добавки в составе вяжущего.

Таблица 2

Вид добавки	В/Ц	ОК, см	Прочность на сжатие, МПа	
			ТВО	28 сут естественного твердения
Зола Запорожской ТЭС	0,47	4,5	23,3	32,2
Шлак завода "Большевик"	0,43	4,5	23,5	34,3
Шлак чугунолитейного производства	0,45	4,8	22,4	40,0
Шлак завода "Красный экскаватор"	0,48	4,5	30,0	38,7
Горелая порода завода им. Лепсе	0,48	4,5	29,4	41,1
Мергель	0,45	4,5	9,6	15,0
Перлит	0,34	4,2	42,2	57,5
Бездобавочный цемент	0,35	4,5	32,3	42,6

пользования этого вяжущего при выпуске железобетонных конструкций различного назначения, исследования прочностных и деформативных свойств бетонов выполнены на ТВНКД-40.

Исследования проводились на бетонах пяти составов. Характеристика составов, их шифр приведены в табл. 3. Подбор составов производился таким образом, чтобы прочность бетонов на ТМЦ с добавкой перлита соответствовала классам В15, В40

и одному промежуточному классу, подбирались также два контрольных состава на цементном клинкере с проектной прочностью бетона В15 и В40. Для всех составов использовался режим с термовлажностной обработкой (ТВО). Методом прямых испытаний определялись следующие характеристики: кубиковая прочность R_c , призмная прочность R_b и начальный модуль упругости. Результаты кратковременных испытаний (среднее по сериям) приведены в табл. 4.

Сопоставление кубиковой прочности (R_{15}) бетонов на ТМЦ (1-ТС и 3-ТС) и на соответствующих контрольных составах (1-ТК и 2-ТК) свидетельствует о заметном расхождении в прочности: в первом случае на +30%, во втором — на -12%, т.е. прямое сопоставление по составам было бы некорректным. Поэтому анализ результатов производился отдельно по контрольным составам и по основным составам. По результатам кратковременных испытаний можно сделать следующие выводы.

1. Приращение прочности после ТВО R_{10} (на 28 сут) R_{10} (на 1 сут)

составляет для бетонов составов ТК 177%, составов ТС-170%, что позволяет говорить о примерно одинаковой интенсивности набора прочности бетонов.

2. Отношение модуля упругости к кубиковой прочности (E_b/R_b) для бетонов составов ТК примерно на 14% ниже, чем для бетонов составов ТС; т.е. бетоны на ТМЦ обладают повышенным сопротивлением упругому деформированию.

3. Повышение расхода вяжущего ТВНКД-40 с 225 до 430 кг на 1 м³ бетона приводит при прочих равных условиях к увеличению прочности более чем в 2,5 раза, модуля упругости — в 2 раза.

Наряду с кратковременными испытаниями проводились исследования деформаций усадки и ползучести бетонов указанных составов.

В табл. 5 приведены значе-

Таблица 3

Шифр	Вид вяжущего	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг					ОК, см	γ , кг/м ³	Воздухов- лечение	В/Ц
		вяжущее	песок	щебень	вода	добавка С-3, л				
1-ТК	Клинкерный цемент*	260	716	1203	189	—	5	2328	1,2	0,727
2-ТК	"	370	680	1212	135	—	2,5	2320	2,0	0,365
1-ТС	ТВНКД-40**	225	850	1200	145	3,2	6	2258	6,0	0,644
2-ТС	"	330	754	1200	145	5,6	6	2248	7,5	0,439
3-ТС	"	430	663	1200	145	7,36	2	2524	4,2	0,337

* Состав цемента: клинкер Каменец-Подольского завода — 95%, гипс — 5%.

** Состав ТВНКД-40: клинкер Каменец-Подольского завода — 57%, перлит — 40%, гипс — 3%.

Таблица 4

Шифр состава	R_{10}		R_{15}	R_b	$E_b \cdot 10^{-4}$
	на 1 сут	на 28 сут	на 28 сут		
1-Т	12,8	25,4	24,1	17,9	2,56
2-ТК	35,5	55,3	53,3	41,4	3,75
1-ТС	9,5	16,2	16,8	11,0	2,07
2-ТС	16,8	31,9	31,8	27,9	3,11
3-ТС	42,2	62,7	59,8	54,4	4,10

Таблица 5

Шифр состава	Деформации усадки $\epsilon_{sh} \cdot 10^5$		Деформации ползучести $\epsilon_c \cdot 10^5$	Характеристика ползучести $\varphi_t(230, 28)$	Мера ползучести $C(230, 28) \times 10^5$, МПа
	на 21 сут	на 230 сут			
1-ТК	13,4	18,4	58,6	2,77	10,8
2-ТК	12,3	19,0	61,8	1,8	4,8
1-ТС	16,6	21,9	66,4	4,1	19,8
2-ТС	14,3	20,6	68,2	2,52	8,1
3-ТС	-13,3	19,8	72,1	1,78	4,1

ния (средние по образцам серии) величин деформаций усадки и ползучести, зафиксированные на конец наблюдений (220.260 сут); там же даны вы-

численные значения характеристики $\varphi_t(230, 28)$ и меры ползучести $C(230, 28)$ исследуемых составов в указанный период времени.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Деформации усадки бетонов всех пяти составов не имеют существенных отличий — количественные отклонения находятся в пределах естественно-го разброса.

2. Сопоставление деформаций ползучести близких по прочности бетонов составов ТК и ТС свидетельствует о повышенной (в пределах 15—20%) деформативности бетонов с добавкой перлита.

3. Численные значения характеристик и мер ползучести исследуемых составов говорят о том, что основным фактором, определяющим интенсивность развития ползучести, является водоцементное отношение, причем для составов ТС это влияние более существенно. Так, увеличение В/Ц примерно в 2 раза приводит, соответственно, к повышению меры ползучести для бетонов составов ТК примерно в 2 раза, а составов ТС — даже 4,5 раза.

УДК 691.147:691.327

В.А. КЛЕВЦОВ, д-р техн. наук, проф.,
М.Г. КОРЕВИЦКАЯ, канд. техн. наук
(НИИЖБ)

Определение прочности сталефибробетона неразрушающими методами

Данные о возможности использования неразрушающих методов для контроля прочности фибробетона до последнего времени отсутствовали. В связи с этим в НИИЖБ были начаты исследования, имеющие своей задачей оценить возможность использования неразрушающих методов для контроля прочности фибробетона на сжатие.

В исследованиях использовали ультразвуковой импульсный метод, метод пластической деформации при ударе, метод пластической деформации при вдавливании, метод упругого отскока и метод отрыва со скалыванием. В основу методики проведения исследований было

положено сопоставление градуировочных зависимостей "косвенная характеристика неразрушающего метода — прочность бетона", построенных для использованных неразрушающих методов для фибробетона и мелкозернистого бетона того же состава, что и матрицы фибробетона. Это позволило достаточно четко выделить влияние фибры на градуировочные зависимости.

Было изготовлено три серии образцов-кубов размером 15x15x15 см. Серии отличались цементно-водным отношением для того, чтобы иметь достаточный диапазон разброса прочности. Для изготовления образцов

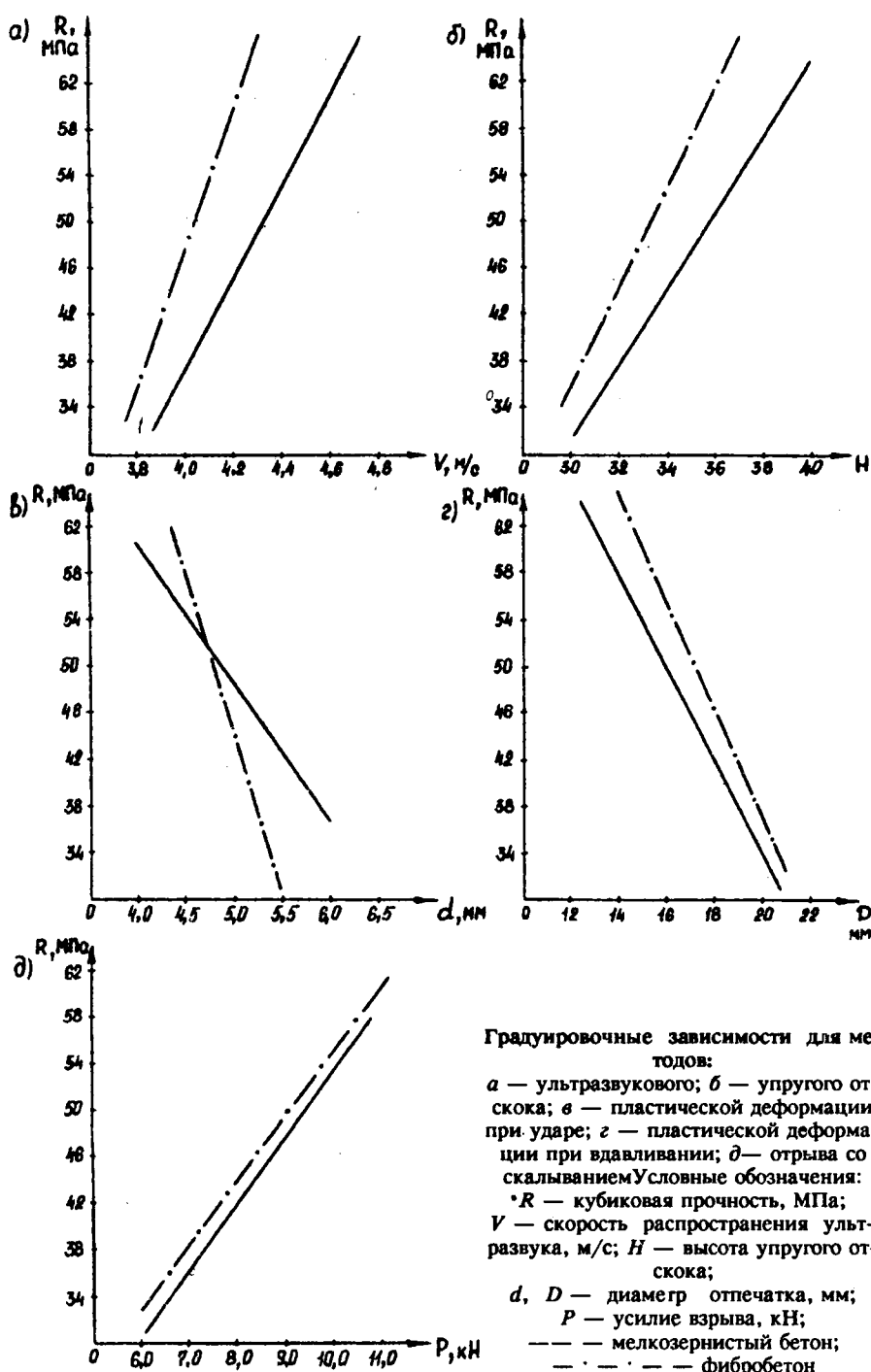
использовались цемент марки 400, песок с модулем 2, фибра из отходов стального листа. В табл. 1 приведен состав бетонной смеси.

В состав каждой серии входило 35 кубов из фибробетона и 35 кубов из мелкозернистого бетона. Твердели кубы в естественных условиях и испытывались спустя три месяца после изготовления. 30 кубов из каждой серии испытывались сначала всеми неразрушающими методами (кроме метода отрыва со скалыванием), а затем под прессом. 5 кубов из каждой серии испытывались методом отрыва со скалыванием.

Использовались следующие

Таблица 1

№ серий	Вид бетона	Цемент, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Вода, л/м ³	Фибра, кг/м ³
I	Мелкозернистый	558	1395	201	—
	Фибробетон	558	1395	201	78
II	Мелкозернистый	632	1377	201	—
	Фибробетон	632	1377	201	78
III	Мелкозернистый	468	1501	201	—
	Фибробетон	468	1501	201	78



приборы:

ультразвуковой прибор УК-14П;

прибор Ц-22;

прибор Шмидта типа N с записью величин упругого скака на ленту;

сферы штампа НИИЖБа $\varnothing 45$ мм, установленные в прессе и вдавливаемые усилием 3 тс;

прибор ПИБ с анкером, имеющим глубину заделки 20 мм.

Перед испытанием неразрушающими методами кубы измеряли и взвешивали, по полученным результатам вычисляли их плотность. Кроме того, на фибробетонных образцах производились измерения магнитным прибором типа ИЗС. Результаты этих измерений являлись показателем содержания фибры в образцах. Анализ полученных данных выявил, что в I серии фибробетонных образцов имел место существенный разброс плотности (коэффициент вариации 4,9%), для этих же образцов отмечен высокий разброс показаний прибора ИЗС.

Испытание неразрушающими методами проводилось в следующей последовательности. Сначала кубы испытывали ультразвуковым методом способом сквозного прозвучивания через две боковые грани каждого образца. Затем на других боковых гранях проводились испытания методом пластических деформаций при ударе и методом упругого отскока. Затем проводились испытания методом пластических деформаций при вдавливании. Все испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 22690—88. После испытаний неразрушающими методами образцы испытывались до разрушения по ГОСТ 10180.

Для каждого использованного неразрушающего метода были построены градуировочные зависимости. Методика их построения и оценка надежности принята по ГОСТ 22690—88. При этом в качестве единичных значений принимались результаты испытаний одного образца. На рисунке приведены градуировочные зависимости, а в табл. 2 коэффициенты вариаций градуировочных зависимостей.

Из приведенных данных следует, что все установленные

Таблица 2

Наименование метода	Вид бетона	$S_T / \bar{R}_\phi \cdot 100\%$
Ультразвуковой	Мелкозернистый	9,83
	Фибробетон	7,69
Упругого отскока	Мелкозернистый	13,3
	Фибробетон	12,76
Пластической деформации при ударе	Мелкозернистый	12,17
	Фибробетон	10,58
Пластической деформации при сдавливании	Мелкозернистый	8,55
	Фибробетон	10,55
Отрыва со скалыванием	Мелкозернистый	12,66
	Фибробетон	9,69

градуировочные зависимости удовлетворяют требованиям ГОСТ 22690—88. Делать выводы о каких-то закономерных

влияниях фибры на характер градуировочных зависимостей пока рано. Следует иметь в виду, что на полученные резуль-

таты, помимо наличия фибры, влияние оказал разброс плотности бетона образцов.

Интересен результат, полученный для метода отрыва со скалыванием: градуировочная зависимость для мелкозернистого бетона и фибробетона оказалась практически единой. Однако вопрос о возможности использования универсальной градуировочной зависимости при испытании фибробетона методом отрыва со скалыванием требует дополнительных исследований.

Из полученных результатов следует, что для контроля прочности фибробетона непосредственно в конструкциях могут использоваться перечисленные в статье методы. При этом во всех случаях должны строиться градуировочные зависимости в соответствии с требованиями ГОСТ 22690-88.

УДК 666.973.6

В.А. ТИТОВ, инж. (МНИПТИ "Стройиндустрия")

Несущая способность и деформативность поперечного анкерующего

Результаты работ по исследованию поведения, арматуры в ячеистом бетоне, проведенные в течение последних лет, позволили пересмотреть существующие представления о несущей способности и деформативности поперечного стержня и предложить новые формулы для его расчета.

Величина анкерующего усилия, воспринимаемая поперечным стержнем при сосредоточенном нагружении его продольной арматурой, в общем виде может быть представлена выражением

$$N_{ан} = \int_0^1 \sigma_i d \sigma_i d_a l_{раб} \quad (1)$$

где $\sigma_i d \sigma_i$ — площадь единичной (по длине стержня) эпюры напряжений (реакции основания) при рассматриваемом уровне напряжений; d_a — диаметр арматуры; $l_{раб}$ — рабочая длина поперечного стержня.

Зависимость между анкерующим усилием, воспринимаемым поперечным стержнем, и его перемещениями представлена на рис. 1, а.

Рассмотрим поочередно составляющие, входящие в формулу (1).

Выражение $\int \sigma_i d \sigma_i$ представляет собой эпюру напряжений в бетоне под арматурным стержнем на единичной длине. Связь между напряжениями в бетоне и перемещениями стержня была исследована на опытах со стержнем, вдавливаемым в бетон при равномерном нагружении его по длине [1]. Зависимость напряжения — перемещения ($\sigma_i - \Delta_i$) представлена на рис. 1, б.

Зависимость следует рассматривать в двух диапазонах перемещений.

1. От нуля до перемещений,

соответствующих моменту достижения напряжениями максимальных значений $\sigma_{\text{макс}}$. С учетом нелинейности величины напряжений в рассматриваемом диапазоне определяют по формуле

$$\sigma_i = \Delta_i SK, \quad (2)$$

где Δ_i — перемещения стержня; S — функция нелинейности, равная $1,7 - 0,7 \frac{\Delta_i}{\Delta_{\text{макс}}}$; $\Delta_{\text{макс}}$ — величины перемещений стержня, соответствующие моменту достижения напряжениями максимальных значений $\sigma_i = \sigma_{\text{макс}}$; K — коэффициент пропорциональности.

2. При перемещениях, превышающих $\Delta_{\text{макс}}$, напряжения в бетоне постоянны и равны $\sigma_{\text{макс}}$.

По полученным опытным данным и по результатам исследований Добрынина Е.Н. [2] величина максимальных напряжений может быть принята равной $3R_{bh}$, а соответствующие им перемещения не превышающими 0,4 мм.

При работе поперечного стержня по схеме, приведенной на рис. 2, а, форма и площадь эпюры напряжений на единичной длине оказывается зависимой от диапазона перемещений. Эпюра перемещений в обоих случаях остается треугольной (рис. 2, б, г). Форма эпюры перемещений определена опытным путем замером перемещений отдельных участков стержня [3].

До перемещений, не превышающих величины $\Delta_{\text{макс}}$, эпюра напряжений имеет форму, показанную на рис. 2, в, а ее площадь равна

$$\int_0^1 \sigma_i d\sigma_i = \int_0^1 \left[\Delta_i \left(1,7 - 0,7 \frac{\Delta_i}{\Delta_{\text{макс}}} \right) K \right] d\Delta_i = K \Delta_i \left(0,85 - 0,233 \frac{\Delta_i}{\Delta_{\text{макс}}} \right). \quad (3)$$

В дальнейшем эпюра приобретает прямоугольный участок (рис. 2, д) и ее площадь оказывается равной

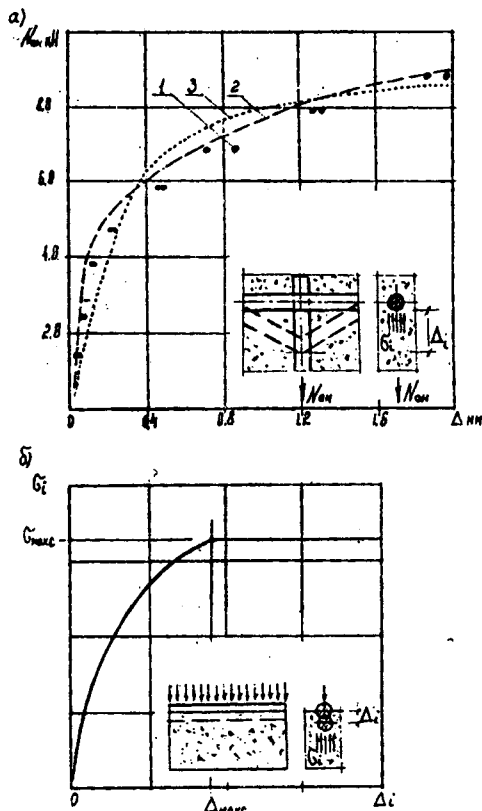


Рис. 1. Графики зависимостей анкерующая способность — перемещения и напряжения — перемещения а — зависимость между анкерующей (несущей) способностью поперечного стержня и его перемещениями; б — зависимость между напряжениями в бетоне под стержнем и перемещениями стержня; 1 — опытные данные; 2 — по формуле; 3 — по формуле

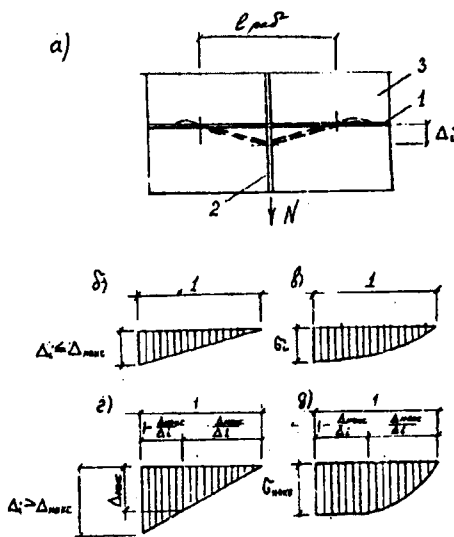


Рис. 2. Эпюры перемещений поперечного стержня и напряжений в бетоне под стержнем а — схема перемещений; б, г — эпюры перемещений на единичной длине; в, д — эпюры напряжений на единичной длине; 1 — поперечный стержень; 2 — продольный стержень; 3 — ячеистый бетон

$$\int_0^1 \sigma_i d\sigma_i = \int_0^1 \left[\Delta_i \left(1,7 - 0,7 \frac{\Delta_i}{\Delta_{\text{макс}}} \right) K \right] d\Delta_i \times \left[\frac{\Delta_{\text{макс}}}{\Delta_i} + \sigma_{\text{макс}} \left(1 - \frac{\Delta_{\text{макс}}}{\Delta_i} \right) \right] = \Delta_{\text{макс}} K \left(1 - 0,383 \frac{\Delta_{\text{макс}}}{\Delta_i} \right). \quad (4)$$

Рабочая длина поперечного стержня $l_{\text{раб}}$ принимается равной удвоенному расстоянию от точки приложения нагрузки (места приварки продольного стержня) до точки, в которой давление стержня на бетон равняется нулю (рис. 2, а).

Макаричев В.В. рекомендовал определять величину рабочего участка стержня по формуле

$$l_{\text{раб}} = 2,4 d_a \sqrt{\frac{E_s}{E_b}}. \quad (4)$$

Добрынин Е.Н. предложил упростить формулу (4) и пользоваться выражением

$$l_{\text{раб}} = 12 \frac{d_a}{a}. \quad (5)$$

Согласно теории упругости (плоская задача), рабочая длина стержня, как балки, нагруженной сосредоточенной силой, равна

$$l_{\text{раб}} = 3 d_a \sqrt{\frac{E_s}{E_b}}. \quad (6)$$

Однако наиболее близки опытным данным величины рабочих длин стержней, получаемые по формуле

$$l_{\text{раб}} = 2,4 d_a \sqrt{\frac{E_s}{k d_a}}. \quad (7)$$

Объединяя приведенные выше формулы и выражения, по-

лучаем две формулы для определения анкерующей способности поперечного стержня:

при перемещениях $\Delta_i \leq \Delta_{\text{макс}}$

$$N_{\text{ан}} = K \Delta_i (0,85 -$$

$$- 0,233 \frac{\Delta_i}{\Delta_{\text{макс}}}) d_a^{2,4} d_a \sqrt{\frac{E_s}{k d_a}} \quad (8)$$

при перемещениях $\Delta_i > \Delta_{\text{макс}}$

$$N_{\text{ан}} = K \Delta_{\text{макс}} (1 -$$

$$- 0,383 \frac{\Delta_{\text{макс}}}{\Delta_i}) d_a^{2,4} d_a \sqrt{\frac{E_s}{k d_a}} \quad (9)$$

Формулы 8 и 9 несколько неудобны для практического использования и поэтому могут быть заменены эмпирической зависимостью силы $N_{\text{ан}}$ от R_{bn} , d_a и Δ_i , представленной в виде выражения

$$N_{\text{ан}} = 110 R_{\text{bn}} d_a^2 \Delta_i^{1/4} \quad (10)$$

Из преобразованной формулы (10) можно определить перемещения поперечного стержня при заданной силе и принятом диаметре стержня или необходимом диаметре стержня по заданной силе и перемещению.

Формула (10) включает четыре переменные величины, которые могут принимать различные значения, обусловленные всякого рода ограничениями. Призмная прочность бетона назначается по условиям, не относящимся непосредственно к рассматриваемым формулам. Усилие, которое должен воспринимать стержень, зависит в определенной степени от его функционального назначения (поперечный стержень для анкеровки продольной рабочей арматуры, поперечный стержень в

закладной детали и т.д.). Внешнее усилие, как правило, известно. Основная задача состоит в подборе диаметра стержня и числа поперечных стержней при условии введения ограничения на величину перемещения стержня.

В настоящее время принято считать, что несущая способность группы поперечных стержней прямо пропорциональна числу их в группе. Это положение закреплено в действующем Пособии по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистого бетона введением коэффициента n_a . Однако имеются опытные данные, противоречащие принятому положению. По данным Шеффлера [4], величина n_a для двух стержней колеблется от 1,2 до 1,6; для трех и четырех составляет в среднем 1,9 и 2,4 соответственно. По данным Рюша [5], величина n_a для двух стержней равна 1,2. Близкие величины были получены и Добрыниным Е.Н. [2].

Проведенные собственные эксперименты показали, что при одинаковых перемещениях зависимость между числом стержней и их несущей способностью не является прямо пропорциональной. По полученным результатам можно принять $n_2 = 1,2$; $n_3 = 1,5$; $n_4 = 2,1$ [6].

Достаточно близко к опытным данным располагается зависимость вида $\sqrt{n_a}$, которая и может быть предложена для использования в формулах расчета анкерующей способности поперечных стержней в конструкциях из ячеистого бетона.

Еще одно условие, заложенное в Пособии, представляется не достаточно правомочным. Это суммирование анкерующей способности продольного и поперечного стержней.

Характер работы продольного и поперечного стержней различны. Анкерующая способность продольного обеспечивается сцеплением его с бетоном, поперечного — несущей способностью бетона на местное смя-

тие. Соответственно различны и диапазоны перемещений (деформации) стержней относительно бетона, в которых анкерующая способность реализуется. Сцепление срабатывает в пределах деформаций сдвига, измеряемых для ячеистого бетона долями миллиметра. По имеющимся опытным данным, деформации сдвига в среднем не превышали 0,1 мм. В то же время анкерующая способность поперечного стержня нарастает по мере вдавливания его в бетон. Деформации (перемещения) поперечного стержня в направлении прикладываемых усилий свободно достигают нескольких миллиметров.

Теоретически возможно суммирование анкерующей способности продольного и поперечного стержней, но при этом анкерующую способность последнего следует рассчитывать при перемещениях, не превышающих 0,1 мм. В этом случае анкерующая способность поперечного стержня не превысит 10% его реальной несущей способности.

Библиографический список

1. Медин С.М., Титов В.А., Зубанов А.В. Свойства ячеистого бетона под поперечным анкерующим стержнем. В Сб. ВНИИСтром 62/90, М., 1987 г.
2. Добрынин Е.Н. Исследование прочности и деформативности ячеистого бетона объемного веса 500-550 кг/м³ в изгибаемых конструкциях из него. Дис. на соиск.уч.ст. канд.техн.наук, Свердловск, 1970 г.
3. Титов В.А., Медин С.М. Исследование анкерующей способности поперечной арматуры в конструкциях из ячеистого бетона. В Сб. ВНИИСтром 54/82, М. 1985 г.
4. Schaffler H. Varsuche uber die Verankerung der Bewehrung in Jasbeton. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton. H. 136. Berlin, 1960.
5. Rehm J. Uber die Grundlagen des Verbundes swischen Stah und. Beton. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton. H. 138. Berlin, 1961.
6. Титов В.А. Зависимость анкерующей способности поперечных арматурных стержней от их числа в конструкциях из ячеистого бетона. В Сб. МНИПТИ "Стройиндустрия", М., 1991 г.

Высокопрочные бетоны на вяжущем низкой водопотребности

В настоящее время разработано вяжущее низкой водопотребности (ВНВ), которое позволяет получать высокопрочные (классы выше В40) бетоны. Вяжущее изготавливают нескольких видов, например ВНВ-100, ВНВ-50. Цифра показывает количество клинкера в составе вяжущего. В случае ВНВ-50 50% по массе приходится на минеральные добавки типа кварцевого песка, шлака, золышлаковой смеси, введенных при помоле вяжущего. Низкая водопотребность ВНВ — свойство, которое отличает его от цементов общестроительного назначения.

В табл. 1 представлены физико-механические характеристики ВНВ, изготовленных на основе Белгородского цемента (испытания проведены по ГОСТ 310.3; 310.4).

Цементы общестроительного назначения имеют нормальную плотность (ρ) в пределах 25...30%; для ВНВ этот показатель находится в пределах 16...20%.

Как видно из табл. 1, в стандартные испытания введена дополнительная характеристика активности цемента в 28-суточном возрасте после пропаривания, так как отмечено, что цементы в зависимости от химико-минералогического состава и режимов твердения к 28 сут показывают различную активность.

При подборах состава бетона для сборного железобетона необходимо иметь сведения и кинетике твердения цементов и вяжущих для обеспечения требований проекта по отпускной (передаточной) и марочной прочности.

На результаты оценки активности вяжущего влияют два основных фактора:

1. Собственно активность как функция химико-минералогического состава, удельной по-

верхности и некоторых других свойств, присущих испытываемому вяжущему.

2. Метод определения активности вяжущих, в том числе состава раствора, применяемого для изготовления контрольных образцов, а также режимы изготовления и твердения.

Для оценки качества раствора, изготовленного по ГОСТ 310.4 на исходном цементе и на ВНВ, произведен расчет пористости цементно-песчаного раствора (до гидратации и без учета раздвижки зерен стандартного песка). Объем цементного теста рассчитывали по цементно-песчаному раствору, приготовленному при соотношении цемента к песку 1:3 (ГОСТ 310.4). Объем теста из исходного цемента в растворе составляет 350 см³.

Пористость стандартного раствора показана в табл. 2.

Как видно из табл. 2, объем теста, изготовленного на ВНВ, меньше, чем объем теста из рядового ПЦ.

Если принять объем теста из портландцемента и объем незаполненных пустот раствора, изготовленного по ГОСТ 310.4 на этом цементе, за величину, которую следует воспроизводить при изготовлении контрольных образцов на ВНВ, то по интерполяции следует назначать соотношение вяжущих и песка 1:2,75 или 1:2,5 в зависимости от вида ВНВ. Очевидно, что при увеличении объема теста, соответствующего объему теста на рядовом ПЦ, за счет повышения плотности раствора будет возрастать показатель активности вяжущего.

Для исследования характеристик поровой структуры раствора при различных соотношениях вяжущего и песка определяли показатели кажущейся (W_0) и истинной ($W_{ист}$) пористости по ГОСТ 12730.2 и

12730.4. Структура порового пространства цементно-песчаного раствора и бетона обычно характеризуются его объемом, распределением пор по размерам, так как именно они, с одной стороны, оказывают наибольшее влияние на важнейшие физико-механические свойства растворов и бетонов и, с другой стороны, наиболее чувствительны к изменению технологических факторов производства. Направленно изменяя эти факторы, можно активно влиять на свойства растворов в бетоне. Кажущаяся и истинная пористость раствора показана в табл. 3.

На основании проведенных исследований поровой структуры можно сказать следующее:

1. При увеличении количества теста из ВНВ плотность раствора увеличивается.

2. При увеличении объема теста из ВНВ наблюдается снижение кажущейся пористости с 9,95 до 8,13% и некоторое повышение истинной пористости. Увеличение плотности раствора на ВНВ и снижение кажущейся пористости в равной мере химико-минералогическим составом влияют на увеличение показателя активности вяжущих.

3. Некоторое увеличение истинной пористости, которая в том числе состоит из гелевых пор, представляющих собой промежуточное пространство между частицами новообразованной гидратированной вяжущего, являются второстепенным фактором, который незначительно влияет на показатель активности ВНВ различных видов.

На основании проведенных исследований для определения активности ВНВ предложена методика, основанная на условии равенства объемов цементного теста по ГОСТ 310 и теста из ВНВ в растворе.

Выявление прочностных

Таблица 1

Физико-механические характеристики	Исходный цемент	ВНВ-100	ВНВ-50
Остаток на сите № 008, %	5,7	4,4	7,3
Плотность, г/см ³	3,9	3,03	2,91
Удельная плотность, %	24,5	17	19
Начало схватывания, час-мин	2,20	1,42	1,20
Конец схватывания, час-мин	4,15	5,32	4,35
Водовязущее отношение (В/Вяз)	0,35	0,25	0,27
Распыл конуса, мм	114	113	115
Предел прочности при изгибе (МПа) балочек нормального твердения в возрасте сут			
1	—	5,1	4,8
3	—	7,5	7,3
28	7,7	8,8	8,5
После пропаривания, ч			
4ч	5,9	7,7	7,0
28 сут	6,3	8,8	7,7
Предел прочности при сжатии (МПа) половинок балочек нормального твердения в возрасте, сут			
1	25,5	32,8	20,7
3	35,5	45,8	31,1
28	63,3	76,4	56,6
После пропаривания			
4 ч	50,2	59,3	51,4
28 сут	57,6	71,3	60,0

Таблица 2

Вид вяжущего	Соотношение цемента (вяжущего) и песка	Объем теста в растворе, см ³	Объем незаполненных пустот, %
Исходный портландцемент	1:3	350	20
ВНВ-100	1:3	287	34
ВНВ-50	1:3	306	30

Таблица 3

Вид цемента или вяжущего	Соотношение цемента (вяжущего) и песка	V теста, см ³	ρ_0 , г/см ³	$\rho_{ист}$, г/см ³	W ₀ , %	W _{ист} , %
Портландцемент (исходный)	1:3	350	2,16	2,55	10,4	15,4
ВНВ-100	1:3	287	2,25	2,55	7,38	11,8
	1:2,75	318	2,26	2,57	6,64	12,0
	1:2,5	350	2,28	2,61	6,14	12,6
ВНВ-50	1:3	306	2,17	2,50	9,95	13,2
	1:2,75	337	2,19	2,54	9,11	13,4
	1:2,5	369	2,21	2,57	8,13	14,0

Таблица 4

Вид ВНВ	Расход ВНВ, кг/м ³	Вяз/В	Прочность, МПа, в возрасте, ч, сут					
			после тепловой обработки		нормальное твердение			
			4	28	1	3	7	28
ВНВ-100	350	2,85	30,6	70,2	40,4	57,3	59,8	64,3
	450	3,41	47,8	81,6	45,0	67,8	70,0	88,2
	550	3,95	68,5	89,4	37,5	70,7	81,0	102,5
ВНВ-50	350	2,49	32,1	60,5	14,8	39,1	44,7	55,9
	450	3,3	46,0	70,0	37,2	46,2	63,1	73,3
	550	3,93	61,1	77,3	33,4	48,6	69,8	83,2

возможностей бетонов на ВНВ (например, прочность на сжатие) и на цементах общестроительного назначения следует производить на основании нормируемых показателей качества бетона:

классов (средняя прочность при $V = 13,5\%$) бетона по прочности на сжатие; отпускной прочности бетона сборных конструкций в процентах от класса;

требуемых показателей бетонной смеси, в том числе: удобоукладываемости, места и времени ее определения, сохраняемости;

режима твердения бетона.

В связи с особенностями ВНВ при проектировании составов бетона следует учитывать, что водопотребность бетонной смеси на нем значительно ниже, чем бетонной смеси на ПЦ. Для того чтобы обеспечить заданную удобоукладываемость бетонной смеси на ВНВ, воды требуется около 125 л/м³, т.е. объем теста из этого вяжущего получается значительно меньше объема цементного теста на ПЦ. В связи с этим расчет и подбор состава бетона на ВНВ следует производить с расходом вяжущего не ниже 300...350 кг/м³. Если принять расход ВНВ ниже 300 кг/м³, то количество несплошностей между цементным камнем, мелким и крупным заполнителем резко увеличится, что неизбежно снизит плотность и прочность бетона.

При подборе состава тяжелого бетона на ВНВ следует заметить:

минимальный и максимальный расход вяжущего;

расход воды в зависимости от вида ВНВ;

минимальное и максимальное значение водовязущего отношения (Вяз/В).

Для обеспечения заданной отпускной (передаточной) прочности, а также средней прочности (класса) бетона рассчитывают три состава бетона с Вяз/В отношением от 2,5 до 4. Расход воды в расчетных составах принимают в зависимости от вида ВНВ и подвижности бетонной смеси в пределах 125...145 л/м³. Доля песка в смеси заполнителей назначается также в зависимости от вида ВНВ и на 4...6% выше по срав-

нению с составом бетона на ПЦ. Далее расчет составов бетона на ВНВ производят по известному методу абсолютных объемов.

После этого расчета средний состав проверяют на опытном замесе с целью уточнения подвижности, так как удобоукладываемость бетонной смеси на ВНВ меняется даже при небольшом изменении количества воды затворения. Подвижность бетонной смеси соответствует заданной, если фактическая осадка конуса имеет отклонение не более ± 1 см. На основании фактической отпусковой (передаточной) и средней (класс) прочности строят базовые зависимости $R_b = f(\text{Вяж}/V)$ и определяют наибольшее Вяж/V отношение, которое обеспечит промежуточную прочность и класс бетона. Составы бетонов на ВНВ представлены в табл. 4.

Назначение более высоких Вяж/V отношений, снижение количества воды затворения следует отнести к особенностям проектирования составов тяжелого бетона на ВНВ различных видов.

В зависимости от вида минеральной добавки в ВНВ-50 кинетика твердения бетона нормального твердения отличается от кинетики твердения пропаренного бетона.

Усредненные нормы расхода цемента по СНиП 5.01.23-83 показывают, что средняя прочность бетона 60,0 МПа (класс В45) получена при расходе ПЦ600-555 кг/м³, в то время как на ВНВ-50 для класса бетона В45 достаточно расходовать 350 кг/м³, т.е. расход вяжущего снижается на 37%, а клинкера на 67%.

ВЫВОДЫ

1. При проектировании составов тяжелого бетона на вяжущих низкой водопотребности вяжущее/водное отношение следует назначать в пределах от 2,5 до 4 и расход воды 125—140 л/м³.

2. Использование ВНВ в бетоне дает возможность получения высокопрочных бетонов; на ВНВ-50 изготовлены бетоны классов В45-В60, на ВНВ-100 бетон классов В55-В75.

УДК 666.973

Н.А. ГНАТУСЬ, канд.техн.наук (АО "Запсибжилстрой")

Новый материал для легкогобетонного строительства

Важнейшими задачами современного строительства являются снижение массы, экономия энергоресурсов (при отоплении) возводимых зданий, снижение их стоимости, а также сокращение ручного труда в строительстве.

Наиболее эффективно эта проблема в легкомбетонном строительстве решается путем снижения средней плотности конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов, повышения теплозащитных свойств наружных стен зданий различного назначения с надежным обеспечением нормативного уровня их эксплуатации и экономного использования гидравлических вяжущих в капитальном строительстве.

Решением наиболее важных вопросов этой проблемы являются исследование возможностей использования недефицитного местного сырья — вулканических пород (дацита) Полярного Урала Тюменского региона в качестве активных минеральных добавок к цементу, создание из этих пород эффективных пористых заполнителей (дацититов) и разработка на их основе конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов средней плотности 900—1000 кг/м³ и классов по прочности В3,5—В5 для изготовления однослойных ограждающих конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами.

В основу развития легких бетонов положены фундаментальные труды отечественных и зарубежных исследователей, особенно в области производства искусственных пористых заполнителей. Развитие легкогобетонного строительства обусловлено острой необходимостью повышения теплозащитных свойств наружных стен зданий различного назначения.

Исходя из современных нормативных значений сопротивления теплопередачи, средняя плотность конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона

(типа керамзитобетона) должна быть для классов по прочности В3,5—В5 не более 1000 кг/м³. При этом должны строго учитываться топливно-энергетические затраты на их изготовление и трудоемкость производства. Так как основной объем легких бетонов занимает пористый заполнитель, проблема теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций в большей степени решается на этапе работок пористых заполнителей.

В работе были использованы следующие материалы: дацитовые вулканические породы месторождений Полярного Урала Тюменского региона (Тоупугол, Дорожное), портландцементы марки 400 Сухоложского и Топкинского цементных заводов, глины Сургутского района, буровые (амбарные) шламы Федоровского месторождения Сургутского района.

В основу теоретических и экспериментальных разработок нового эффективного легкого бетона положена рабочая гипотеза, предполагающая, что химический и минералогический составы дацитов месторождения Тоупугол Полярного Урала благодаря высокому содержанию стеклофазы, оксидов железа, алюминия, щелочных металлов, а также конструкционной воды могут обеспечить при обжиге получение в двухкомпонентном составе с глиной пористых заполнителей с низкими насыпной плотностью и теплопроводностью, а также повышенной прочностью. Такие заполнители могут составить основную сырьевую базу производства легких бетонов в Западно-Сибирском нефтегазовом комплексе.

В соответствии с рабочей гипотезой был выполнен комплекс исследований, результаты которых положены в основу технологических разработок нового пористого заполнителя из дацитовых пород, названного автором "дацититом".

Для производства дацитита применялся порошок способ подготовки сырья, выпуск кото-

рого был организован на модернизированной действующей технологической линии. Разработаны составы шихты и опудривающих материалов для производства дацизита, характеризующегося замкнутой ячеистой структурой и другими положительными свойствами.

Исследования характеристик цементного камня на смешанных вяжущих показали, что наличие в дацитовой вулканической породе до 80% низко-температурной стеклофазы обеспечивает ей высокую пуццоланическую активность. Содержание в породе водосодержащего стекла увеличивает пластичность смешанного вяжущего, улучшается плотность и морозостойкость бетонов. Оптимальное количество содержания дацитовой породы в смешанном вяжущем — 20%.

Оптимизация составов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов с учетом требований по теплопроводности, морозостойкости и другим свойствам решалась с помощью методов математического планирования эксперимента.

Для обработки экспериментальных данных, подсчета коэффициентов уравнений регрессии, статистического анализа полученных уравнений и определения значений выходных параметров, составлена программа для ЭВМ на языке ФОРТРАН-IV. Все расчеты выполнялись на электронно-вычислительной машине ЕС-1060.

Эксперимент выполнен по приведенной матрице для дацитобетона плотной структуры на песке, полученном дроблением крупных фракций дацизита. Из исследуемых зависимостей видно, что значение водоцементного отношения в равноподвижных легобетонных смесях увеличивается с ростом расхода портландцемента и крупного заполнителя, в то время как влажность дацитобетона после тепловой обработки снижается.

Анализ данных зависимости средней плотности и марочной прочности дацитобетона от расхода портландцемента и крупного заполнителя свидетельствует о том, что для получения конструкционно-теплоизоляционного дацитобетона плотной структуры минимальной средней плотности необхо-

димо стремиться к максимальному насыщению бетона крупным заполнителем. Для разработки научно обоснованной нормы расхода цемента в конструкционно-теплоизоляционном дацитобетоне плотной структуры выполнен комплекс работ по оценке влияния расхода цемента на морозостойкость и защитные свойства бетона.

На основании выполненных работ можно констатировать, что на дацитите насыпной плотности 450 и дробленом дацититовом песке марки 1000 можно получать дацитобетон плотной структуры класса (марки) В5—В7,5 (М75—М100) средней плотностью 1000—1100 кг/м³ при расходе крупного заполнителя не менее 1050 л на 1 м³ бетона.

Для получения конструкционно-теплоизоляционного дацитобетона марки по средней плотности Д900—1000 необходимо иметь крупный заполнитель марки по насыпной плотности 300—350 кг/м³ и мелкий заполнитель марки по насыпной плотности не более 800.

Наиболее эффективным способом уменьшения средней плотности дацитобетона является поризация растворной части бетона. В качестве порообразователя в работе использовались: древесный пекоизвестковый пенообразователь и газообразователь — алюминиевая пудра марки ПАП-1. Пенообразователь представляет собой смесь 10-процентного раствора СДО и 7-процентного раствора извести в соотношении 1:1 (по объему). Анализ полученных экспериментальных данных свидетельствует о том, что поризация растворной части в дацитобетоне позволяет существенно снизить плотность бетона по сравнению с бетоном плотной структуры. Так, на дацитите насыпной плотностью 450 кг/м³ получен беспесчаный дацитобетон класса (марки) В3,5—В5 (М50—М75) средней плотностью 850—950 кг/м³ при расходе портландцемента 270—320 кг/м³.

Составы бетона, использованные для исследования физико-механических свойств, и прочностные характеристики дацитобетонов и их различные зависимости свидетельствуют о том, что коэффициент призмочной прочности ($K_{п.п}$)

дацитобетона различной структуры близок к нормируемым значениям этого параметра для керамзитобетона или превышает их. Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод о возможности нормирования $K_{п.п}$ для дацитобетона по СНиП 2.03.01—84.

Прочность дацитобетонов плотной структуры при осевом растяжении равна нормируемым значениям для легких бетонов или несколько превышает их. Прочность при растяжении дацитобетонов поризованной структуры в ряде случаев до 20% ниже нормируемых значений для легких бетонов плотной структуры, но выше нормируемых показателей для поризованных легких бетонов. Различия в прочности при растяжении для дацитобетонов поризованной структуры может быть объяснено повышенной усадкой таких бетонов, приводящей к значительным собственным напряжениям.

В то же время наши исследования свидетельствуют о том, что прочность на осевое растяжение поризованных дацитобетонов может приниматься по СНиП 2.03.01—84 с коэффициентом 0,85 вместо нормируемого коэффициента 0,7. Средняя величина растяжимости для дацитобетонов плотной структуры прочностью 8—5,5 МПа составляет 0,27—0,47 мм/м, для дацитогазобетона прочностью 4,1—8,8 МПа она находится в пределах 0,51—0,85 мм/м, а для дацитопенобетона прочностью 3,7—7,8 МПа — соответственно от 0,39 до 0,62 мм/м. В целом предельная растяжимость поризованных дацитобетонов в 1,7—2,1 раза выше, чем у этих же материалов плотной структуры тех же марок.

Среднее значение предельной сжимаемости дацитобетона плотной структуры прочностью 8—15,5 МПа составляет 0,87—1,42 мм/м, а дацитобетона поризованной структуры прочностью 3,7—8,8 МПа — 1,31—2,10 мм/м. При равных условиях предельная сжимаемость дацитобетонов плотной структуры меньше, чем поризованных.

Опытные средние значения начального модуля упругости исследуемых бетонов сопоставлены с нормируемой

СНиП 2.03.01—84 величиной для легкого бетона.

Отмечается, что для рассматриваемых видов бетона в интервале величиной 3 Rk от 2 до 3 средние опытные данные отличаются от нормируемых величин незначительно, а в интервале от 1 до 2 — ниже нормируемых до 20%. Это позволило принять, что начальный модуль упругости дацизитобетонной средней плотностью 900—1100 кг/м³ (до накопления опытных данных) может определяться по нормам с коэффициентом 0,85.

Сопоставление экспериментальных данных с величинами, рекомендуемыми нормами для легкого бетона, показало, что усадка пропаренных образцов из дацизитобетона плотной структуры в возрасте 250 сут ниже нормируемой. Усадка образцов из дацизитобетонной поризованной структуры в этом же возрасте выше нормируемой.

Оценка экспериментальных результатов по ползучести рассматриваемых видов легкого бетона в возрасте 250 сут путем сопоставления их с данными норм показало, что ползучесть дацизитобетонной плотной структуры соответствует нормируемым величинам, а поризованных — превышает их.

Конструкционно-теплоизоляционные дацизитобетоны характеризуются низким водопоглощением и высокой морозостойкостью. Теплопроводность их на 15% ниже керамзитобетона при одинаковой средней плотности.

Прочность сцепления стержневой арматуры класса А-III с дацизитобетоном плотной структуры выше, чем с керамзитобетоном аналогичной структуры. Прочность сцепления арматуры с поризованным дацизитобетоном близка к опытным данным для керамзитобетона с поризованной растворной частью.

Анализ экспериментальных данных и технико-экономические расчеты позволили рекомендовать разработанный новый конструкционно-теплоизоляционный бетон средней плотностью 900—1000 кг/м³ для изготовления однослойных ограждающих конструкций. Выпуск таких конструкций налажен на Сургутском заводе крупнопанельного домостроения.

нельного домостроения.

В качестве пористого заполнителя в таком бетоне использован дацизит насыпной плотности 350—450 кг/м³, выпускаемый Сургутским заводом строительных материалов. В качестве вяжущего применен портландцемент марки 400 Сухоложского цементного завода. Стеновые панели из новых легких бетонов изготавливали на полуконвейерных технологических линиях.

Легкий бетон плотной структуры в панелях имел следующие характеристики через 4 ч после тепловой обработки: средняя плотность — 1000 кг/м³, прочность при сжатии — 8,50 МПа, влажность бетона — 6,1%. Средняя плотность легкого поризованного бетона составляла 900 кг/м³, прочность при сжатии — 6,84 МПа, влажность — 6,6%.

Замена керамзита дацизитом позволила уменьшить среднюю плотность конструкционно-теплоизоляционного бетона на 200 кг/м³, снизить энергоемкость производства и трудозатраты в расчете на 1 м² ограждающих конструкций.

Рациональными областями применения новых видов легких бетонов на основе дацизита являются жилищное, социальное, промышленное и другие виды строительства.

По результатам исследований разработаны: “Рекомендации по технологии производства искусственных пористых заполнителей на основе дацитов Полярного Урала Тюменского региона на Сургутском заводе строительных материалов”. “Рекомендации по технологии производства конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на основе вулканитов Полярного Урала Тюменского региона на Сургутском заводе крупнопанельного домостроения”.

По результатам промышленных испытаний разработаны и утверждены Технические условия “Дацитовые породы Полярного Урала — сырье для производства искусственного гравия”, Технические условия “Гравий искусственный пористый (дацизит) из вулканических пород (дацита) Полярного Урала Тюменской области” и Технические условия на “Панели стеновые наружные одно-

слойные дацизитобетонные для жилых блок-секций жилых домов серии И-164.07”.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована и практически подтверждена возможность получения нового вида гравиеподобного пористого заполнителя — дацизита из стекловидных вулканических пород (дацитов) Полярного Урала Тюменского региона. Подтверждена рабочая гипотеза, сущностью которой является то, что дациты, характеризующиеся высоким содержанием стеклофазы, оксидов железа и щелочных металлов, а также химически связанной воды, обеспечат в двухкомпонентном составе с глиной или другими корректирующими добавками пиропластическую массу, вспучивающуюся при температуре обжига 1100—1200°C.

2. Дацизит отличается улучшенными физико-механическими и теплофизическими свойствами по сравнению с керамзитовым гравием. Установлено, что средняя насыпная плотность дацизита составляет 350—450 кг/м³, прочность при сдавливании в цилиндре — 1,8—3,1 МПа, водопоглощение — 3,8—6%, морозостойкость — более 50 циклов, коэффициент теплопроводности (в засыпке) — 0,09—0,11 Вт/(м°C).

3. На дацизите насыпной плотностью 450 кг/м³ получены конструкционно-теплоизоляционные бетоны классов (марок) по прочности на сжатие В5—В7,5 (М75—М100) со следующими значениями средней плотности, кг/м³: 1000—1100 — в бетонах плотной структуры; 900—1000 — при поризации растворной части бетона алюминиевой пудрой; 900 — при поризации растворной части бетона вязкой пеной.

4. Изучены прочностные характеристики дацизитобетона, исследованы его деформативные свойства, влияние расхода цемента и способа поризации на показатели пористости, водопоглощения и морозостойкости конструкционно-теплоизоляционных дацизитобетонных бетонов.

5. Освоено производство наружных однослойных стеновых панелей из дацизитобетона.

УДК 691.32:620.1+624.012.3/4.04

В.П. ЧАЙКА, канд.техн.наук (НИИ транспортного строительства)

Характеристика диаграмм неоднородного сжатия бетона

Разработка норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций нового поколения и их гармонизация с нормами ЕКБ-ФИП связана, в частности, с необходимостью нормирования основных характеристик (опорных точек) диаграмм деформирования бетона [1]. Характеристики этих диаграмм при однородном (осевом) сжатии изучены в настоящее время достаточно подробно [2—4]. Достоверных данных о виде диаграмм деформирования бетона при неоднородном сжатии, имеющем место в сжатой зоне железобетонных элементов при их изгибе или внецентренном нагружении, несомненно меньше. Вместе с тем именно неоднородное напряженное состояние, в отличие от однородного, является характерным и наиболее распространенным для подавляющего большинства стержневых, плоскостных и массивных железобетонных конструкций, а также отдельных участков и зон тонкостенных пространственных покрытий.

Учитывая изложенное, в Центральной лаборатории прочности бетона и железобетона НИИТСа предпринята попытка обобщения данных об основных характеристиках диаграмм неоднородного сжатия бетона. Указанные диаграммы получены для прямоугольной сжатой зоны над трещиной, участков между трещинами и без них и для осесимметричной (тавровой, треугольной и трапецевидной) сжатой зоны над трещиной по разработанной в НИИТСе методике [5]. Отличительной особенностью этой методики является возможность ее использования для определения напряжений в бетоне при неоднородном кратковременном сжатии

на основе данных, получаемых непосредственно из опытов на изгиб, внецентренное сжатие или растяжение. Исходные предпосылки, принятые в [5], и допущения, используемые в общепринятом подходе к определению напряжений в бетоне при однородном (осевом) сжатии, одинаковы. Отмеченное обстоятельство предопределяет корректность сопоставления диаграмм, полученных по методике [5], с диаграммами, установленными из опытов на центральное сжатие.

Диаграммы деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны над трещиной получены по данным опытов на изгиб и внецентренное сжатие с большим эксцентриситетом железобетонных элементов, испытанных нагружением при однократном кратковременном действии нагрузки. В дополнение к данным, приведенным в [6], были обработаны результаты испытания 15-изгибаемых и 15-внецентренно сжатых образцов. Использовались опыты Абаканова М.С., Королькова В.Т., Немировского Я.М. — Кочеткова О.И., Беликова В.А. (НИИЖБ), Берга О.Я. — Писанко Г.Н., — Хромца Ю.Н., Дегтерева В.В. — Гагарина Ю.А. (ЦНИИС), Кочеткова Ю.И. (Львовский ПИ).

Диаграммы деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны на участке между трещинами получены по данным опытов на изгиб железобетонных элементов, испытанных Корольковым В.Т., Немировским Я.М. — Кочетковым О.И. (НИИЖБ) и Рокачем В.С. — Чайкой В.П. (Львовский ПИ). Всего были обработаны результаты испытания 7 образцов.

Для получения диаграмм

деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны на участке без трещин были обработаны результаты испытания бетонных призматических образцов на внецентренное сжатие с физическим или близким к нему ядерным эксцентриситетом. Использованы данные Беликова В.А., Талья К.Э. (НИИЖБ), Дегтерева В.В. — Гагарина Ю.А. (ЦНИИС), Рюша Г. и Штокла З. Всего были обработаны результаты испытания 34 отдельных образцов или серий образцов с близкими характеристиками.

Обобщение результатов исследования диаграмм деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны схематически представлено на рис. 1. Как следует из приведенных данных, общий вид диаграмм при неоднородном кратковременном сжатии не отличается от общего вида диаграмм деформирования бетона при однородном (осевом) сжатии. Характеристики качественно идентичных диаграмм неоднородного и однородного сжатия в упругой стадии работы практически совпадают, а в упруго-пластической стадии различны. Отличие заключается в том, что при одинаковых значениях продольных деформаций напряжения в бетоне при неоднородном сжатии больше соответствующих напряжений при однородном сжатии.

Отношение максимальных сжимающих напряжений в вершине диаграмм неоднородного сжатия σ_{\max} (σ_{\max}) к призматической прочности бетона R_b зависит от условий деформирования. Для бетона сжатой зоны над трещиной отношение σ_{\max}/R_b изменяется в среднем от 1,6 до 1,3 при увеличении кубиковой прочности R от 25...30 до

может быть выполнена следующим выражением:

$$\sigma_b^{\max} / R_b \approx 1,27 + 0,36 \frac{90 - R}{R} \quad (1)$$

при $20 \ll R \ll 90$.

Соответствующие максимальным напряжениям продольные деформации бетона сжатой зоны изгибаемых и внецентренно сжатых с большим эксцентриситетом железобетонных элементов в сечении с трещиной также в первом приближении могут быть приняты равными 300×10^{-5} .

Для бетона сжатой зоны на участке между трещинами отношение максимальных напряжений в вершине диаграммы неоднородного сжатия σ_b^{\max} к призменной прочности находится в пределах 1,40...1,08 при $20 \ll R \ll 90$. Отношение $\sigma_b^{\max} / \sigma_b^{\max}$ изменяется в диапазоне 0,93...1,43 и неплохо совпадает с теоретическим значением этого отношения, равным 1,25 при оговоренных значениях коэффициентов ψ_s и φ , равных 0,9 [5]. В этом случае линейная аппроксимация (1.1), преобра-

$$\sigma_{bm}^{\max} / R_b \approx 1,02 + 0,29 \frac{90 - R}{R} \quad (1.2)$$

зованная к бетону сжатой зоны на участке между трещинами, записывается в виде

Соответствующие напряжениям σ_b^{\max} продольные деформации бетона сжатой зоны изгибаемых железобетонных элементов находятся в пределах $(216...374) \times 10^{-5}$ при среднем значении 275×10^{-5} .

Отношение σ_b^{\max} / R_b для бетона сжатой зоны на участке без трещин в подавляющем большинстве случаев находится в пределах 1,0...1,2 при среднем значении, равном 1,1. Деформации бетона сжатой зоны внецентренно сжатых бетонных образцов, соответствующие напряжениям σ_b^{\max} в среднем составляют 250×10^{-5} .

Диаграммы деформирования бетона непрямоугольной осесимметричной сжатой зоны над трещиной получены по данным опытов на изгиб и внецентренное сжатие с большим эксцентриситетом железобетонных эле-

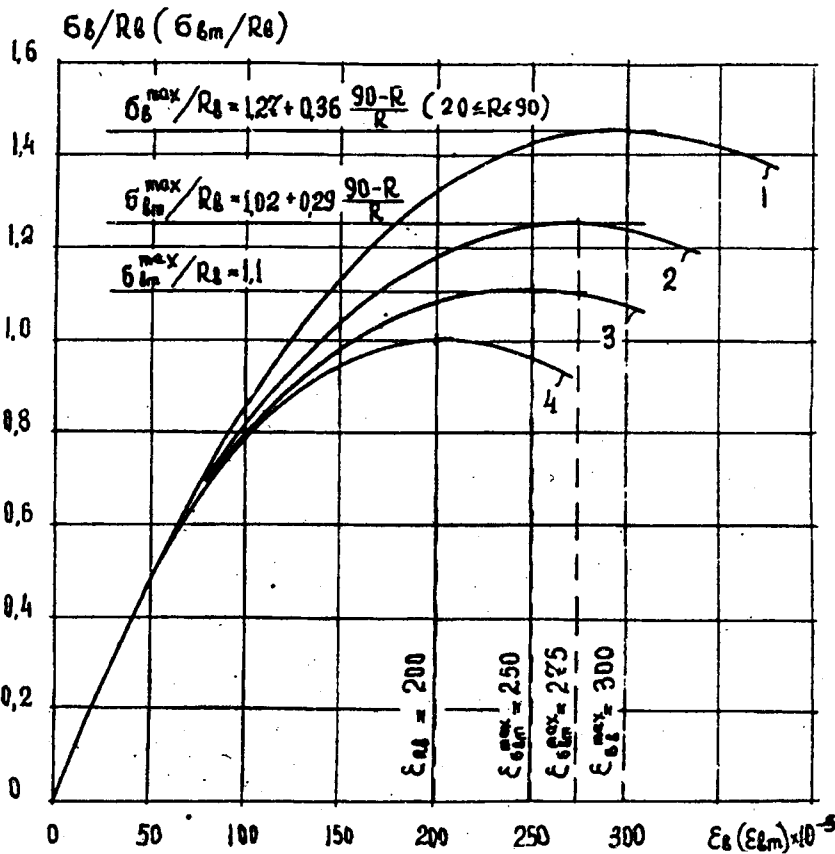


Рис. 1. Схематизированные диаграммы деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны
1 — над трещиной; 2 — на участке между трещинами; 3 — на участке без трещин; 4 — при осевом сжатии

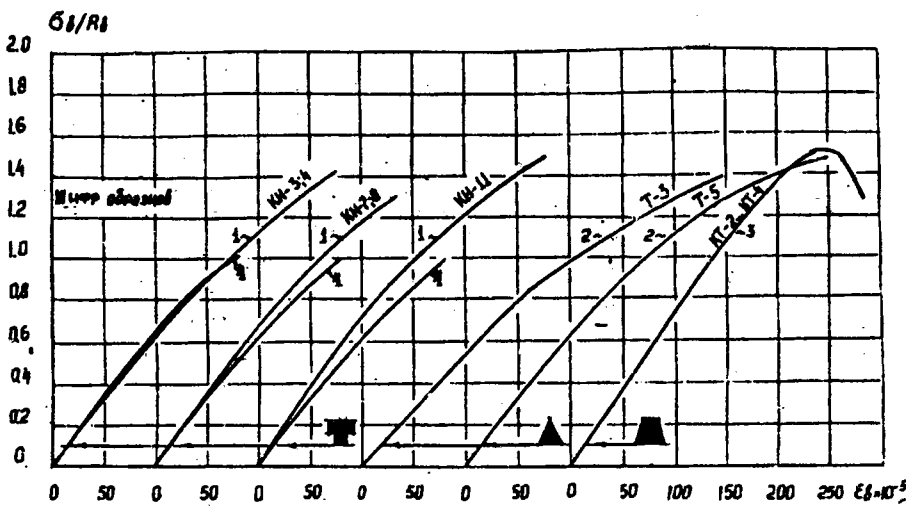


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона непрямоугольной осесимметричной сжатой зоны (над трещиной)
1 — тавровой формы; 2 — треугольной формы; 3 — трапециевидной формы; 4 — при осевом сжатии

80...90 МПа. Значения отношения σ_b^{\max} / R_b для изгибаемых и внецентренно сжатых с большим эксцентриситетом железобетонных элементов при одина-

ковой кубиковой прочности бетона находятся примерно в одинаковых пределах. Линейная аппроксимация этих опытных данных в первом приближении

ментов. Всего были обработаны результаты испытания 7 образцов колонн с тавровой сжатой зоной (опыты Беликова В.А. — НИИЖБ), 5 образцов-балок с треугольной сжатой зоной (опыты Маттока и Криза) и 6 образцов-колонн с трапециевидной сжатой зоной (опыты Булгакова В.С., Беликова В.А. — НИИЖБ). Обобщение полученных результатов приведено на рис. 2.

В связи с крайней ограниченностью сведений о диаграммах деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны сделать обобщающие выводы об их характеристиках в настоящее время не представляется возможным. Вместе с тем обращает на себя внимание качественная и количественная близость данных, приведенных на рис. 1 и 2. Интересно также отметить, что для треугольной сжатой зоны деформации бетона, соответствующие максимальным напряжениям σ_{\max} , равны 350×10^{-5} , что превышает аналогичные деформации для прямоугольной сжатой зоны примерно на 50×10^{-5} .

ВЫВОДЫ

1. Бетон при неоднородном (изгибном, внецентренном) и однородном (осевом) сжатии де-

формируется по качественно идентичным диаграммам, совпадающим в упругой и отличающимся в упругопластической стадиях работы.

2. Характеристики диаграмм деформирования бетона прямоугольной сжатой зоны в их вершине зависят от условий деформирования (над трещиной, на участках между трещинами или без трещин) и в первом приближении могут определяться по рекомендациям, приведенным в настоящей статье (формулы (1.1) и (1.2), рис. 1. Целесообразно дальнейшее проведение исследований для уточнения этих рекомендаций.

3. Характеристики диаграмм деформирования бетона прямоугольной осесимметричной сжатой зоны нуждаются в дальнейшем исследовании.

4. При нормировании основных характеристик (опорных точек) диаграмм сжатия бетона в общем случае необходимо учитывать влияние на них неоднородности напряженного состояния, являющегося характерным и наиболее распространенным видом напряженного состояния в железобетонных конструкциях различного вида и назначения.

Библиографический список

1. Залесов А.С., Чистяков Е.А. Гармонизация отечественных нормативных документов с нормами ЕКБ-ФИП // Бетон и железобетон. — 1992. — ± 10 . — С. 2—4.
2. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Диаграммы деформирования бетона, их трансформации в зависимости от различных факторов и использование в расчетах конструкций // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Предельные состояния бетонных и железобетонных конструкций энергетических сооружений. — Л.: Энергоатомиздат. — 1982. — С. 170—180.
3. Щербakov Е.Н. Важное направление совершенствования нормативной базы проектирования железобетонных конструкций // В сб. науч. трудов "Проблемы повышения качества и снижения материалоемкости железобетонных конструкций при проектировании". — М.: ЦНИИС. — 1989. — С. 4—19.
4. Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие / А.Б. Голышев и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Будівельник. — 1990. — 544 с.
5. Методические рекомендации по определению механических характеристик бетона при неоднородном кратковременном сжатии. — М.: ЦНИИС, 1992. — 56 с.
6. Чайка В.П. Исследование напряженного состояния бетона сжатой зоны изгибаемых железобетонных элементов аналитическим методом. — Автореф. канд. дисс. — Киев: КИСИ, 1977. — 22 с.

ВОПРОСЫ КАЧЕСТВА

УДК 666.974:666.97.035.5/045/

Г.В. ТОПИЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, Н.А. ОБРАЗЦОВ,
И.В. ФИЛАТОВА, инженеры (ВНИИЖелезобетон)

Энергосберегающая технология изготовления высококачественной цементно-песчаной черепицы

Производство цементно-песчаной черепицы (ЦПЧ) как одного из эффективных и эстетичных кровельных материалов широко развивается в последние

годы в стране. Однако вопросам энергосбережения при изготовлении черепицы и повышения ее качества уделяется недостаточное внимание.

Именно этим можно объяснить применение на ряде предприятий воздушно-сухого прогрева ($30—60^{\circ}\text{C}$) или пропаривания ($70—85^{\circ}\text{C}$) черепицы без ухода за ней, использование повышенного расхода цемента (цемент:песок = $1:2—1:2,5$) для ее изготовления, увеличивающего вес и способствующего дополнительному обезвоживанию черепицы при тепловой обработке за счет перегрева экзотермическим теплом гидратации цемента [1], а также наметившуюся в некоторых нормативных документах тенденцию к снижению нормируемых требо-

ваний к прочности черепицы. Так, по ТУ 10 РСФСР 289-87 "Черепица цементно-песчаная прессованная" и ТУ 480-1-318-90 "Черепица цементная двойная желобчатая цветная" прочность на изгиб ЦПЧ (о корректности этого требования см. ниже) через 4 ч после ТВО должна составлять 43 кгс/см² и в 28 сут — 55 кгс/см², а в ТУ 21-33-115-92 "Черепица цементно-песчаная" нормируемая разрушающая нагрузка при испытании ЦПЧ на изгиб ϵ_n определяется значительно меньшей величиной — 35 кгс через 4 ч после ТВО и 45 кгс — после 28 сут твердения. Для сравнения отметим, что итальянская черепица фирмы "Vortex Нудга" при испытании на изгиб имеет $R_n^i = 180—230$ кгс (по данным фирмы).

При разработке технологии изготовления высококачественной черепицы следует учитывать ее специфические свойства как тонкостенного строительного изделия [1]. Обладая незначительной толщиной ($\delta = 12—14$ мм) и большим модулем открытой поверхности ($M_{\text{п}} = 100 \text{ м}^{-1}$). ЦПЧ легко подвергается обезвоживанию в процессе твердения. Обезвоживание черепицы приводит к снижению ее прочности, плотности, водонепроницаемости и морозостойкости, повышению водопоглощения и коэффициента размягчения ее бетона во влажном состоянии [2]. Опасность обезвоживания черепицы возрастает с повышением температуры тепловой обработки и снижением относительной влажности греющей среды, увеличением расхода цемента и его экзотермии [1]. Предрасположенность ЦП-черепицы к обезвоживанию в процессе твердения предъявляет ряд специальных требований как к качеству исходных сырьевых материалов, так и к температурно-влажностным условиям ее твердения.

По данным инофирм ("Brass" и др.), ЦП-черепицу следует формовать из высококачественного кондиционного сырья, включая быстротвердеющие (БТЦ) цементы марки 500—600 с удельной поверхностью 400—500 м²/кг и нормируемыми сроками схватывания (начало 1—1,5 ч, конец 1,5—3 ч), фракционированный

мытый мелкий заполнитель (песок), пониженные V/C (от 0,26 до 0,29) при соотношении цемент:песок в исходной смеси, равном 1:3. Ускоренное твердение такой черепицы должно осуществляться при мягких температурных режимах (50°C) и высокой влажности среды (фирма "Brass") или при температуре 30°C после предварительной изоляции свежесформованной черепицы с помощью полимерных пленок (фирма "Vortex Hydra").

Результаты сравнительных испытаний, проведенных во ВНИИжелезобетоне, импортной и отечественной черепицы, представлены в табл. 1. Отечественная черепица была изготовлена из рядовых материалов (цемент марки 400 и 500, фракционированный кварцевый песок с $M_k = 2,5$) с соотношением цемент:песок в исходной смеси 1:2,5 при $V/C = 0,4$. Черепица подвергалась пропариванию (ТВО) при температуре 75°C по режиму 2 + 2 + 10 + 2 ч или воздушно-сухому прогреву (БП) в туннельных камерах при температуре 38°C и относительной влажности воздуха $\varphi = 30\%$ в течение 16 ч.

Прочность мелкозернистого бетона черепицы на растяжение при раскалывании ($R_{\text{р.р}}^s$) определяли на механическом индикаторе ВНИИжелезобетона, прочность на изгиб (R_n^s) — испытанием на приборе МИИ-100 образцов-плиток размером 16x4x6, см, выпиленных алмазной пилой из черепицы, водопоглощение (W) — по ГОСТ 12730.3, а водонепроницаемость черепицы — по ТУ 480-1-318—90. Согласно ТУ, при испытании черепицы на водонепроницаемость столбом воды высотой 150 мм и диаметром 25 мм не допускается появление капли воды на обратной стороне черепицы в течение одного часа испытаний. Структурную пористость черепицы исследовали методом ртутной порометрии (см. табл. 1), фазовый состав продуктов твердения и поверхностного декоративного слоя импортной черепицы — методами физико-химического анализа.

Импортная черепица, особенно итальянская, существенно превосходит по физико-техническим свойствам испытанные

образцы отечественной черепицы (см. табл. 1) и характеризуется низкой суммарной пористостью минерального камня с преимущественным содержанием в структуре переходных и микропор (образец 1). Пересушенная краснополянская черепица, несмотря на перерасход высококачественного цемента (М500) на ее изготовление, имеет низкую прочность и повышенные значения водопоглощения и суммарной пористости с преобладающим содержанием (более 84%) в структуре крупных и макропор ($\mu \gg 100$ нм). Последние, как известно, негативно влияют на строительные свойства и долговечность изделий. При таком качестве бетона указанная черепица не выдерживает испытаний на водонепроницаемость.

Методами рентгеновского, микроскопического и ИК-спектроскопического анализов образца 1 итальянской черепицы установлена высокая степень гидратации цемента в черепице, свидетельствующая о применении высокоактивного вяжущего. Негидратированный цемент практически не обнаруживается, но просматривается значительное количество тонкодисперсного (до 100 мк) кварцевого песка и полевого шпата. Декоративная пленка из отвердевшей пигментированной смолы толщиной до 1 мм, покрывающая лицевую поверхность черепицы, имеет хорошую адгезию к бетону, хотя в отдельных местах наблюдается ее отслоение. Причем поверхностный слой смолы покрыт смесью гранитного отсева (плаггиоклазы типа анортита) и кварцевого песка с крупностью зерен до 3 + 4,5 мм. По аналогии с другими кровельными материалами (рубероид и др.) такая обработка песком, гранитным отсевом и т.д. существенно снижает тепловое старение полимерного покрытия при эксплуатации и его скользкость в увлажненном состоянии.

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие количественные требования к основным физико-техническим характеристикам высококачественной цементно-песчаной черепицы: $R_n^i \gg 180$ кгс; $R_n^s \gg 11$ МПа; $R_{\text{р.р}}^s \gg 3,9$ МПа; $W \ll 6\%$. Благодаря высокому качеству бетона такая черепица

характеризуется повышенной водонепроницаемостью, морозостойкостью и долговечностью.

ВНИИЖелезобетон при участии Краснополянского керамического завода разработал эффективную энергосберегающую технологию изготовления высококачественной ЦП-черепицы, отвечающей вышеизложенным требованиям. Ограничение испарения влаги из черепицы при воздушно-сухом прогреве обеспечивается применением современных противоиsparяющих материалов, включая вододисперсные пленкообразующие составы ВПС, добавки — депрессоры влагонепарения ДВИТ и спеццементы с депрессорами ВДВ [3].

Следует отметить, что разработка технологии на начальной стадии существенно сдерживалась отсутствием необходимой методической базы для определения прочности черепицы на изгиб. По ТУ 10 РСФСР 289—87 и ТУ 480-1-318—90 указанную прочность рекомендуется определять по ГОСТ 8462, хотя формула для расчета $R_{из}$, приведенная в ГОСТе, применима для плоских, а не желобчатых и пазовых изделий типа черепицы. Инофирмы "Vortex Hydra" и др. для характеристики физико-механических свойств ЦПЧ используют не показатель прочности ($R_{из}$, МПа), а величину разрушающей нагрузки черепицы ($P_{из}$, кгс) при испытании на

изгиб.

Для контроля качества черепицы было предложено применять модельные образцы-плитки размером $16 \times 4 \times \delta$, см (где δ — толщина плитки). Образцы формовали из цементно-песчаной смеси в стандартных формах-трояках, используемых для изготовления растворных образцов-балочек ($4 \times 4 \times 16$ см). После тепловой обработки и заданных сроков твердения образцы-плитки испытывали на прочность при изгибе с помощью прибора МИИ-100, предназначенного для испытаний стандартных образцов-балочек. Прочность плиток на изгиб рассчитывали по формуле

$$R_{из} = k \frac{R_g}{bh^2}$$

где k — коэффициент размерности, равный 64; R_g — показания индикатора прибора, кгс/см²; b — толщина плитки, см; h — высота (ширина) плитки, см.

При испытании стандартных балочек ($b = h = 4$ см) указанная формула преобразуется в $R_{из} = R_g$.

Предложенная методика позволила существенно ускорить исследования по совершенствованию тепловой обработки ЦПЧ с противоиsparяющими материалами и отказаться на стадии лабораторных исследований от работы с громоздкими натурными образцами, которые невозможно изготовить без спе-

циального оборудования. При достаточной апробации эта методика может быть рекомендована заводам для оперативного контроля прочности выпускаемой черепицы, аналогично испытаниям контрольных образцов-кубов в производстве железобетонных изделий.

Результаты испытаний прочности на изгиб образцов-плиток, изготовленных из разных вяжущих (табл. 2) с применением ВПС и депрессоров и твердевших в различных условиях, представлены в табл. 3. Цементы Старооскольский (ПЦ-СО) и Воскресенский (ПЦ-В) имели марку 500, цементы Щуровский (ПЦ-Щ) и завода "Гигант" (ПЦ-Г) — марку М400. Характеристики спецвяжущих (ВНВ и ВДВ), изготовленных из указанных цементов, дополнительно приведены в [4].

Толщина образцов-плиток составляла $\delta = 0,9-1$ см, расход ВПС 200-300 г/см². Состав наносили на открытую поверхность плиток сразу после их формования. Часть образцов медленно распалубливали после теплообработки, другую часть — по истечении одних суток.

Распалубленные поверхности отдельных образцов дополнительно защищали пленкообразующим составом (ПМ).

Противоиsparяющие мате-

Таблица 1

Изготовитель черепицы	Серия образца	Условия твердения	$R_{из}$, кгс	$R_{п.р.}$, МПа	$R_{из}^b$, МПа	$W, \%$	Водонепроницаемость, ч-мин	$U_{пор} \times 10^{-2}$, см ³ /Г	Распределение пор, % по ч, нм			
									$>10^3$	10^3-10^2	10^2-10	$1-10$
"Vortex Hydra" (Италия)	1	ТВО, 30°C	180-230	3,9	—	6,6	В; 3-00	4,43	2,0	41,1	31,4	25,5
	2	ТВО, 30°C		4,2	11,8	5,8	В; 3-00	5,34	29,2	19,9	31,6	19,3
"Brass" (Германия)	3	ТВО, 50°C	—	3,0	5,9	6,0	В; 3-00	6,94	18,9	50,9	24,5	5,7
	4	ТВО, 50°C					—	6,55	18,2	57,1	18,9	5,8
Краснополянский керам. з-д	5	38°C, БП, $\varphi = 30\%$	100-120	1,2	—	8,2	Н; 0-35	7,91	34,4	50,1	11,6	3,9
Опытный з-д ВНИИ-железобетона (лабораторный образец)	6	ТВО, 75°C	70-75	1,7	—	5,5	В; 3-00	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Образец 1 — с полимерцементным покрытием; 2 — окрашен; 3 — с удаленным поверхностным покрытием; 4 — поверхностное полимерное покрытие; б — с добавкой гидрофобизатора. 2. Индекс В — черепица выдержала испытания на водонепроницаемость; Н — не выдержала.

риалы (см. табл. 3) позволяют заменять пропаривание образцов-плиток непродолжительным (4—5 ч) воздушно-сухим прогревом при температурах 40—50°C с немедленной распалубкой образцов после окончания тепловой обработки. По прочности и водопоглощению ($W = 5,6—5,9\%$) прогретые образцы с ВПС не отличаются от пропаренных. Увеличение цикла прогрева с 5 до 9 ч незначительно влияет на физико-механические свойства таких образцов.

Однако с повышением температуры до 60°C и увеличением продолжительности прогрева с 4 до 8 ч усиливается негативное воздействие обезвоживания на прочность цементно-песчаных плиток, особенно подвергнутых немедленной распалубке. Оптимальную прочность в этом случае имели образцы с ВПС после сокращенного прогрева и распалубки в возрасте 1 сут. Немедленная распалубка образцов допускается при условии обязательной защиты распалубленных поверхностей с помощью ВПС.

Образцы, изготовленные на спеццементе ВДВ, менее чувствительны к обезвоживанию при воздушно-сухом прогреве, чем образцы, защищенные ВПС (см. табл. 3). После сокращенного прогрева при температурах 40—60°C образцы набирают прочность к 1 сут 80—90% и к 28 сут 120—160% от прочности цементно-песчаных образцов, изготовленных на портландцементе и твердевших 28 сут в нормальных условиях.

Представленные данные показывают (см. табл. 3), что стремление отдельных предприятий, выпускающих ЦПЧ, к повышению температуры и продолжительности тепловой обработки черепицы (по аналогии с ТВО тяжелого бетона) не улучшает ее качественных показателей и ведет к перерасходу энергоресурсов.

Опытно-промышленные испытания разработанной технологии производства высококачественной цементно-песчаной черепицы с применением ВПС и ВДВ проводили на Краснополяском керамическом заводе (г. Лобня). В качестве вяжущих использовали Воскресенский портландцемента М500 и изго-

Вяжущие	Добавка	$S_{уд}$, м ² /кг	Н.Г., %	Сроки схватывания, ч-мин	
				начало	конец
ПЦ-В	—	390	27,5	3—30	4—50
ВДВ-Л (2В)	3% ДВИ-Л	420	25,0	3—45	5—00
ВДВ-ЛЛ (В)	2,5 % ДВИ-ЛЛ	430	25,0	3—45	5—00
ВДВ-ЛЛ (В)	3,5 % ДВИ-ЛЛ	570	26,0	3—00	5—30
ПЦ-СО	—	300	25,0	3—00	4—40
ПЦ-Ш	—	290	24,5	2—55	5—15
ВНВ-Ш	1,5 % С-3	310	19,5	4—50	7—30
ВДВ-ЛЛ (Ш)	3% ДВИ-ЛЛ	305	20,0	6—30	8—40

Таблица 3

Вяжущие	П/Ц	В/Ц	ПМ	Условия твердения	t , °С	Режим, ч	Распалубка образцов	$R_{и}^6$, МПа
ПЦ-СО	3	0,35	—	А	20	—	С	-/7,1
ПЦ-СО	3	0,35	—	В	60	3+2+8+2	С	5,4/8,0
ПЦ-СО	3	0,35	—	Б	40	2+1+4+0	Н	1,7/2,4
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	40	2+1+4+0	Н	5,0/8,0
ПЦ-СО	3	0,35	—	Б	40	2+1+8+0	Н	-/3,0
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	40	2+1+8+0	Н	5,2/8,6
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	60	2+2+2+0	Н	4,2/6,7
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	60	2+2+2+0	Н+ВПС	5,1/8,4
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	60	2+2+2+2	С	4,7/9,1
ПЦ-СО	3	0,35	—	Б	60	2+2+4+0	Н	-/3,6
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	60	2+2+4+0	Н	4,7/6,9
ПЦ-СО	3	0,35	—	Б	60	2+2+6+2	С	-/2,7
ПЦ-СО	3	0,35	ВПС	Б	60	2+2+6+2	С	5,4/6,3
ПЦ-СО	2	0,24	—	Б	45	2+1+3+1	С	1,6/2,1
ПЦ-В	2	0,24	—	А	20	—	С	-/8,1
ПЦ-В	2	0,24	—	Б	45	2+1+3+1	С	7,5/2,1
ВДВ-ЛЛ (В)	2	0,24	—	Б	45	2+1+3+1	С	6,4/9,8
ВДВ-ЛЛ (В)	2	0,24	—	А	20	—	С	-/11,5
ПЦ-Г	2,5	0,4	—	Б	50	1+2+2+1	С	1,5/2,1
ПЦ-Г	2,5	0,4	ВПС	Б	50	1+2+2+1	С	6,1/8,4
ПЦ-Ш	2,5	0,3	—	А	20	—	С	-/6,0
ВНВ (Ш)	2,5	0,28	—	В	60	2+3+6+2	С	6,6/8,9
ВНВ (Ш)	2,5	0,28	—	В	80	2+3+6+2	С	7,1/7,6
ВНВ (Ш)	2,5	0,28	—	Б	60	2+2+4+1	С	4,1/5,6
ВДВ-ЛЛ (Ш)	2,5	0,28	—	В	60	2+3+6+2	С	7,0/14,8
ВДВ-ЛЛ (Ш)	2,5	0,28	—	Б	60	2+2+4+1	С	6,6/9,9

Примечания: 1. А — нормальное твердение; В — ТВО; Б — воздушно-сухой прогрев. 2. С — распалубка в суточном возрасте; Н — немедленная распалубка. 3. Перед чертой в возрасте 1, после черты — 28 сут.

Таблица 4

Вяжущие	Содержание ДВИ, %	П/Ц	В/Ц	ПМ	Условия твердения	$R_{и}$, кгс	$R_{р,р}^6$, МПа	W , %
ПЦ	—	2	0,39	—	Б	100	1,2	8,5
ПЦ	—	2	0,39	ВПС-Д	Б	235	2,8	6,2
ПЦ	—	2,6	0,39	—	Б	120	1,4	9,0
ПЦ	—	2,6	0,39	ВПС-Д	Б	223	2,9	6,3
ПЦ	—	2,6	0,39	Сонсир	Б	190	—	—
ПЦ	—	2,6	0,39	—	Д	150	2,2	8,4
ПЦ	—	2,6	0,39	ВПС-Д	Д	242	2,9	6,4
ПЦ	—	2,6	0,39	Сонсир	Д	227	2,4	7,3
ВДВ-Л	3	2	0,29	—	Б	260	3,5	6,1
ВДВ-Л	3	2	0,29	ВПС-Д	Б	310	3,8	6,0
ВДВ-ЛЛ	3,5	3	0,33	—	Б	250	3,4	6,3
ВДВ-ЛЛ	3,5	3	0,33	ВПС-Д	Б	320	3,9	5,8
ВДВ-ЛЛ	3,5	3	0,33	ВПС-Д	Б	330	3,8	6,0
ВДВ-ЛЛ	3,5	3	0,33	Сонсир	Б	318	4,0	5,9
ВДВ-ЛЛ	2,5	2	0,36	—	Б	190	3,0	7,1
ВДВ-ЛЛ	2,5	2	0,36	ВПС-Д	Б	245	3,3	6,4

Примечание. Б — воздушно-сухой прогрев; Д — воздушное твердение в чехе.

Таблица 5

Вязущие	В/Ц	ПМ	N, цик- лов	Масса ЦПЧ (%) через 25 цик- лов	R _и ^ч , кгс	R _{р.р.} ^б МПа	W, %
Щ-В	0,39	ВПС-Д	25	100,2	290	3,8	5,8
Щ-В	0,39	ВПС-Д	0	—	255	3,6	5,9
ВДВ-1Л(В)	0,33	—	25	100,1	390	4,4	5,5
ВДВ-1Л(В)	0,33	—	0	—	340	4,2	5,6
ВДВ-1Л(В)	0,33	Concur	25	100,5	330	4,2	6,1
ВДВ-1Л(В)	0,33	Concur	0	—	315	4,1	5,9

товленные на его основе спец-цементы ВДВ, содержащие лигносульфонатные депрессоры ДВИ-Л и ДВИ-1Л. Кварцевый песок с $M_k = 2,5$ и и влажностью 1,5% содержал 0,6% гравия фракции 5—10 мм и 0,45 — фракции 2,5—5 мм. Остатки на ситах при определении зернового состава песка по ГОСТ 8735 были следующие: — 0,16 (5,3%); 0,16 (14,9%); 0,315 (30,5%); 0,63 (27,6%); 1,25 (15,9%); 2,5 (5,8%).

Изготовление черепицы размером 420x330 мм осуществляли на установке итальянской фирмы "Vortex Hydra". Соотношение цемента и песка (Ц:П) в исходной смеси варьировали от 1:2 (принятого на заводе) до 1:3, а В/Ц — от 0,395 до 0,295. Объемное окрашивание черепицы обеспечивали добавкой к смеси пигмента — железного сурика. Для защиты черепицы от обезвоживания использовали вододисперсные пленкообразующие составы марки ВПС-Д заводского изготовления и Concur-WB (Англия). Составы наносили на открытую поверхность свежесформованной черепицы с помощью краскораспылителя при расходе 200—300 г/м².

Отформованную черепицу, уложенную на стеллажи, в конце рабочей смены помещали на ночь в туннельную камеру для сушки кирпича с температурой 38—40°C и относительной влажностью воздуха 30—32%. В начале утренней смены черепицу распалубливали. Одна партия черепицы твердела без обогрева в цехе (23—26°C, $\varphi = 55—70\%$) и распалубливалась через двое суток.

Результаты испытаний

черепицы в возрасте 28 сут представлены в табл. 4.

Испытания подтвердили эффективность разработанной технологии. Опытная черепица по физико-техническим характеристикам находится на уровне лучших зарубежных образцов-аналогов, а при совместном применении ВПС и ВДВ — существенно их превосходит (см. табл. 1,4). При значительном резерве прочности такой черепицы появляется возможность уменьшить ее толщину с 12-14 до 7—10 мм и снизить материальные, транспортные и строительные расходы. Все опытные образцы ЦПЧ выдержали испытания на водонепроницаемость в течение 6 ч. На контрольной (заводской) черепице влажное пятно появлялось через 35—50 мин после начала испытания.

Из-за высокой пористости контрольная ЦПЧ интенсивно насыщается водой, в том числе водой затвердения гипса, при выравнивании им поверхности черепицы перед испытанием на изгиб. Так, контрольная ЦПЧ, испытанная в 3-суточном возрасте на изгиб, показала разрушающую нагрузку 94 кгс, а аналогичная черепица, увлажненная гипсом, — 55 кгс. Испытания опытной черепицы, отличающейся высокой плотностью, не выявили подобного падения прочности. В воздушно-сухом состоянии опытная черепица имела $R_{и}$ — 317—230 кгс, а выравненная и увлажненная гипсом — 225—235 кгс.

За 1—1,5 ч хранения в воде контрольная черепица пропитывается водой на всю толщину, а опытная — на 0,5—1,5 мм. Сравнительные испытания ЦПЧ на изгиб во влажном и воздушно-сухом состоянии [2] показа-

ли, что наименьшую величину влажно-сухого отношения

$$\frac{R_{и}^{в\lambda\lambda}}{R_{и}^{с\lambda\lambda}} = 0,59—0,63 \text{ имела}$$

контрольная черепица, подвергнутая воздушно-сухому прогреву. Указанное соотношение для контрольной черепицы воздушно-сухого твердения составляло 0,7—0,75, а для опытной черепицы с ВПС и ВДВ — 0,98—1.

При воздействии атмосферных осадков в процессе эксплуатации контрольной черепицы ее прочность на изгиб за счет насыщения дождевой водой может снизиться на 25—41%, а прочность опытной черепицы — не более чем на 2%.

Испытания на морозостойкость опытной черепицы воздушно-сухого твердения проводили по первому методу ГОСТ 10060 с предварительным насыщением ее водой в течение 4 сут. Черепицу подвергали 25 циклам замораживания и оттаивания, согласно ТУ 21-33-115—92. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Опытная черепица выдержала 25 циклов замораживания и оттаивания без заметного влияния на ее качество. Можно ожидать, что морозостойкость данной черепицы существенно превосходит нормируемые требования ТУ по этому показателю.

ВПС повышают коррозионную стойкость ЦПЧ, что важно для обеспечения ее долговечности в условиях продолжающегося загрязнения окружающей среды (кислые дожди и т.д.). Раствор соляной кислоты ($C = 10\%$) не взаимодействует с поверхностью черепицы, обработанной пленкообразующим составом. Однако при воздействии на контрольную черепицу наблюдается бурное вспенивание раствора кислоты углекислотой, выделяющейся при разложении гидратированного цемента.

Технология производства высококачественной ЦПЧ с применением ВПС и ВДВ рекомендована к массовому внедрению. Разработан технологический регламент воздушно-сухого прогрева ЦПЧ, технические условия на ВПС-Д, рабочие

чертежи на установку для автоматического нанесения ВПС и монтажные чертежи на привязку этой установки к станку для изготовления черепицы.

ВНИИ железобетон обеспечивает заказчиков технической документацией, оказывает помощь во внедрении и в поставках ВПС/Д. Телефоны (095) 306-34-11, 306-33-46.

Библиографический список

1. Температурные градиенты в бетоне сборных конструкций, подвергаемых пропариванию, и их влияние на качество и долговечность бетона /Л.А. Кайсер, Н.Б. Марьямов, Л.И. Панфилова /Тр. Междунар. Конф. по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1968. — С. 162—167.
2. Ф.М. Ли. Химия цемента и бетона.

— М.: Госстройиздат, 1961. — 355 с.

3. Технология производства высококачественной цементно-песчаной черепицы с применением противоиsparяющих материалов //Бетон и железобетон. — 1993. — №2. — С. 4.

4. Г.В. Топильский, А.В. Дин, Л.М. Турукова, И.В. Филатова. Вяжущие с депрессорами влагоиспарения для бетона воздушно-сухого твердения //Бетон и железобетон, 1993. — ± 8. — С. 8—10.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

удк 624.012.35/.45:69.059.4

В.Ю. СЕТКОВ, И.С. ШИБАНОВА, О.П. РЫСЕВА, канд.техн.наук
(Норильский индустриальный ин-т)

Срок службы сборных железобетонных перекрытий промзданий в среде, содержащей хлор

Переработка руд тяжелых цветных металлов сопровождается выделением в атмосферу кислотных газов. Воздушная среда зданий и сооружений предприятий по производству никеля, меди и кобальта содержит хлор и агрессивно воздействует на железобетонные конструкции, вызывая их ускоренный износ и создавая аварийные ситуации. На Норильском горно-металлургическом комбинате (НГМК) расходуются значительные материальные и трудовые ресурсы для поддержания промышленных объектов в работоспособном состоянии. С целью установления долговечности сборных железобетонных конструкций обследовались элементы со сроком эксплуатации τ от 11 до 43 лет. Характеристика эксплуатационной среды: температура воздуха 18...35°C, влажность 55...87%, концентрация хлора в воздухе 1...20 мг/м³, в среднем, 5 мг/м³. Согласно СНиП 2.03.П-85 "Защита строительных конструкций от коррозии" среда относится к сильноагрессивной.

Конструкции изготовлены из бетона на среднеалюминатном портландцементе классов В12,5—В20, марки по водонепроницаемости W4—W6. Арматура гладкого и периодического профиля из стали Ст3 и Ст0. В таблице приведены результаты натурального обследования по ряду промышленных объектов НГМК. Данные таблицы показывают, что при сроке эксплуатации 10...12 лет в условиях относительной влажности воздуха до 85% и концентрации хлора от 1 до 2,5 мг/м³ состояние сборных железобетонных конструкций преимущественно удовлетворительное. На поверхности конструкций наблюдались влажные пятна, высолы. Коррозия арматурных стержней не наблюдалась. Глубина проникновения хлор-ионов была в пределах 10...25 мм. Эксплуатация конструкций в течение более длительного периода приводит к ухудшению их состояния. Так, при эксплуатации 20...30 лет в условиях относительной влажности 60...80% и концентрации хлора 2,5...15 мг/м³ конструк-

ции имели значительные коррозионные повреждения. Наряду с влажными пятнами, высолами, ржавыми отпечатками арматуры наблюдались трещины вдоль арматурных стержней, отколы защитного слоя бетона. Глубина проникновения ионов хлора составила 18...35 мм, глубина коррозии арматуры — 2,1...3,2 мм. Состояние конструкций неудовлетворительное.

Более длительная эксплуатация приводит конструкции в аварийное состояние.

Установлено, что хлор действует на бетон совместно с углекислым газом в соответствии с [1, 2]. При взаимодействии хлора с гидроксидом и карбонатом кальция образуются хорошо растворимые гигроскопичные соли в виде хлористого кальция, гипохлорита и их производных, трехкальциевого гидроксидоалюмината и гидроксидоферрита. Основные соединения и гипохлорит, стабильные в присутствии гидроксида кальция, разлагаются углекислым газом, а образующийся раствор хлористого кальция за счет диффузии и ка-

Объект обследования	Срок службы, годы	Параметры эксплуатационной среды		Характеристика повреждений		Оценка состояния
		влажность, %	концентрация хлора, мг/м ³	глубина проникновения хлор-ионов, мм	глубина коррозии арматуры, мм	
Отделение приготовления растворов	10-12	70-85	1-2,5	10-25	0	Удовлетворительно
Электролизный передел	12-17	60-87	2,5-15	15-30	0-0,6	"
Передел сушки хлора	20-30	60-80	2,5-15	18-35	2,1-3,2	Неудовлетворительно
Передел синтеза	20-40	75-85	2,0-15	27-47	1,4-5,0	Аварийное
Хлорное отделение	30-40	60-87	2,5-10	30-60	1,6-7,2	"
Гидрометаллургическое отделение	42-46	62-80	2,5-20	34-72	1,7-7,8	"

пильярного всасывания перемещаются в глубь бетона. В результате перехода значительной части твердой фазы цементного камня в соляной раствор поверхностный слой бетона становится более пористым и разрушается. Перемещение солей хлора, вызывающих коррозию арматуры в глубь бетона происходит быстрее по сравнению с перемещением фронта карбонизации, и арматура корродирует в щелочной среде. Коррозия неравномерная. Рост объема продуктов коррозии арматурной стали способствует разрушению защитного слоя бетона. Образуются трещины в защитном слое вдоль арматурных стержней, отколы бетона.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные и аналитические зависимости продвижения фронта опасных для арматуры концентраций хлори-

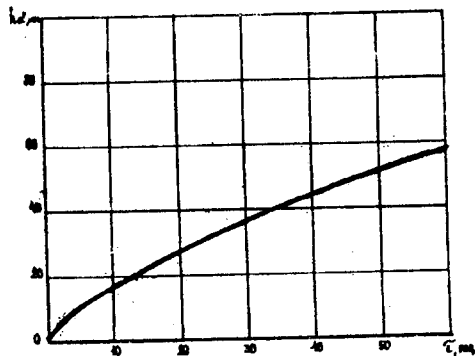


Рис. 1. Продвижение ионов хлора в глубь бетона во времени

дов в глубь бетона в условиях действия эксплуатационной среды. Установлено, что наиболее полно экспериментальные данные перемещения ионов хлора в глубь сечения элемента описывает зависимость

$$h_{Cl} = 3,3 \tau^{0,7}, \quad (1)$$

где h_{Cl} — глубина проникновения ионов хлора, мм; τ — время эксплуатации конструкций, год; 3,3; 0,7 — эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств бетона и среды. Коэффициент корреляции равен 0,94.

Преобразуя зависимость (1), определяем расчетный срок службы железобетонных конструкций τ_n , по фактору пассиви-

рующего действия защитного слоя бетона

$$\tau_n = \exp\left(1,42 \ln \frac{C_{I_B}}{3,3}\right), \quad (2)$$

где C_{I_B} — толщина защитного слоя бетона, мм.

Формулой (2) рекомендуется пользоваться при определении срока службы железобетонных конструкций, изготовленных из бетона нормальной плотности класса в В12,5...В20 на среднеалюминатном портландцементе.

При проведении капитальных ремонтов и реконструкции промышленных зданий и сооружений в условиях их длительной эксплуатации, когда полностью исчерпаны защитные свойства бетона и наблюдается коррозия арматуры, для целей планирования ремонтно-восстановительных работ срок службы железобетонных балок и плит целесообразно определять исходя из резерва их несущей способности. Величина резерва может быть определена коэффициентом k_τ , представляющим отношение фактического изгибающего момента от внешних нагрузок к фактической несущей способности сечения элемента, зависящей от степени коррозионного разрушения.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные коррозионного разрушения рабочей арматуры балок и плит из сборно-

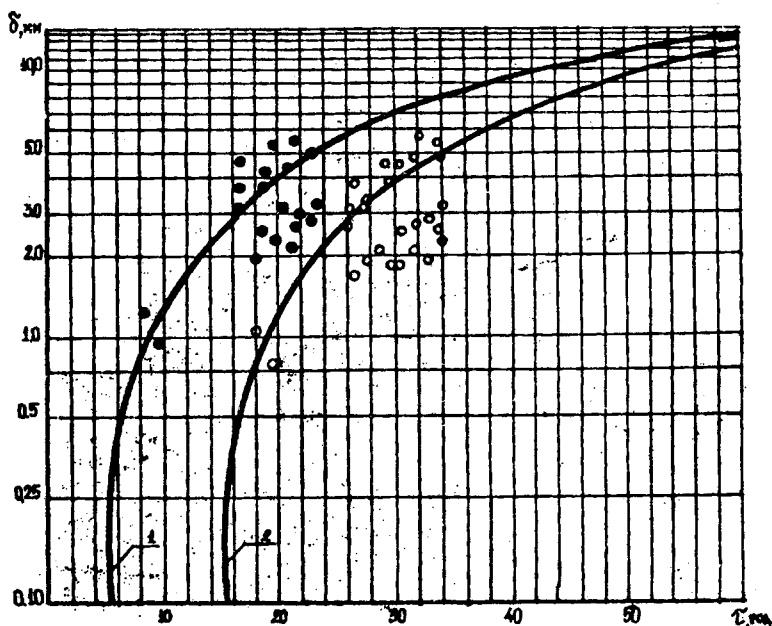


Рис. 2. Развитие коррозии арматуры во времени
1, • — при толщине защитного слоя $a_B = 10$ мм; 2, ○ — то же, при $a_B = 20$ мм

го железобетона и эмпирические зависимости времени эксплуатации конструкций τ , год, от глубины коррозии (уменьшения диаметров) арматуры δ , мм. Установлено:

$$\tau = 4\delta + (\tau_B - \tau_{II}) \left[1 + \ln \frac{4\delta}{(\tau_B - \tau_{II})} \right] \quad (3)$$

где τ_B — момент времени образования коррозионных трещин в защитном слое бетона, год. Экспериментально определено:

$$\tau_B = 0,1a_B^{1,7} \quad (4)$$

4; 0,1; 1,7 — эмпирические коэффициенты; \ln — логарифмическое действие. Коэффициент корреляции зависимости (3) равен 0,92.

Для определения срока службы конструкций по формуле (3) необходимо выразить величину δ через k_{τ} . Введем коэффициент коррозионного износа арматуры k_s , представляющий отношение площади сечения прокорродированной арматуры к площади сечения арматуры до коррозии. Выразим величину δ через k_s . Для однорядного расположения арматурных стержней имеем:

$$\delta = \frac{1}{4} (1 - k_s) d \sqrt{n} \quad (5)$$

где n — число рабочих стержней арматуры.

В условиях коррозионного разрушения растянутой зоны железобетонных изгибаемых элементов при определении величины k_s по коэффициенту резерва k_{τ} , для различных типов сечения элементов, количества и диаметров стержней рекомендуется использовать формулы, приведенные в табл. 2.

Величина R_b — расчетное сопротивление бетона, МПа; b — ширина сечения элемента, см; h_0 — рабочая высота сечения, см; R_s — расчетное сопротивление арматуры, МПа; A_s , A'_s — площадь сечения арматуры, см²; R_{sc} — расчетное сопротивление арматуры сжатию, МПа; b'_f — ширина полки, см; h'_f — высота полки, см. Срок службы конструкций в рассматриваемом случае определяется по формуле (3) при величине δ , найденной через коэффициенты k_{τ} и k_s . При этом не допускается нарушение совместности работы арматуры с бетоном

[3], для чего время τ не должно приниматься равным или большим τ_n .

ВЫВОД

На стадии ввода промышленного объекта в эксплуатацию в условиях действия сильноагрессивной среды, содержащей хлор, срок службы сборных железобетонных перекрытий, изготовленных из бетона классов В12,5...В20 марок W4...W6 на среднеалюминатном порландцементе целесообразно определять по формуле (2). Для целей планирования ремонтно-восстановительных работ на действующих предприятиях срок службы вышеуказанных конструкций рекомендуется оп-

ределять исходя из резерва их несущей способности по формуле (3).

Библиографический список

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. — М.: Стройиздат, 1980. — 536 с.
2. Полак А.Ф., Гельфман Г.Н., Яковлев В.В. Антикоррозионная защита строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях. — Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1980. — 80 с.
3. Сетков В.Ю., Шибанова И.С., Шумилкин Ю.А., Рысва О.П. Изменение прочности и деформативности железобетонных балок и плит при разрушении бетона растянутой зоны сечения. — Изв. вузов "Строительство и архитектура", 1987, №8. — С. 6—10.

УДК 691.327:536.485

Г.А. АЙРАПЕТОВ, д-р техн.наук, проф., А.И. ПАНЧЕНКО, Г.В. НЕСВЕТАЕВ, кандидаты техн.наук, В.В. ЧЕРЕМИСИН, инж. (Ростовский инженерно-строительный институт)

Оценка термоморозостойкости бетона по изменению модуля деформации при нагружении

Обеспечение долговечности бетона конструкций, эксплуатируемых в атмосферных условиях, является актуальной технико-экономической задачей. Морозостойкость бетона, т.е. способность бетона сохранять требуемый уровень прочности при многократном замораживании-оттаивании в водонасыщенном состоянии, в значительной степени определяет его долговечность. Однако в некоторых исследованиях установлено, что для бетона ряда конструкций решающая роль в обеспечении долговечности принадлежит стойкости структуры к нагреванию-остыванию [1]. Для названного свойства бетона предложен термин "термостойкость" и, более распространенный в последнее время, — термоморозостойкость — весьма чувствительный критерий оценки стойкости бетона. Показано, что обеспечение высокой морозо-

стойкости бетона (F) не гарантирует высокой термоморозостойкости [1]. В связи с вышеизложенным для оперативного прогнозирования долговечности бетона ряда конструкций является необходимость в создании экспресс-методов оценки термоморозостойкости (F_T).

В настоящее время термоморозостойкость оценивается морозостойкостью образцов, предварительно прошедших 60 или 90 8-часовых циклов нагревания до 70°C и охлаждения до 20°C; результат представляется в виде 60(90) + F [1]. Очевидно, что указанный метод длителен и трудоемок.

Возможное снижение морозостойкости бетона в результате воздействия предварительного многоциклового нагревания-остывания обусловлено образованием микротрещин в структуре бетона вследствие действия внутренних напряжений, вы-

Таблица 1

Вид бетона	Вид цемента	Число серий	Расход цемента	F , циклы при -50°C	$E_0 \cdot 10^{-3}$, МПа
Тяжелый	ПЦ-Д20 М400 НЦ-10 М400	6 2	300...400	42...75	25,8–42,6
Легкий (керамзитобетон)	ПЦ-Д20 М400 НЦ-10 М400	7 10	300...500	31...100	12,4–28,4

Таблица 2

Зависимость	Число точек	Коеф-ты уравнения		$V = \frac{\delta_T}{y}$, %	Значения x при $y = 1$
		B_0	B_1		
Для тяжелого бетона	8	0,44	1,0763	14	0,763
Для керамзитобетона	17	0,1059	2,723	17,5	0,824
Общая	25	0,0944	2,993	21,3	0,79

званных различием коэффициентов температурных деформаций его компонентов. Образовавшиеся микротрещины являются причиной более интенсивного разрушения структуры бетона при замораживании-оттаивании в водонасыщенном состоянии. В связи с этим стойкость структуры бетона к микротрещинообразованию при воздействии напряжений должна определять стойкость к многоцикловому нагреванию-остыванию, т.е. термоморозостойкость.

Известно, что при воздействии возрастающих механических напряжений в структуре бетона происходят изменения, обусловленные микротрещинообразованием. Структурно-механические характеристики бетона (R_T) и (R_T), предложенные О.Я. Бергом [2, 3], разделяют стадии различного состояния структуры. Первая параметрическая точка R_T характеризует начало процесса микротрещинообразования, который сопровождается разрыхлением структуры. Вторая параметрическая точка R_T характеризует нарушение сплошности материала, т.е. трещинообразование, в том числе в зоне контакта цементного камня с заполнителем [2, 3, 4].

Упругопластические свойства бетона в параметрических точках характеризуются модулем деформации (E_T) и (E_T) со-

ответственно, который численно равен тангенсу угла наклона секущей, проходящей через параметрическую точку и начало координат на диаграмме $\sigma/R - \varepsilon$. Отношение модулей деформаций E_T/E_T определяет стойкость структуры бетона к развитию микротрещин, поскольку при интенсивном трещинообразовании значение E_T и, следовательно, E_T/E_T будет снижаться вследствие развития пластических деформаций.

В связи с вышеизложенным отношение модулей деформаций E_T/E_T можно использовать в качестве критерия оценки стойкости структуры к микротрещинообразованию при воздействии напряжений. Предложенный критерий будет характеризовать в том числе стойкость структуры бетона к многоцикловому нагреванию-остыванию, т.е. термоморозостойкость (F_T).

Для получения количественной зависимости $F_T/F = (E_T/E_T)$ испытаны 25 серий образцов, сведения о которых представлены в табл. 1.

В исследованиях использованы известняковый щебень, керамзитовый гравий двух заводов, песок с модулем крупности 1,8. Две серии тяжелого бетона и шесть серий легкого были изготовлены с использованием тепловой обработки (пропаривание), остальные твердели в нор-

мальных условиях. Изготавливали образцы-призмы $10 \times 10 \times 40$ см.

В месячном возрасте образцы насыщали водой в течение 96 ч и делили на две группы. Часть образцов первой группы испытывали на морозостойкость (F) при температуре замораживания минус 50°C . За критерий морозостойкости принимали величину остаточных деформаций; другую часть испытаний проводили по методике ГОСТ 24452 для получения зависимости $\sigma - \varepsilon$ и призмной прочности. Значение параметрических точек определяли по методике [2, 3]. Определяли модули деформаций бетона при уровне нагружения, равном нижней границе микротрещинообразования R_T : $F_0 = R_T/E_0$; верхней границе микротрещинообразования R_c : $F_v = R_T/E_v$ и их отношение E_v/E_0 .

Вторую группу образцов подвергали нагреванию до 70°C и остыванию до 20°C по методике [1]. После 60 циклов нагревания для тяжелого бетона и 90 циклов для керамзитобетона образцы насыщали водой в течение 96 ч и испытывали на морозостойкость (F_T) при температуре замораживания минус 50°C по указанной выше методике.

Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Анализ результатов показывает наличие зависимости $F_T/F = f(E_v/E_0)$, которая может быть описана уравнением вида $y = B_0 x e^b$. Из табл. 2 видно, что наилучшие статистические параметры y функциональной зависимости для тяжелого бетона. Объясняется это тем, что тяжелый бетон более чувствителен к нагреванию-остыванию в сравнении с легким бетоном. При значениях $F_T/F \gg 1$ в процессе нагревания-остывания в структуре материала преобладали конструктивные процессы, а точку $F_T/F = 1$ можно считать точкой сохранения неизменной структуры. Этой точке соответствуют разные значения абсцисс, причем для керамзитобетона — большее значение, что закономерно, поскольку керамзитобетон в сравнении с тяжелым является более упругим материалом.

Таким образом, соотноше-

ние модулей деформаций, характеризующих качественные изменения структуры, является критерием стойкости структуры к трещинообразованию. Предложенный критерий может быть использован, в частности, для оценки стойкости структуры к циклическому нагреванию-остыванию. Возможно, предложенный критерий будет харак-

теризовать стойкость структуры бетона ко всем видам физических воздействий, т.е. определять долговечность, совместно с морозостойкостью, при отсутствии химической коррозии.

Библиографический список

1. Миронов С.А., Малинский Е.Н. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. —

М.: Стройиздат, 1985. — 316 с.

2. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. — М.: Стройиздат, 1961.

3. Берг О.Я., Щербаков Б.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. — М.: Стройиздат, 1971. — 207 с.

4. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. — М.: Стройиздат, 1979. — 344 с.
М.: НИИЖБ, 1979. — С. 15—17.

УДК 666.974.6:691.87:691.714

Ю.И. ОРЛОВСКИЙ, д-р техн.наук, В.И. ХОРЖЕВСКИЙ, инж.
(Львовский инженерный центр)

Об условиях длительности пассивирующего действия серного бетона на стальную арматуру

Пассивирующее действие бетона на стальную арматуру является основой защиты ее от коррозии. Опыт и исследования показывают, что длительность пассивирующего действия обычного бетона зависит в основном от его плотности и толщины защитного слоя у арматуры [1].

Капиллярно-пористая структура цементных бетонов предполагает неизбежность их взаимодействия с окружающей средой. В обычном бетоне плотной структуры на порландцементе сталь находится в пассивном состоянии благодаря насыщению гидратами окиси кальция поровой жидкости цементного камня, значение рН которой составляет 12..12,5. Снижение рН жидкой фазы в процессе накопления в ней ионов депассиваторов в результате воздействия агрессивных сред приводит к развитию процессов коррозии арматуры.

Механизм коррозии арматуры в серном бетоне в качественном отношении неодинаков с механизмом коррозии в цементном. Отсутствие капиллярно-пористой структуры в серном бетоне в значительной степени ограничивает его взаимодействие с окружающей средой. Если цементный бетон характеризуется щелочной средой, то серный —

нейтральной, а при постоянном воздействии воды — слабокислой. Это, при наличии технологических дефектов или деструктивных процессов, может создавать реальную опасность интенсивной коррозии стальной арматуры.

Данных о сохранности стальной арматуры в серном бетоне мало и они носят противоречивый характер. Так, по данным [2], следов коррозии арматуры в изделиях из серного бетона, которые выдерживали на открытом воздухе в течение 2 лет, не было обнаружено, что объясняется низкой воздухо- и водопроницаемостью бетона. По [3], при хранении балок, армированных стальной арматурой, в воде отмечена значительная коррозия арматуры. При хранении аналогичных балок в воде, но изготовленных из модифицированного серного бетона, пассивирующее действие бетона по отношению к арматуре было обеспечено.

Анализ результатов [3] позволяет предположить, что причиной коррозии арматуры являются не плохие пассивирующие свойства серного бетона, а его состав, в котором присутствовали в качестве наполнителя зольная пыль (зола-унос ТЭЦ). Известно, что золы-уносом со-

держат различные сернистые соединения, которые при постоянном воздействии воды значительно повышают коррозионную опасность для арматуры. Также известно, что замена кварцевой муки золой-унос в цементных бетонах понижает рН поровой жидкости, увеличивает пористость и проницаемость структуры бетона [4]. Исходя из современных воззрений, на состояние арматуры в бетоне могут влиять ионы HS^- , SO_4^{2-} , S^{2-} и атомарный водород. Исследования сероводородной коррозии показывают многократное ускорение коррозии во влажной среде в присутствии сероводорода. При этом не только ускоряется общая коррозия, но и резко проявляется склонность напряженной стали к водородному охрупчиванию в результате того, что образующийся при реакции сероводорода с металлом атомарный водород проникает в структуру стали, рекомбинируется в ней в молекулярный и создает очень высокие давления.

Известно, что сульфат-ионы SO_4^{2-} оказывают активизирующее действие на сталь [1]. По анодным кривым видно, что в вытяжке без сульфата и с малым его содержанием сталь пассивна. Ее активация наступа-

ет, начиная с содержания сульфат-ионов $\gg 0,1$ г экв/л (800...1000 мг/л).

Сведений о влиянии элементарной серы на коррозию стали в бетоне не имеется. Однако, по данным НИПИсеры (Львов), в автоклавной сере и в сере подземной выплавки содержится 2...5 г/т сероводорода, а наличие органических примесей приводит к дополнительному образованию сероводорода и твердого сероуглеродного комплекса, что может служить причиной неустойчивого пассивного состояния стали. Еще большее количество этих соединений может содержаться в серосодержащих отходах, например в золе отстоя, которые используются в качестве связующего для изготовления серного бетона [5].

Целью исследований являлось изучение сохранности и скорости коррозии стальной арматуры в серном бетоне при экспозиции образцов в воздушно-сухих условиях и воде на протяжении 360 сут.

Объектом исследований яв-

Таблица 1

Серия	Вид наполнителя	$S_{H'}$ см ² /г	Расход, % по массе				R, МПа	R_{brb} , МПа
			С	Н	П	Щ		
СБ-1	Кварцевая мука	3500	13	13	24	50	49,2	10,9
СБ-11	Зола-унос	3200	13	13	24	50	42,3	8,0
СБ-111	Минеральная часть золы отстоя	—	26	—	24	50	35,1	6,8
СБ-1У	Зола-унос	3200	13*	13	24	50	65,3	19,5

* Сера, модифицированная 5% ДЦПД

Таблица 2

Наполнитель	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO + MgO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Кварцевая мука	95,6	2,88	0,39	0,32	—	—	0,81
Зола-унос	49,0	27,5	12,5	3,8	2,0	3,1	2,1

Таблица 3

Наполнитель	Содержание, % частиц по фракциям, мкм					
	2 и <	2...5	5...10	10...30	30...50	100 и >
Кварцевая мука	3,6	6,45	27,6	18,7	11,3	32,4
Зола-унос	2,5	7,05	22,4	20,8	14,1	33,15

Таблица 4

Серия	Условия хранения	Потеря массы, %/г				Скорость коррозии, г/м ² , ч				Наполнитель и вяжущее
		90 с	180 с	270 с	360 с	90 с	180 с	270 с	360 с	
СБ-1	Воздушно-сухие	0	0	0	0	—	—	—	—	Кварцевая мука, чистая сера
	В воде	0	0	0	0	—	—	—	—	
СБ-П	Воздушно-сухие	0,73	2,1	3,5	4,6	0,051	0,074	0,082	0,081	Зола-унос, техническая сера
	В воде	0,95	3,5	5,9	8,5	0,067	0,123	0,138	0,151	
СБ-Ш	Воздушно-сухие	1,23	3,7	6,0	8,0	0,087	0,130	0,141	0,141	Зола отстоя
	В воде	1,49	4,3	7,2	10,5	0,105	0,151	0,169	0,185	
СБ-1У	Воздушно-сухие	0	0	0	0	—	—	—	—	Зола-унос, модифицированная, техническая сера
	В воде	0	0	0	2,3	—	—	—	0,04	

лялся серный бетон, состав и характеристика которого приведены в табл. 1. В качестве связующего применялись: химически чистая сера сорта ОСЧ 16-5; техническая сера подземной выплавки сорта 9920; техническая сера, модифицированная 5% дициклопентадиена (ДЦПД); зола отстоя с содержанием элементарной серы 51,2%. Содержание органических примесей составляло 0,62%, кислот в пересчете на серную — 0,04%, сероводорода — 0,017%, что в 4 раза пре-

вышало допустимое ГОСТом для технической серы сорта 9920.

Зола отстоя представляет собой серосодержащий отход производства серы методом подземной выплавки и последующей ее очистки, состоящий из карбонатов, сульфатов, кремнезема, оксидов металлов и элементарной серы. Химический состав применявшейся золы отстоя, мас. %: сера — 51,2; SiO₂ — 2,5; Al₂O₃ — 0,21; Fe₂O₃ — 0,24; CaO — 22,3; MgO — 0,04; CO₂ — 16,8;

SO₃ — 0,9; органические примеси — 5,81. Содержание кислот в пересчете на серную составляло 0,05% при содержании сероводорода 0,051, которое было вызвано искусственным путем. Начальное содержание сероводорода в золе отстоя составляло 0,0035%. Наличие в золе тонкодисперсных минеральных примесей (максимальная крупность зерен 0,315 мм) и элементарной серы позволяет рассматривать ее как частично наполненное связующее.

В качестве наполнителей

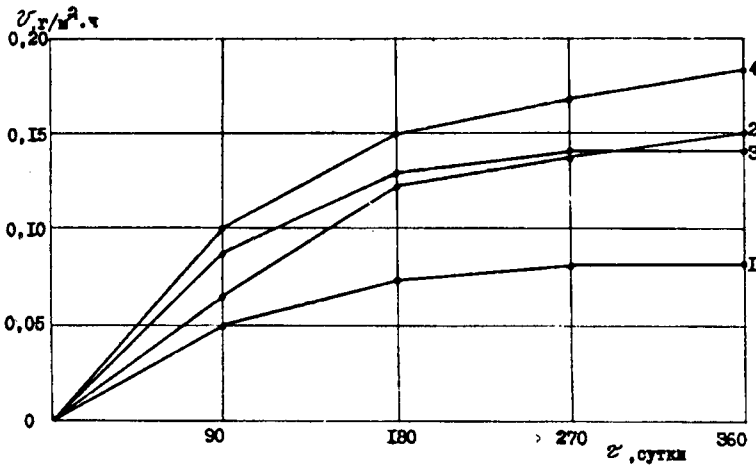


Рис. 1. Скорость коррозии стальной арматуры в серном бетоне
1 — образцы серии СБ-II при экспозиции в воздушно-сухих условиях; 2 — то же, в воде; 3 — образцы серии СБ-III в воздушно-сухих условиях; 4 — то же, в воде

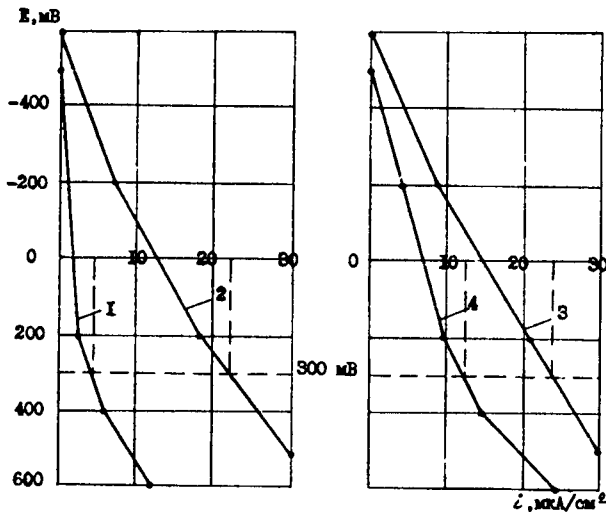


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые стали в насыщенном водой серном бетоне
1 — серия СБ-I; 2 — серия СБ-II; 3 — серия СБ-III; 4 — серия СБ-IV

применялись кварцевая мука и зола-унос Бурштынской ТЭЦ с удельной поверхностью 3500 и 3200 см²/г соответственно. Химический и гранулометрический составы наполнителей приведены в табл. 2 и 3. Содержание сернистых соединений в золе-уносе в пересчете на SO₃ составляло 3,1; органических примесей — 2,1 мас. %.

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый овражный песок с модулем крупности 1,4 и содержанием глинистых частиц 2,5%; в качестве крупного — гранитный щебень фракции 5...10 мм.

Образцы для коррозионных испытаний изготавливались размером 4x4x16 см с забетонированными в них по центру шлифованными до 7-го класса чистоты стержнями диаметром 8 и длиной 100 мм, выточенными из стали марки Ст5; для потенциостатических исследований — цилиндрические образцы диаметром 50 и высотой 800 мм.

Количество образцов для коррозионных испытаний на каждый срок экспозиции составляло 3 шт. После окончания экспозиции образцы разбивали вдоль арматурного стержня и

оценивали состояние арматуры. Разность первоначальной и конечной массы после травления 10%-ным раствором соляной кислоты характеризовала потерю массы. Эта величина дает количественное представление о коррозионных потерях и служит для оценки скорости и интенсивности коррозионного процесса в г/м²·ч по формуле

$$V = \frac{\Delta P}{F \tau}$$

где ΔP — потеря массы, г; F — полная площадь поверхности арматурного стержня, м²; τ — срок испытания, ч.

Результаты испытаний приведены в табл. 4 и на рис. 1.

Анализ результатов показал следующее. При использовании в качестве связующего химически чистой серы и наполнителя — кварцевой муки (серия СБ-I) — контрольный состав; при экспозиции образцов как в воде, так и в воздушно-сухих условиях хранения в течение 360 с, коррозии арматуры не установлено.

Образцы, изготовленные с использованием золы-уноса и технической серы (серия СБ-II) и золы отбоя (серия СБ-III), уже на 90 с экспозиции как в воздушно-сухих условиях, так и в воде имели следы коррозии на арматуре. В дальнейшем скорость коррозии нарастала, причем в воде была выше, чем в условиях воздушно-сухого хранения.

Образцы, изготовленные с использованием золы-уноса и технической серы, модифицированной ЛЦПД (серия СБ-IV), после 360 с экспозиции в воздушно-сухих условиях следов коррозии арматуры не имели. В образцах: водного хранения на 360 с на арматуре были отмечены незначительные коррозионные очаги.

Пассивирующие свойства серного бетона параллельно изучались электрохимическим (потенциостатическим) методом путем построения поляризационных кривых, которые снимали на потенциостате П-5827 при скорости наложения потенциала 0,6 мВ/с, определяя при этом плотность тока. В качестве электрода использовали насыщенный каломельный электрод, вспомогательного — платиновый. Результаты исследований

представлялись в виде графиков в координатах; на оси абсцисс — плотность тока, ординат — потенциал.

Оценка состояния стали производилась на основании критериев, предложенных НИИЖБом, согласно которым сталь в бетоне пассивна, если при потенциале +300 мВ по насыщенному каломельному электроду плотность тока не превышает 10 мкА/см². Если она составляет 10...25 — сталь находится в неустойчивом пассивном состоянии и возможна коррозия. При плотности более 25 мкА/см² возможна интенсивная коррозия стали [6].

Анализ анодных поляризационных кривых стали (рис. 2) в насыщенных водой образцах показал, что сталь в образцах серии СБ-I находится в пассивном состоянии, серий СБ-II, III и IV — в неустойчиво пассивном и, следовательно, возможна ее коррозия, что и подтверждают прямые коррозионные испытания. При этом образцы серии IV показали, что потеря пассивности состояния арматуры близка к критерию устойчивости, т.е. плотность тока при норме

10 составляла 12,5 мкА/см².

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что наличие в сере подземной выплавки сероводорода, количество которого может увеличиваться при хранении и транспортировке серы, а также сернистых соединений в золе уноса и отстоя, в частности водорастворимых сульфатов, оказывает определяющее значение на коррозионную стойкость стали, защищаемой серным бетоном. Наличие органических примесей в сере, золе отстоя и золе-уносе приводит к образованию сероводорода. Присутствие последнего во влажной среде значительно ускоряет коррозионные процессы стали. Скорость реакции зависит от температуры расплава, длительности хранения и транспортирования серы и серосодержащих отходов.

Для обеспечения надежности пассивирующего действия серного бетона на стальную арматуру следует ограничивать содержание сероводорода, органических примесей, а также кислот (в пересчете на серную) величинами, установленными ГОСТом на серу техническую

соответственно, мас.доля %: 0,004, 0,5 и 0,02.

Зола-унос, используемая в качестве наполнителя, и зола отстоя, используемая в качестве связующего и наполнителя, кроме вышесказанного, не должна содержать водорастворимых сульфатов (в пересчете на SO₃) более 3%.

Библиографический список

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. — М.: Стройиздат, 1980. — 536 с.
2. Угомон А.Н. Sulphur Concrete a new material for Arctic construction. //Proceedings of an International Conference. St. Jovite, Quebec, Canada, 1976. Edited by M.B. Ives. — pp. 35—41.
3. Сваму R.N., Jurjees T.A.R. Stability of Sulphur concrete beams with steel reinforcement //Materiaux et Constructions. Vol. 19, n. 113, 1986. — pp. 351—359.
4. Якуб И.А., Алексеев С.Н. Коррозия арматуры в легких бетонах. — М.: Стройиздат, 1971. — 112 с.
5. Орловский Ю.И. Бетоны и изделия на основе серосодержащих отходов. //Бетон и железобетон. — 1990. №4. — С. 24—26.
6. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях. —

ПРЕДПРИЯТИЕ "СОВПАТЕНТ" ПРЕДЛАГАЕТ:

1. Оборудование для арматурных работ: автомат для изготовления замкнутых петель; установку для опрессовки шайб; установку для высадки головок; цанговые зажимы; ручные насосные станции; гидродомкраты и др.

2. Оборудование для изготовления железобетонных изделий: установку для изготовления ж/б колец, бетонных камней, бетонных плиток и др.

3. Формы для изготовления: плит, колонн, ригелей, свай, балконных плит, перемычек и др.

4. Арматуру с трехсторонним профилем по стандартам ФРГ классов прочности Вр-500 и Вр-600 \varnothing 4—12 мм, рекомендуемую взамен стали класса А-III. Перерасчет изделий и согласование за счет поставщика.

Все оборудование высокопроизводительное, экономичное, внедрено на многих предприятиях. Использование нашей арматуры позволяет снизить себестоимость изделий.

Просим делать заказы на 1994 год. После заказа в Ваш адрес будет выслан договор.

Наш адрес: 142040, Московская обл., г. Домодедово, Главпочта, а/я 7.

Наш расчетный счет 467524 в МАКБ "Возрождение", г. Домодедово.

Контактный телефон в Москве 174-85-92

ВНИМАНИЮ ИНЖЕНЕРНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ РОССИИ!

Руководство Комитета ТК 119 РИЛЕМ информирует о проведении 10—12 октября 1994 г. в Мюнхене (Германия) СИМПОЗИУМА «ТЕПЛОВОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В БЕТОНЕ РАННЕГО ВОЗРАСТА», на который можно направлять тезисы докладов объемом до 300 слов.

Срок представления тезисов до 31 июля 1993 г. Полный текст докладов — до 1 февраля 1994 г.

Адрес для
корреспонденции:
Prof. R. Springenschmid
Technikal University Munich
Baumbachstrasse 7
D8000 Munich 60,
Germany
Tel. (089) 8895 310,
Fax. (089) 8895 347

Уважаемые авторы и читатели!

Журнал «Бетон и железобетон» предлагает свои страницы для публикации рекламы и объявлений, а также тематических подборок статей проектных и научно-исследовательских институтов, вузов, строительных объединений и концернов, коммерческих организаций и совместных предприятий. Подборка может состоять из 5...10 статей, каждая объемом до 7 машинописных страниц (напечатанных через 2 интервала) и 2...3 реклам.

Организация оплачивает редакции журнала стоимость услуг по подготовке материалов к печати, а также компенсирует расходы на бумагу, типографию и Рос-

печать. Расчеты с редакцией производятся после выхода журнала с подборкой по выставлению счета. Оплату следует осуществлять на Стройиздат, структурным подразделением которого является редакция «Б и ЖБ». Реквизиты Стройиздата: 101442, Москва, Каляевская ул., 23 а, расчетный счет 362106 в Свердловском отд. Мосбизнесбанка г. Москвы, МФО 204241.

Стоимость публикации одной статьи договорная. По всем вопросам просим обращаться в редакцию журнала: тел. 292-62-05.

Редакционная коллегия: В.И. Агаджанов, Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, Н.Л. Биевец, В.Н. Бондаренко, Ю.Г. Вострокнутов, В.В. Гранев, В.Г. Довжик, Ф.А. Иссерс, В.И. Кормилицын, Р.Л. Маляня, К.В. Михайлов, Т.М. Пецольд, С.И. Полтавцев, В.А. Рахманов, И.Ф. Руденко, Р.Л. Серых (главный редактор), В.М. Силин, В.М. Скубко, Ю.Г. Хаятин, А.А. Шлыков (зам. главного редактора), Е.Н. Щербаков

Технический редактор Р.Я. Лаврентьева, Корректор Н.А. Шатерникова

Сдано в набор Подписано в печать Формат 60x90 1/8. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная. Усл.печ.л. 3,92. Усл.кр.-отт. 4,92. Уч.-изд.л. Тираж Заказ

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

Подписано в печать 20.12.93. Формат 60x88 1/8 Печать офсетная Бумага книжно-журнальная. Усл. печ. л. 3,92
Уч.-изд.л. 5,2 Тираж 2347 экз. Заказ 1 Цена 2000 р.

Отпечатано в типографии ЦЕНТИ
Москва, ул. Анинская, д. 21

**НИИЖБ
ПРЕДЛАГАЕТ:**

● **СИЛОВУЮ ФОРМУ С САМОРАСПАЛУБКОЙ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ
СТОЕК**

Конструкция формы обеспечивает самораспалубку стоек, исключает необходимость ее ежесменной чистки, проста и надежна в эксплуатации. Может использоваться на любом заводе ЖБИ, позволяет получать существенный экономический эффект за счет выпуска высококачественных преднапряженных стоек применительно к каркасам теплиц, ограждениям культурных пастбищ, заборов, шпалер для виноградников, опорных стоек пальметных садов и т. л.

При заключении договора разработчик оказывает научно-техническую и консультативную помощь с передачей рабочих чертежей (тел. 174-80-67).

● **СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ
ГИБКИХ СВЯЗЕЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Технология обеспечивает нанесение в автоматическом режиме на заготовки гибких связей металлизационного цинкового покрытия высокого качества и является практически безотходной.

Производительность станка 3000...4000 изделий в минуту.

Кроме этого, предлагаются два автомата для изготовления самих гибких связей С- и S-образной конфигурации производительностью соответственно 900 и 600 шт. в час при повышении их качества и, по сравнению с традиционными технологиями, многократном сокращении доли ручного труда.

Разработчик заключает договоры на передачу научно-технической документации как на разработку в целом, так и на отдельный станок с оказанием технической помощи (174-89-44).

● **ЦИНКСИЛИКАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ
ЗАЩИТЫ ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ
В ЗАВОДСКИХ И ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

Цинксиликатные покрытия не повреждаются при сварке, не стареют и обладают высокой защитной способностью к агрессивным средам.

Технология является практически безотходной, экологически чистой, экономичной, не включает высокотемпературных процессов, обеспечивает (по сравнению с металлизацией) более чем двукратное снижение расхода цинка и сокращение трудозатрат.

Разработчик на договорных условиях передает научно-техническую документацию по внедрению покрытий, оказывает техническую помощь по определению рациональной области их применения и подбору состава, испытанию материалов и организации технологии защиты (тел. 174-89-44).

С ПИСЬМЕННЫМИ ЗАПРОСАМИ ОБРАЩАТЬСЯ В НИИЖБ:

109428, МОСКВА, 2-я ИНСТИТУТСКАЯ, 6.

ПРИГЛАШАЕМ ПОСЕТИТЬ САЛОН-МАГАЗИН НИИЖБа

Здесь развернута постоянно действующая экспозиция (выставка-продажа) новейших достижений в области строительства: образцы строительных материалов, контрольно-измерительных приборов для строительной индустрии, каталоги технологического оборудования, прогрессивные технологии производства строительных материалов и ведения строительных работ («ноу-хау»), проектно-конструкторская документация и нормативно-справочная литература.

**ЭТИ РАЗРАБОТКИ ВЫПОЛНЕНЫ НИИЖБом
И МНОГИМИ ДРУГИМИ ВЕДУЩИМИ И МАЛЫМИ ФИРМАМИ.**

**САЛОН-МАГАЗИН ОТКРЫТ ЕЖЕДНЕВНО, КРОМЕ
ВЫХОДНЫХ ДНЕЙ С 10 ДО 18 ч БЕЗ ПЕРЕРЫВА
НА ОБЕД.**

**ПРИГЛАШАЕМ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫЕ
ОРГАНИЗАЦИИ НА САМЫХ ВЫГОДНЫХ
УСЛОВИЯХ РАЗМЕСТИТЬ ОБРАЗЦЫ СВОЕЙ
ПРОДУКЦИИ НА НАШИХ РЕКЛАМНЫХ
СТЕНДАХ. ПЛОЩАДЬ ЭКСПОЗИЦИИ
РАСШИРЯЕТСЯ.**

**Наш адрес: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6,
корп. 5, НИИЖБ, сектор маркетинга.
Тел.: 171-93-71, 174-82-92, 174-85-48.
Факс: 422-02-87 (ручной режим).**