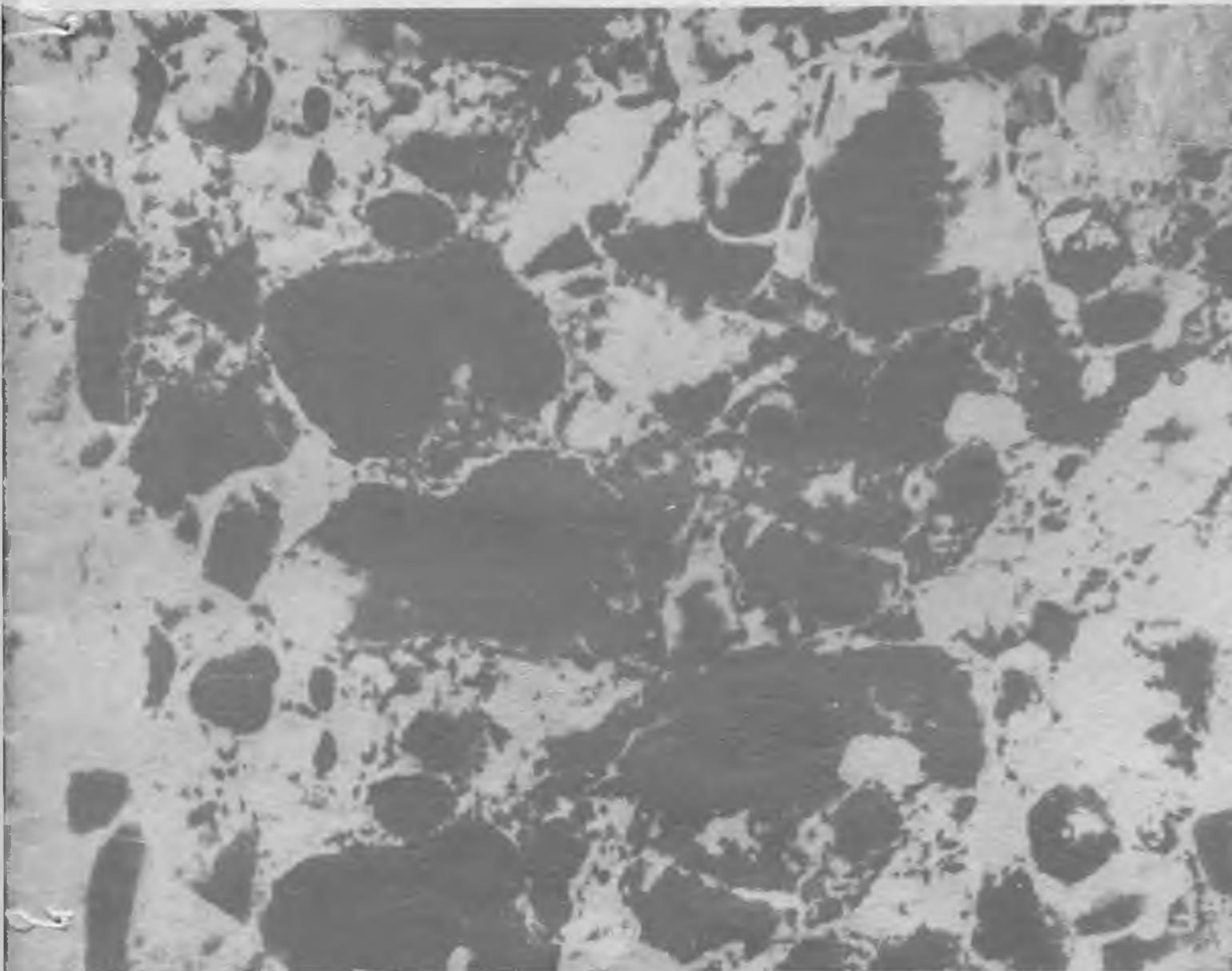


ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1

1993



**НИИЖБ предлагает:**

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЗАГОТОВКИ И НАТЯЖЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ ПУСТОТНОГО НАСТИЛА

Установка ДМ-2 предназначена для заготовки и электротермического натяжения высокопрочной стержневой арматуры классов

Ат-V, Ат-VI и А-V.

Производительность установки — 1 стержень в минуту.

Разработаны рабочие чертежи установки ДМ-2, рекомендации по технологии автоматизированной заготовки и натяжения высокопрочной стержневой арматуры пустотных настилов и рабочие чертежи пустотных настилов с сокращением расходов напрягаемой арматуры.

## БЕССВАРНОЙ СТЫК ДЛЯ КОЛОНН

### В КАРКАСАХ ЗДАНИЙ СЕРИЙ ИИ-04 И 1.020—1/83

Предлагаемая разработка способствует упрощению, трудоемкости и срокам с продольным армированием классов А-III и Ат можно выгибать или спирали.

Достигается значительный экономический эффект при снижении затрат и расхода ста

**На основе  
оказываем  
и консуль  
соответст  
ведением**

**Сто  
уел  
бот**

## ЭКОНОМИЧНЫЕ МОНТАЖНЫЕ (ПОДЪЕМНЫЕ) ПЕТЛИ

Данная разработка поможет Вам сэкономить 20...30 % расходуемой на монтажные петли арматурной стали.

Такая экономия достигается переходом к меньшему по сортаменту диаметру арматуры с гарантией их надежности, обеспечением путем проверки металла на отсутствие хрупкого разрушения.

Такая экономия достигается переходом к новому хозяйственному договору, который оказывает помощь при изготовлении конструкций, проведении испытаний с передачей необходимой документации.

**ИЖБ  
скую  
дачей  
про-**

**от объема  
зчика в ра-**

38.33  
Б 54  
Бетон и  
железобетон,  
1993, № 1-5 (нет № 2)

З ТМО Т. 3 600.000 1620—92

174-88-53; 174-88-08

## Содержание

### Конструкции

<i>Матвеев В. Г., Кришан А. Л., Варламов А. А.</i> Стержневые элементы пустотного сечения . . . . .	2
---	---

### Бетоны

<i>Высоцкий С. А., Царик А. М.</i> Оценка эффективности и классификация многокомпонентных цементов . . . . .	4
<i>Вайнштейн М. З.</i> Проектирование составов тяжелого бетона с применением ЭВМ . . . . .	8
<i>Естемесов З. А., Урлибаев Ж. С., Уралиева М. У.</i> Свойства бетонов на основе тонкомолотых многокомпонентных вяжущих . . . . .	9

### Арматура

<i>Могин А. В.</i> Штампы для изготовления унифицированных закладных деталей . . . . .	10
--	----

### Заводское производство

<i>Витман К. Я., Крошкин Ю. М.</i> Многоместная форма с упругими элементами для изготовления бортовых камней . . . . .	11
<i>Карманов В. В., Станиславчук В. А., Ворона А. М., Литвинов В. А.</i> О повышении ресурса лопастей и скребков бетоносмесителей . . . . .	12
<i>Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д.</i> Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии . . . . .	13
<i>Гениев Г. А.</i> Зависимость прочности бетона от времени . . . . .	15
<i>Карабанов Б. В.</i> Учет геометрической нелинейности при проектировании железобетонных рам . . . . .	17
<i>Ахматов М. А.</i> Легкие бетоны на пористых отходах камнедобычи . . . . .	20
<i>Дворкин Л. И., Шабман И. Б., Чудновский С. М., Ковтун А. М., Якименко О. В.</i> Высокопрочные наполненные бетоны с применением золы-уноса . . . . .	23

### В помощь заводским лабораториям

<i>Пятков В. Д.</i> Новый прибор для контроля за твердением бетона в процессе термообработки . . . . .	25
<i>Пирогов В. А., Кононенко В. А.</i> Контроль и управление расслаиваемостью бетонных смесей при виброформовании . . . . .	26

### В помощь строительным лабораториям

<i>Коревицкая М. Г., Артамонова В. Н., Лапенис Т. Ю.</i> Контроль прочности монолитного бетона неразрушающими методами в раннем возрасте . . . . .	27
--	----

### Информация

<i>Рабинович Ф. Н.</i> Композиционные материалы и конструкции на основе бетона, армированного высокопрочными волокнами . . . . .	29
--	----

### Зарубежный опыт

<i>Кузнецов В. И.</i> Бетон и железобетон в гидромелиоративном строительстве за рубежом . . . . .	30
---	----



УДК 624.152

В. Г. МАТВЕЕВ, А. Л. КРИШАН, А. А. ВАРЛАМОВ, кандидаты техн. наук  
(Магнитогорский горно-металлургический ин-т)

## Стержневые элементы пустотного сечения

В Магнитогорском горно-металлургическом институте разработан новый способ изготовления стержневых железобетонных элементов пустотного сечения\*. Сущность способа заключается в том, что пустотообразователь формы, в которой изготавливают конструкцию, используется как для образования полости в изделии, так и для создания давления на уложенную в форму бетонную смесь в процессе набора бетоном распалубочной прочности. Последнее приводит к улучшению эксплуатационных качеств конструкций. При использовании в конструкциях в качестве продольной арматуры прокатных профилей наряду с повышением физико-механических характеристик бетона проявляется эффект своеобразной обоймы, образованной пространственным каркасом с преднапряженной поперечной арматурой. При этом преднапряжение поперечной арматуры происходит за счет давления, передаваемого от пустотообразователя через бетонную смесь на продольную арматуру. Для реализации данного способа разработано и изготовлено несколько вариантов силовых установок, позволяющих формировать практически любые стержневые конструкции. Предложенные пустотообразователи можно использовать в обычных опалубочных формах с незначительной доработкой последних для изготовления стержневых конструкций пустотного сечения по традиционной технологии.

Для получения максимального эффекта авторами были выполнены специальные эксперименты по определению оптимального состава бетонной смеси и рациональных

технологических параметров ее формирования. При этом для приготовления смеси использовали цементы средних марок и рядовые заполнители. Анализ полученных данных позволил для использованных местных материалов рекомендовать в качестве оптимальной бетонную смесь с соотношением компонентов  $C:P:Ш:В=1,0:1,09:1,96:0,38$  при удельном расходе цемента  $535 \text{ кг/м}^3$ . При оптимизации технологических параметров формирования бетонной смеси момент приложения давления к бетонной смеси должен совпадать с началом срока схватывания цементного теста, скорость нарастания давления должна составлять  $0,1 \text{ МПа/мин}$ , оптимальное прессующее давление —  $3 \text{ МПа}$ . Продолжительность выдержки изделия под давлением зависит от температурно-влажностных условий формирования и при термовлажностной обработке составляет  $6...8$ , а без нее — до  $12 \text{ ч}$ , после чего бетон набирает необходимую распалубочную прочность.

Проводили обширные экспериментально-теоретические исследования работы на центральное и внецентренное сжатие, поперечный изгиб стержневых элементов пустотного сечения из опрессованного и неопрессованного бетонов. Рассмотрены и исследованы различные варианты стыков сжатых элементов, а также узлов сопряжения колонн и ригелей в рамных системах. Исследования показали, что наиболее эффективно применение разработанного способа для формирования конструкций, работающих в стадии эксплуатации на сжатие. Несущую способность таких конструкций можно при прочих равных условиях увеличить до 2 раз. В изгибаемых элементах за счет удаления части бетона из растянутых зон его расход можно сократить на  $30...40 \%$  без

снижения эксплуатационных качеств конструкций. Выполненные исследования позволили разработать методики расчета, учитывающие специфику прессованного бетона и особенности напряженно-деформированного состояния конструкций при работе под нагрузкой. Предложены конструктивные решения различных стержневых элементов (рис. 1...4). В сжатых элементах из опрессованного бетона с внешним продольным армированием из-за проявления эффекта обоймы значительно повышается предельная деформативность бетона. В связи с этим наряду с продольной арматурой из прокатных профилей можно устанавливать высокопрочную стержневую арматуру классов А-IV...А-VI. В изгибаемых элементах также возможен аналогичный вариант смешанного продольного армирования.

Области применения стержневых конструкций пустотного сечения могут быть весьма разнообразными. Их можно использовать в качестве колонн и ригелей каркасов одноэтажных и многоэтажных зданий и инженерных сооружений (например, градирен), элементов каркасов сельскохозяйственных зданий, опор ЛЭП, осветительных и контактных сетей, свай, бортовых камней, перемычек и т. д. Технико-экономические преимущества использования разработанных конструкций стержневых элементов зависят от конкретных условий их применения. Необходимо отметить, что даже без прессования бетона конструкций в процессе их формирования можно получить ощутимый экономический эффект. Замена сплошных сечений пустотными без снижения эксплуатационных качеств конструкций приведет к экономии бетона на  $30...50 \%$ . При этом переделка традиционных форм для изготовления стержневых конструкций незначительна и связана с выполнением в торцевых элементах форм отверстий для пропуска пустотообразователя, конструкция которого проста и может быть изготовлена на любом предприятии, имеющем оборудование для изготовления резинотехнических изделий.

Наиболее эффективно примене-

\* А. с. 1047697 СССР. МКИ<sup>4</sup> В 28 В 7/22. Способ изготовления предварительно напряженных железобетонных объемных элементов и устройство для изготовления предварительно напряженных железобетонных объемных элементов / В. Г. Матвеев, Г. И. Амеликин (СССР) // Открытия. Изобретения. — 1983. — № 38.

ние стержневых конструкций пустотного сечения из опрессованного бетона. Несмотря на увеличение до 2 раз стоимости оснастки и ее обслуживания по сравнению с оборудованием для традиционной технологии формирования комплекс улучшенных технико-экономических показателей таких конструкций не только компенсирует дополнительные затраты, но и обеспечивает значительный экономический эффект. В первую очередь, это связано с тем, что существенно улучшаются основные физико-механические характеристики прессованного бетона: кубиковая и призмная прочность, прочность на растяжение, начальный модуль упругости. Анализ результатов исследований показал, что в диапазоне прессующего давления 1...5 МПа соотношение между отмеченными характеристиками обычного и прессованного бетона можно представить в следующем виде:

$$B_p = B(1 + \alpha_i \ln 10P),$$

где  $B_p$  — характеристика прессованного бетона;  $B$  — характеристика исходного (неопрессованного) бетона;  $P$  — давление прессования;  $\alpha_i$  — эмпирический коэффициент, зависящий от определяемой характеристики: для кубиковой и призмной прочности; прочности бетона на растяжение  $\alpha_i = 0,15$ , для начального модуля упругости бетона  $\alpha_i = 0,08$ .

При давлении прессования 3 МПа прочностные характеристики бетона увеличиваются не менее чем на 50 %, модуль упругости — на 30 %. Повышение прочностных характеристик бетона позволяет увеличивать размеры пустот в сечениях стержневых элементов без

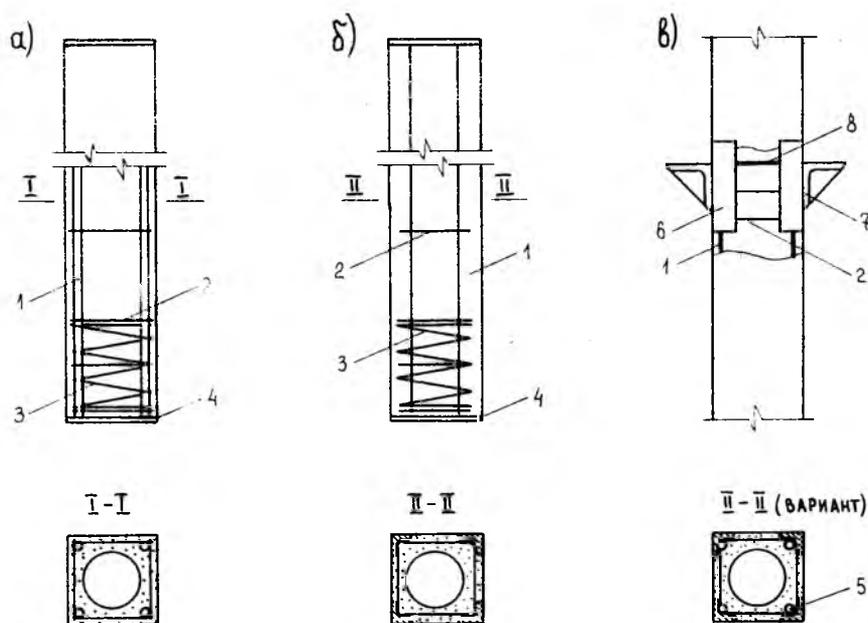


Рис. 1. Конструктивные решения колонн пустотного сечения

*a* — армирование стержневой продольной арматурой; *b* — то же внешней продольной арматурой из прокатных профилей; *в* — сопряжение металлических консолей со стволом колонны; 1 — продольная арматура; 2 — поперечная арматура; 3 — усиление концевых участков спиралью; 4 — торцевая пластина; 5 — высокопрочная продольная арматура; 6 — закладная деталь или внешняя продольная арматура; 7 — металлическая консоль; 8 — соединительный стержень

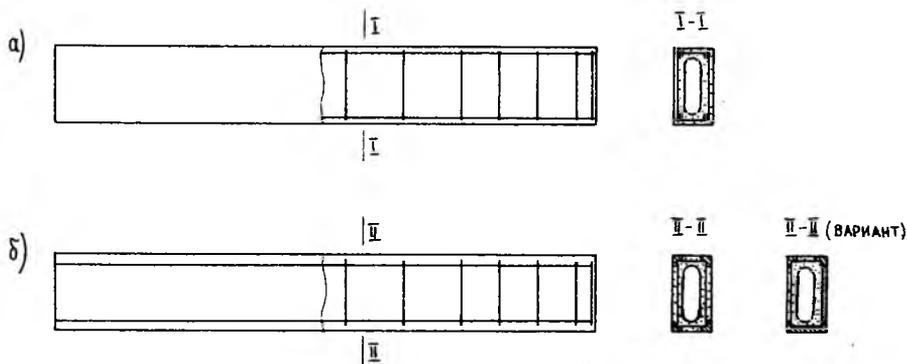


Рис. 2. Конструктивные решения изгибаемых элементов пустотного сечения

*a* — армирование стержневой продольной арматурой; *b* — то же внешней продольной арматурой из прокатных профилей

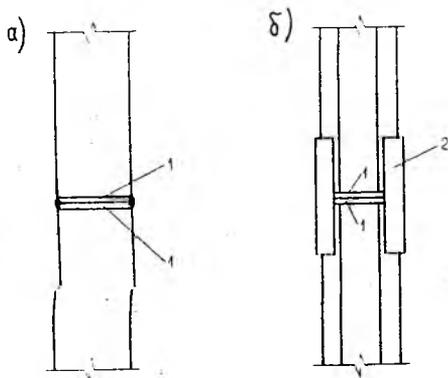


Рис. 3. Варианты узла сопряжения сжатых элементов

*a* — при работе стыка на сжатие; *b* — при наличии в зоне стыка значительных изгибающих усилий; 1 — торцевые пластины стыкуемых элементов; 2 — соединительные уголкового накладки

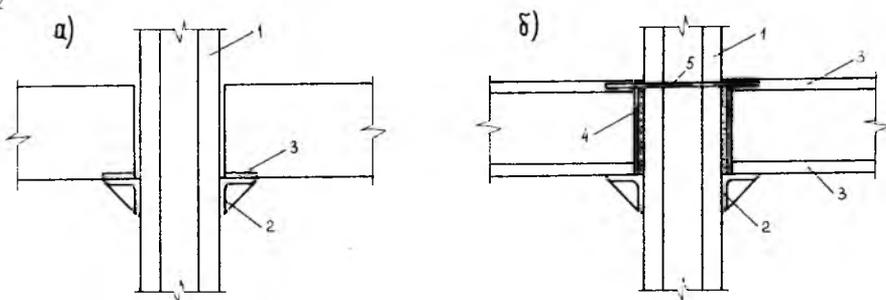


Рис. 4. Варианты конструктивного решения узла сопряжения элементов рамы

*a* — шарнирный; *b* — жесткий; 1 — внешняя продольная арматура (закладная деталь) колонны; 2 — консоль; 3 — внешняя продольная арматура (закладная деталь) ригеля; 4 — торцевая пластина ригеля; 5 — соединительный стержень

снижения их несущей способности. Одновременно можно сократить на 30 % расход арматурной стали. Использование внешнего армирования способствует, как отмечалось выше, созданию в стержневой конструкции своеобразной преднапряженной обоймы, которая за счет эффекта объемного напряженного состояния приводит к дополнительно повышению физико-механических характеристик бетона на 10...15 %.

Наряду с отмеченными стержневые конструкции из прессованного

бетона обладают дополнительными достоинствами: за счет более плотной структуры по сравнению с обычным бетоном повышается морозостойкость и сопротивляемость к агрессивным воздействиям окружающей среды. Применение внешней арматуры позволяет отказаться от закладных деталей и упростить конструкцию стыков элементов.

Использование прессования бетона позволяет сократить продолжительность технологического цикла изготовления конструкций в 1,8...2 раза, поскольку при действии давления скорость набора бетоном

требуемой прочности существенно возрастает. Таким образом, за счет повышения оборачиваемости форм можно в 1,8...2 раза повысить производительность труда при изготовлении конструкций. Одновременно с этим до 2 раз сокращаются энергетические затраты.

Разработанные конструкции внедрены при строительстве здания кузнечного отделения учебно-производственных мастерских и при реконструкции здания поликлиники Магнитогорского горно-металлургического института.

## Бетоны

УДК 666.972

С. А. ВЫСОЦКИЙ, А. М. ЦАРИК, кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

### Оценка эффективности и классификация многокомпонентных цементов

Характерной чертой выпускаемых и вновь разрабатываемых многокомпонентных цементов является наличие в их составе минеральных добавок. Особое внимание привлекают цементы с повышенной дисперсностью, компенсирующей снижение активности при увеличении доли минеральных добавок, в том числе тонкомолотые многокомпонентные цементы [1, 2]. К ним относятся композиции со значительным содержанием добавок ( $\geq 30...50\%$ ) дисперсностью 400...500 м<sup>2</sup>/кг по воздухопроницаемости и не более 2...4 % по остатку на сите 008. Целесообразность развития их производства вызвана как прогнозируемой на ближайшее время структурой бетонов с преобладанием умеренных классов ( $B \leq 20$ )  $\approx 75\%$  и ограниченными требованиями по морозостойкости, так и современной технологией, ориентированной на мокрый способ изготовления клинкера и не имеющей возможности наращивать выпуск цемента альтернативными способами без резкого увеличения капиталовложений.

Из различных показателей эффективности первостепенное значение ввиду неопределенности стои-

мостных критериев и острого дефицита цемента имеет экономичность бетонов по расходу вяжущего или увеличение производства бетона при неизменных ресурсах клинкера. Их определение требует знания зависимостей  $R_6 = f(C/V, C)$  для бетонов на многокомпонентных цементах и цемента, принятом за базу сравнения, получение которых длительно и трудоемко. В связи с этим при оптимизации состава и технологических параметров изготовления многокомпонентных цементов использовали результаты испытаний стандартных растворов, которые однако не дают сведений об экономике цемента и не всегда отражают специфику поведения вяжущего в бетоне.

Далее рассмотрен упрощенный и ускоренный способ оценки вяжущего в бетоне, базирующийся на результатах испытаний бетона фиксированного состава с заданным соотношением Ц:П:Щ, отчасти лишенный указанных недостатков. При его реализации в условиях, не связанных с конкретным производством, в качестве заполнителей рекомендуется гранитный щебень фракций 5...10 и 10...20 мм в соотношении 7:13 и речной квар-

цевый песок с  $M_k = 1,75 \pm 0,25$  и содержанием фракции  $< 0,14$  мм  $8 \pm 2\%$ . При этом целесообразно принимать Ц:П:Щ = 1:2:3,5 по массе, содержание воды — обеспечивающим заданную постоянную удобоукладываемость смеси. Первоначально в опытах ориентировались на  $O.K. = 4 \pm 1$  см. В дальнейшем была выявлена предпочтительность оценки удобоукладываемости показателем жесткости. Рекомендуется принимать  $J = 10...12$  с, определяемую методом малого конуса как длительность растекания смеси в форме с ребром 15 см при вибрационном воздействии. Такой показатель применим к распространенным на практике смесям, а метод приемлем до  $O.K. = 8...10$  см.

Эксперименты показали, что при указанных соотношениях компонентов, соблюдении рассмотренных условий и максимальном содержании многих минеральных добавок в вяжущем (40...50%) обеспечивается необходимое содержание тонкодисперсных составляющих, достигаются однородность смесей, распространенные прочностные характеристики бетонов (20...30 МПа) и высокая экономичность по расходу цемента, т. к. содержание портландцементной составляющей близко при этом к минимально допускаемому в железобетоне уровню с позиций сохранности стальной арматуры. Экспериментальное воплощение

Таблица 1  $\mathcal{E}_n, \%$ 

Вид и состав вяжущего	В/Ц	% Ц-3	$R_{ТВО}$ МПа	$R_{ТВО}^{28}$ МПа	$R_{н.}^{28}$ МПа	Эффективность в возрасте 28 сут после ТВО		
						$\mathcal{E}_{н.}^*$ %	$V',$ м <sup>3</sup> /т	$V,$ м <sup>3</sup> /т
Белгородский ПЦ	0,49	0,0	17,7	35,6	34,0	—	4,07	4,07
ТМЦ с 25 % песка и	0,48	0,0	14,5	29,2	33,8	39	6,68	3,34
25 % шлака	0,44	0,4	18,0	32,6	37,2	45	7,46	3,73
ТМЦ с 50 % песка	0,42	0,8	21,5	34,8	40,0	49	7,96	3,98
ТМЦ с 50 %	0,50	0,0	14,4	26,0	30,0	31	5,96	2,98
песка	0,46	0,4	18,9	32,3	35,7	44	7,34	3,67
	0,43	0,8	22,7	35,1	38,5	48	6,64	3,32
Белгородский ПЦ	0,51	0,0	13,9	27,0	22,7	—	3,24	3,24
ТМЦ с 50 % Арагацкого перлита	0,50	0,0	18,0	23,5	22,2	43	5,64	2,82
Подольский ПЦД с 20 % шлака	0,49	0,0	14,4	29,6	29,8	—	4,31	3,45
ТМЦ с 38 % золы и 12 % шлака	0,47	0,0	13,8	27,7	29,5	47	5,43	3,26
ТМЦ с 38 % песка и 12 % шлака	0,52	0,0	9,3	19,2	22,5	23	3,78	2,27
ТМЦ с 50 % вулканического шлака	0,47	0,0	8,7	20,3	22,1	27	5,93	2,37
Жигулевский ПЦД с 20 % шлака	0,49	0,0	18,0	33,0	30,0	—	4,78	3,83
ТМЦ с 40 % золы	0,49	0,0	25,0	38,5	35,0	36	7,44	4,46
	0,43	0,4	34,0	48,0	46,0	48	9,28	5,57

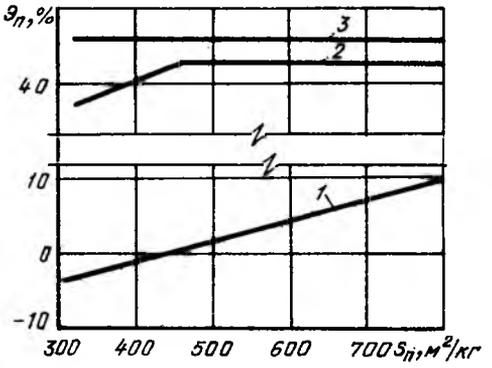


Рис. 1. Влияние тонкости помола кварцевого песка и портландцемента на эффективность смешанного вяжущего в бетоне стандартного состава в возрасте 28 сут нормального твердения

1 —  $S_{пц}=285$ ; 2 —  $S_{пц}=400$ ; 3 —  $S_{пц}=490$  м<sup>2</sup>/кг

эффект могут давать и композиции с инертными (песок) или комбинированными (шлак+песок) добавками.

Независимо от вида и состава тонкомолотых многокомпонентных цемента их применение дает значительную экономию портландцемента или увеличение выхода бетона при неизменных ресурсах клинкера. Максимальный эффект отмечен для вяжущего с 40 % золы ( $\Delta V=55..85\%$ ) и 50 % перлита (100...150 %), в качестве которого можно использовать разновидность, малоприспособленную для получения пористых заполнителей. Наиболее ярко преимущества вяжущих с активными минеральными добавками проявляются при пропаривании. Причем эффект сразу после ТВО выше, чем в возрасте 28 сут, что подтверждает более быстрый темп их твердения в сравнении с портландцементом и значительную активизацию пуццоланической реакции при ТВО. Последствия деструктивных факторов в композициях с подобными добавками достаточно хорошо устраняются, благодаря чему прочность пропаренного бетона в возрасте 28 сут находится на уровне бетона нормального твердения.

Суммарный эффект зависит от дисперсности клинкера, активности и микрозаполняющего действия минеральных добавок. Установлено снижение последнего с увеличением тонкости помола портландцемента. Повышение дисперсности песка при высокой тонкости цемента не влияет на  $\mathcal{E}_n$  (рис. 1). Песок не проявляет пуццоланической активности несмотря на значительное содержание в нем частиц < 5 мкм, входящее до 50 % по

способа заключается в приготовлении смесей на исследуемом и эталонном цементах, обеспечении добавлением воды заданной удобоукладываемости, корректировке состава, изготовлении, выдерживании по типовым режимам и испытаниях на сжатие бетонных кубов и оценке эффективности.

В зависимости от конкретных задач можно использовать различные показатели. С точки зрения изготовителей бетона наиболее эффективны цементы, обеспечивающие максимальный выход бетона  $V$  из единицы массы вяжущего. Если принять среднюю прочность бетона  $R=25$  МПа, то в абсолютном выражении качество цемента можно охарактеризовать показателем

$$V = \frac{40R}{B}, \quad (1)$$

где  $R$  — прочность бетона стандартного состава;  $B$  — расход вяжущего.

С учетом существующего положения в цементной промышленности и необходимости экономии энергоресурсов дополнительным показателем для оценки перспектив увеличения производства бетона

$$V' = \frac{40R}{nB}, \quad (2)$$

где  $V'$  — объем выхода бетона из единицы массы клинкера;  $n$  — доля портландцемента в многокомпонентном цементе.

Самостоятельное значение могут также иметь экономия цемента  $\mathcal{E}_n$  или увеличение выхода бетона

$\Delta V$  благодаря использованию многокомпонентных цемента по сравнению с бетоном на исходном цементе

$$\mathcal{E}_n = \frac{\frac{C_1}{R_1} - n \frac{C_2}{R_2}}{\frac{C_1}{R_1}}, \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{100\mathcal{E}_n}{100 - \mathcal{E}_n}, \quad (4)$$

где  $C_1, C_2$  — расход в бетоне портландцемента и тонкомолотого многокомпонентного цемента;  $R_1, R_2$  — прочность при сжатии бетона на портландцементе и тонкомолотом многокомпонентном цементе.

С использованием изложенного подхода изучили около 50 вяжущих различного вида и состава, в том числе более 20 видов тонкомолотых многокомпонентных цемента. Свойства некоторых композиций приведены в табл. 1. Установлено, что на тонкомолотых многокомпонентных цементах с  $\geq 40..50\%$  минеральных добавок получают бетоны прочностью 20...30 МПа, а после ТВО по типовому режиму 2+3+6+2 ч — 9...21 МПа. Водопотребность вяжущих в бетоне различается мало. Наибольший выход бетона обычно обеспечивают портландцементы. Однако при использовании тонкомолотых многокомпонентных цемента с активными добавками (перлиты, пылевидные золы) достигаются идентичные, а порой даже лучшие показатели. В условиях нормального твердения близкий

Таблица 2

Степень качества	Прочность, МПа	$\varepsilon_{ц}$ , %	$V$ , м <sup>3</sup> /т	$V'$ , м <sup>3</sup> /т	$\Delta V$ , %
Низкая	<20/<11	<10	<2,3	<3,8	<11
Средняя	20–30/11–17	10–40	2,3–3,5	3,8–5,8	11–67
Повышенная	30–45/17–25	40–60	3,5–5,2	5,8–8,7	67–150
Высокая	>45/>25	>60	>5,2	>8,7	>150

Примечание. Перед чертой — 28 сут, после черты — ТВО по типовому режиму.

данным лазерной гранулометрии. Таким образом, в эффективности применения тонкомолотых многокомпонентных цементов с такими добавками основная роль принадлежит тонкости клинкерной составляющей, ориентировочная оценка которой вытекает из предположения об аддитивности измельчения компонентов в составе многокомпонентных цементов

$$S_K = \frac{S_B}{n' + (1-n') \frac{b_{MD}}{b_K}}; \quad (5)$$

$$S_{MD} = S_K \frac{b_{MD}}{b_K}, \quad (6)$$

где  $S_K$ ,  $S_B$ ,  $S_{MD}$  — удельная поверхность клинкера, вяжущего и минеральной добавки;  $b_K$ ,  $b_{MD}$  — размалываемость клинкера и минеральной добавки;  $n'$  — содержание клинкера в вяжущем в долях единицы.

При  $S_B = 450$  м<sup>2</sup>/кг,  $b_K = 1,5b_{П}$  и  $n' = 0,6$ ;  $S_K = 520$ ,  $S_{П} = 350$  м<sup>2</sup>/кг. Высокая дисперсность клинкера предопределяет значительную степень его гидратации в составе тонкомолотых многокомпонентных цементов — в среднем 80...85 % по алиту методом рентгенографического анализа, превышающую на 20...25 % аналогичный показатель для портландцемента и компенсирующую инертность песка при умеренных его дозировках. В тонкомолотых многокомпонентных цементах с добавкой пылевидных зол и некоторых вулканических пород отмечается обратное соотношение показателей дисперсности, но относительно меньшее участие клинкера дополняется пуццоланической активностью минеральных добавок. Например, для типичной пуццолановой добавки перлита ( $\approx 85$  % суммарного содержания аморфных кремнезема и глинозема) расчет по модельной реакции  $C + S + H \rightarrow CSH$ , исходя из данных о связывании перлитом CaO из насыщенного раствора, дает значение условной степени гидратации минеральной добавки 8...9 %, что ускоряет устранение дефектов после ТВО.

Анализом установлено, что по

механическим характеристикам бетона целесообразно выделение цементов низкой прочности, рядовых или средней прочности, повышенной прочности и высокопрочных (табл. 2). Тонкомолотые многокомпонентные цементы с содержанием 30...40 % инертных добавок типа трудноразмалываемого кварцевого песка и 40...50 % активных добавок, как правило, относятся к рядовым, как и большинство производственных шлакопортландцементов. При повышенной тонкости ( $S = 300...400$  м<sup>2</sup>/кг) в данную категорию попадают и шлакопортландцементы со значительным содержанием шлака (40...80 %). Тонкомолотые многокомпонентные цементы с карбонатными добавками, даже кристаллическими, относятся к цементам низкой прочности и характеризуются ограниченным применением. Промышленные портландцементы составляют в основном группу повышенной прочности, а при увеличенной тонкости рекомендуются для высокопрочных бетонов. Проведенная в источнике [4] обработка данных показала, что соотношение прочности растворов по ГОСТ 310 и бетонов стандартного состава носит линейный характер (табл. 3, рис. 2). Аналогичная зависимость выявлена для относительной прочности после ТВО, причем по сравнению с цементами массового применения ( $K_n = 0,56...0,67$  [5]) для тонкомолотых многокомпонентных цементов результаты смещены в сторону более высоких значений, подлежащих учету при назначении режимов ТВО и проектировании состава бетона. По коэффициенту  $K_n = R_{ТВО} / R_{ТВО}^{28}$  целесообразно выделять цементы низкой, средней и высокой эффективности ( $K_n < 0,5$ ;  $K_n = 0,5...0,6$  и  $K_n > 0,6$ ).

В зависимости от содержания инертных минеральных добавок тонкомолотые многокомпонентные цементы могут входить в среднюю группу, но тяготеют к группе низкой эффективности. Цементы с активными добавками относятся к высокоэффективным вяжущим, а с

Рис. 2. Взаимосвязь абсолютной (а) и относительной (б) прочности стандартных растворов и бетонов стандартного состава на различных вяжущих

$\Delta$  — ПЦ ДО;  $\square$  — ПЦ Д20;  $\blacksquare$  — ТМЦ с содержанием 20 % минеральной добавки;  $\circ$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\bullet$  — тонкомолотые многокомпонентные цементы и смешанные цементы с содержанием 40...50 % минеральной добавки;  $\circ$  — то же с инертными и низкоактивными добавками (кварцевый песок, вулканический шлак);  $\blacktriangle$  — то же с комбинированными (песок + доменный шлак, песок + зола) и среднеактивными минеральными добавками (золы, вулканические туфы);  $\bullet$  — то же с высокоактивными минеральными добавками (доменный шлак, перлит)

комбинированными добавками или при использовании исходного портландцемента с  $K_n < 0,5$  занимают среднее положение. Особое место среди высокоэффективных цементов принадлежит шлакопортландцементам с повышенным содержанием шлака (40...80 %), для которых даже при дисперсности 300...400 м<sup>2</sup>/кг относительная прочность при оптимальных температурах достигает 0,8...0,9.

При проведении ТВО с 1,5-кратной оборачиваемостью тепловых агрегатов и форм и обычных требованиях к отпускной прочности (70 %) расход цемента для средней группы определяется, как правило, отпускной прочностью. Цементы низкой эффективности можно рекомендовать для ТВО по режимам с однократной оборачиваемостью или же, как показали опыты с белитопортландцементами, — для двухстадийной ТВО.

Для ускоренной оценки различных вяжущих и получения ориентировочных прогнозных данных приемлема ориентация на абсолютную прочность бетона после ТВО. Принимая  $K_n = 0,55$ , получим показатели, приведенные в табл. 2.  $\varepsilon_{ц}$ ,  $V$ ,  $V'$ , определенные при  $n = 0,6$  и  $R_1 = 30$  МПа. Такие ограничения являются необходимыми, т. е. при обеспечении заданной прочности бетона измельчением вяжущего с различной долей минеральных добавок до той или иной тонкости приведенные показатели зависят от содержания добавки (рис. 3).

Значительное влияние на эффективность многокомпонентных цементов оказывают пластифицирующие добавки. Определение их оптимальной дозировки включает приготовление бетонных смесей стандартного состава с различным содержанием пластификатора и уменьшенным в соответствии с ожидаемым результатом расходом

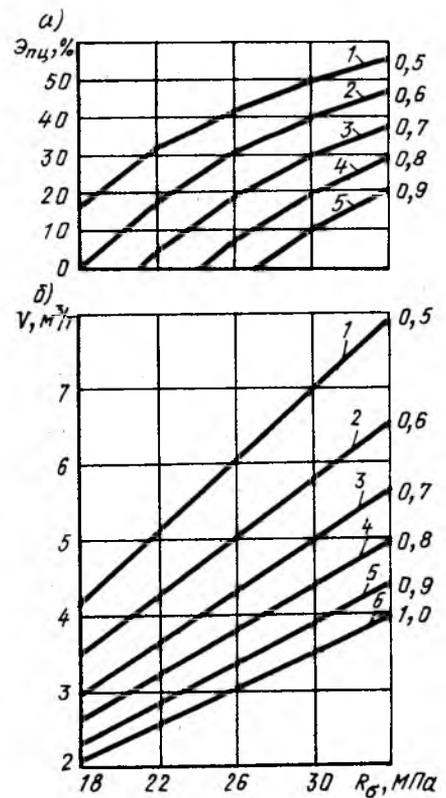
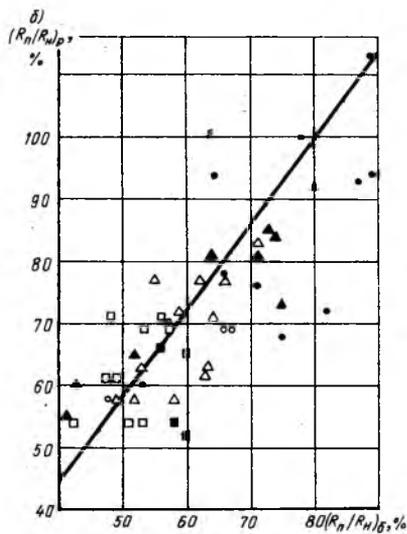
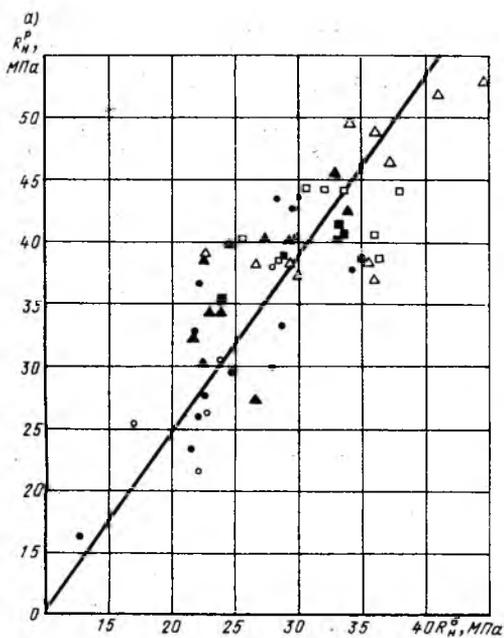


Таблица 3

Условия испытаний	Число пар результатов испытаний	Формула, описывающая взаимосвязь $R_p$ и $R_0$	Коэффициент корреляции	Ошибка уравнения при обеспеченности, %
ТВО	52	$R_0 = 0,63R_p + 1,2$	0,77	$\pm 4,5 / \pm 5,6$
ТВО + 28 сут нормального твердения	10	$R_0 = 0,9R_p - 4,8$	0,91	$\pm 4,0 / \pm 5,0$
28 сут нормального твердения	57	$R_0 = 0,7R_p + 2,8$	0,82	$\pm 6,0 / \pm 7,4$

Примечание. Перед чертой — 90, после черты — 95 %.

Рис. 3. Влияние качества многокомпонентного цемента и содержания в нем минеральных добавок на экономичность портландцемента (а) и выход бетона из единицы массы вяжущего (б); 1...6 — доля портландцемента в многокомпонентном цементе 50, 60, 70, 80, 90 и 100 %

воды, обеспечение добавлением воды заданной удобоукладываемости с последующими корректировкой состава, изготовлением, выдерживанием образцов, испытанием их на сжатие и расчетом  $\mathcal{E}_c$

$$\mathcal{E}_c = \frac{\frac{C_0}{R_0} - \frac{C_i}{R_i}}{\frac{C_0}{R_0}} \cdot 100 \% \quad (8)$$

где  $C_0, R_0$  — расход цемента в бетоне и прочность бетона без пластифицирующей добавки;  $C_i, R_i$  — то же для бетонов с различным содержанием пластификатора.

При оперировании показателем  $\mathcal{E}_c$  создается возможность сопоставить экономию цемента, получаемую от введения пластифицирующих минеральных добавок или других технологических приемов. Характерная зависимость  $\mathcal{E}_c$  от % пластифицирующей добавки включает участок возрастания, стабилизации и возможного снижения  $\mathcal{E}_c$  вследствие снижения В/Ц, дефлокуляций зерен вяжущего, замедляющего влияния адсорбционных слоев добавки на гидратацию цемента и воздухововлечения.

Введение С-3 благодаря уменьшению водопотребности позволяет добиться аналогичного или лучшего качества по сравнению с исходными портландцементами. Особенно высок эффект для тонкомолотых многокомпонентных цементов с 40 % золы (см. табл. 1). Анализ результатов с учетом возможности их перенесения на цементы с добавкой пластификаторов, введенной при помоле, позволяет выделить цементы низкой, средней и высокой водопотребности, характеризующиеся В/Ц бетона стандартного состава  $< 0,47$ ;  $0,47 \dots 0,52$  и  $> 0,52$ .

Пластифицированные цементы, разновидностью которых являются вяжущие низкой водопотребности, принадлежат к первой группе, подавляющее большинство цементов, включая тонкомолотые многокомпонентные цементы — к средней, и лишь многокомпонентные цементы с добавками опоки, трепела, диатомита, цеолитовых пород, силикатной пыли и т. п. характеризуются повышенной водопотребностью. Содержание подобных минеральных добавок в цемент-

тах общестроительного назначения должно быть ограниченным (до 20 %), а применение пластификаторов в этом случае обязательно. Существенно, что в суммарном эффекте от применения тонкомолотых многокомпонентных цементов и суперпластификатора, главная роль принадлежит тонкому измельчению вяжущего; пластифицирующие же добавки (особенно ЛМТ, ЛСТМ, ПФС) имеют второстепенное значение.

Проведенные эксперименты и сопоставление их результатов с данными, полученными при реализации полной схемы проектирования состава бетона, свидетельствуют о пригодности упрощенного способа для решения различных задач технологии тонкомолотых многокомпонентных цементов и бетонов — определения, в том числе ускоренного, эффективности вяжущих, выработки классификационных оценок, выявления рациональных условий и режимов выдерживания бетонов, определения оптимального содержания пластификаторов. При оценке многокомпонентных цементов следует принимать во внимание рассмотренные особенности этих вяжущих.

1. Малинина Л. А. Проблемы производства и применения тонкомолотых многокомпонентных цементов // Бетон и железобетон.— 1990.— № 2.— С. 3—5.
2. Шубин В. И., Энтин З. Б., Лебедев А. О. Тонкомолотые многокомпонентные цементы // Цементы и их строительно-технические свойства.— Вып. 100.— М.: НИИцемент, 1990.— С. 9—14.
3. Оптимизация состава бетонов с дисперсными минеральными добавками / С. А. Высоцкий, М. И. Бруссер, В. П. Смирнов, А. М. Царик // Бетон и железобетон.— 1990.— № 2.— С. 9—11.
4. Тейлор Дж. Введение в теорию шпикера.— М.: Мир, 1985.— 272 с.
5. Рекомендации по тепловой обработке тяжелого бетона с учетом активности цемента при пропаривании.— М.: НИИЖБ, 1984.— 20 с.

УДК 691.327.001.2

М. З. ВАЙНШТЕЙН, канд. техн. наук (Марийский политехнический ин-т)

## Проектирование составов тяжелого бетона с применением ЭВМ

На производстве составы тяжелого бетона проектируют практически один или два раза в год. В промежутках они редко корректируются в зависимости от меняющихся свойств материалов, применяемых для изготовления бетона. Неоперативное корректирование составов бетона снижает его качество, эффективность использования вяжущего и экономическую эффективность изготавливаемых изделий и конструкций.

Использование ЭВМ и, в частности, персональных компьютеров позволяет повысить оперативность корректирования составов бетонов, что улучшает технико-экономические показатели изделий и конструкций на их основе.

С 1973 г. применяют разработанные нами программы по проектированию составов тяжелых бетонов с помощью ЭВМ. В основу программы положен расчетно-экспериментальный метод проектирования составов тяжелых бетонов по абсолютным объемам\*. На основании указанного метода разработаны алгоритм и программа проектирования составов бетона применительно к машине класса ЕС и персональным компьютерам.

Алгоритм проектирования состоит из 10 блоков. В первом — производится ввод исходных данных, которые делятся на две группы: данные, отражающие требования к проектируемому бетону, и данные, характеризующие свойства исходных материалов.

Ниже приведены исходные данные для проектирования состава тяжелого бетона и возможный диапазон их колебаний.

Предел прочности при сжатии $R_B$ , МПа . . . . .	5...60
Марка (активность) цемента $R_{II}$ , МПа . . . . .	30...60
Жесткость смеси $J$ , с . . . . .	20...100
Пластичность смеси, см . . . . .	2...13
Прочность зерен крупного заполнителя при сжатии $R_3$ , МПа . . . . .	30...60
Форма зерна: ФЗ:	
гравий . . . . .	1
щебень . . . . .	2
Качество материалов, КМ:	
высокое . . . . .	1
среднее . . . . .	2
низкое . . . . .	3
Водопоглощение крупного заполнителя $W_{K3}$ , % по массе . . . . .	0...15
Пустотность крупного заполнителя ПКЗ, доля единицы . . . . .	0,37...0,45
Средняя плотность крупного заполнителя в куске $G_{K3}$ , г/см <sup>3</sup> . . . . .	2,3...2,7
Средняя насыпная плотность крупного заполнителя $G_{HK3}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	1,2...1,7
Максимальный размер зерна крупного заполнителя $R_{3K}$ , мм . . . . .	10...40
Средняя плотность песка в зерне $G_P$ , г/см <sup>3</sup> . . . . .	2,4...2,7
Средняя насыпная плотность песка $G_{HP}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	1,4...1,8
Модуль крупности песка $M_k$ . . . . .	1,0...3,0
Тип цемента ТЦ:	
портландцемент . . . . .	1
шлакопортландцемент . . . . .	2
пуццолановый портландцемент . . . . .	3
Плотность цемента $G_C$ , г/см <sup>3</sup> . . . . .	3,0...3,2
Средняя насыпная плотность цемента $G_{HC}$ , кг/дм <sup>3</sup> . . . . .	1,1...1,5
Объем бетоносмесителя $V$ , м <sup>3</sup> . . . . .	0,25...5

\* Баженев Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов.— М.: Стройиздат, 1975.— 152 с.

Во втором блоке анализируется возможность получения бетона заданных свойств, исходя из соотношения между прочностью заполнителя и бетона, а также марки (активности) цемента и прочности бетона. Если данное соотношение не соответствует требуемой величине, то проектирование состава бетона прерывается и машина выдает рекомендации о выборе необходимых материалов. В третьем блоке производится расчет требуемого  $V/C$ , исходя из качества используемых материалов, активности (марки) цемента и заданной прочности при сжатии тяжелого бетона. В четвертом блоке, исходя из подвижности (удобоукладываемости) бетонной смеси, формы и размера зерна, модуля крупности песка и типа цемента, устанавливается расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона. В пятом — определяется расход цемента в зависимости от расхода воды и  $V/C$ . В шестом блоке уточняются расходы воды, цемента, принимаются еще два значения расхода цемента  $C_2=1,2 C_1$  и  $C_3=0,8 C_1$  и соответствующие им  $V/C_2$  и  $V/C_3$ . В седьмом блоке определяется расход крупного заполнителя с учетом коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя ( $\alpha$ ). В восьмом — вычисляется расход песка на 1 м<sup>3</sup> бетона с учетом трех расходов цемента. В девятом блоке подсчитывается расход воды на поглощение крупным заполнителем. В десятом — определяются ожидаемая средняя плотность бетонной смеси, бетона, а также коэффициент выхода бетона.

На печать выдаются расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, на контрольный (11 л) замес и замес конкретного смесителя в трех вариантах, средняя плотность бетонной смеси и бетона и коэффициент выхода бетона.

С помощью персонального компьютера продолжительность расчета одного состава бетона составляет 60 с (вместе с вводом исходных данных).

Экономический эффект от применения ЭВМ для расчета состава тяжелого бетона очевиден благодаря экономии трудозатрат, сокращению расхода цемента, заполнителей и теплоэнергетических затрат. Использование ЭВМ при проектировании состава тяжелого бетона может стать составным элементом АСУ технологией производства бетона.

## Свойства бетонов на основе тонкомолотых многокомпонентных вяжущих

Одним из путей снижения дефицита цемента является применение новых эффективных вяжущих, получаемых путем домола цемента совместно с наполнителями, активизирующимися при помоле, и вводом суперпластификатора. Последний вводят двумя способами: сухим при домоле цемента (вяжущее низкой водопотребности) и жидким в процессе приготовления бетонной смеси (такое вяжущее условно названо тонкомолотым многокомпонентным вяжущим ТМВ). Из-за отсутствия достаточных теоретических и экспериментальных данных трудно оценить предпочтительность одного из этих направлений, но полученные результаты [1, 2] показывают, что бетоны на основе ВНВ и ТМВ обладают повышенной прочностью и по технологичности отвечают современным требованиям.

Для получения ТМВ использовали портландцемент марки 400 Чимкентского завода, гранулированные доменный и фосфорный шлаки Карагандинского металлур-

гического завода и Чимкентского ПО «Фосфор», золу-унос Целиноградской ТЭЦ и полевошпатовый песок Николаевского месторождения Алма-Атинской обл. В качестве пластифицирующей добавки применяли жидкий суперпластификатор С-3 завода ЖБИ треста Павлодарпромстрой.

Вяжущие получали совместным помолем цемента и наполнителя. При этом удельная поверхность ТМВ на основе песка составляла 450, на основе шлаков — 350, на основе золы-уноса — 550 м<sup>2</sup>/кг.

Нормальная густота и активность полученных вяжущих и исходного цемента приведены в табл. 1. Нормальная густота исходного цемента составляет 27,5 %, при введении С-3 она снижается до 19,9 %, активность цемента без добавки равна 43,8 МПа, с добавкой возрастает на 20 %. Это свидетельствует о влиянии суперпластификатора на свойства цемента, которое еще более возрастает при его введении в состав ТМВ. Нормальная густота ТМВ без С-3 на осно-

ве песка и шлаков колеблется в пределах 28,1...29,4 %, а на основе золы-уноса — 36 %, что несколько выше водопотребности исходного цемента. Нормальная густота ТМВ с добавкой С-3 составляет 19...21,3 %. Следовательно, при введении суперпластификатора в состав исходного цемента его водопотребность снижается на 27 %, а в состав ТМВ — на 30...41 %.

Из табл. 1 видно, что активность ТМВ без добавки составляет 27...44, с С-3 — 41...61 МПа. На активность ТМВ влияют также вид и содержание минеральных наполнителей. Доменный шлак более эффективен, чем фосфорный. При замене 50 % цемента фосфорным шлаком активность ТМВ составляет 41, доменным шлаком — 60,8 МПа. При замене 50 % цемента песком активность полученного вяжущего составляет 41, при 15 % — 60 МПа. Замена 30 % цемента золой дает активность вяжущего 59,6 МПа. Сопоставляя данные по активности исходного цемента и ТМВ, можно констатировать, что при определенных соотношениях цемента, минерального наполнителя и суперпластификатора можно получить эффективные тонкомолотые многокомпонентные вяжущие (табл. 2).

Бетоны на основе ТМВ обладают повышенной призмочной прочностью. Их коэффициент призмочной прочности составляет 0,79...0,95, а у бетонов на основе исходного цемента — 0,76. Экспериментальные данные начального

Таблица 1

Вяжущее	Минеральная добавка	Нормальная густота, %	Прочность на сжатие стандартного раствора в возрасте 28 сут, МПа
Исходный цемент	—	27,5/19,9	43,8/52,4
ТМВ(П)-50	Песок	29,4/20,3	27,2/41,1
ТМВ(П)-85	»	29,9/21,2	46,9/60,8
ТМВ(ФШ)-50	Шлак фосфорный	28,1/19,0	41,6/48,1
ТМВ(ДШ)-50	Шлак доменный	28,5/19,3	44,5/61,0
ТМВ(З)-70	Зола-унос	36,0/21,3	40,2/59,6

Примечания: 1. Перед чертой — без добавки С-3, после черты — с добавкой 2,5 % С-3 (в пересчете на сухое вещество от массы цемента). 2. Цифры в марке вяжущего означают расход цемента в их составе в %. 3. Содержание С-3 в составе исходного цемента 0,9 %.

Таблица 2

Вяжущее	В/В	О. К. см	Предел прочности при сжатии бетона, МПа, в возрасте						Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, МПа	Класс бетона	Призмочная прочность, МПа	$\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$	Начальный модуль упругости, (× 10 <sup>3</sup> ), МПа
			после нормального твердения			после ТВО								
			16 ч	3 сут	7 сут	28 сут	1 сут	28 сут						
Цемент с С-3	0,33	4—5	13,8	18,0	38,4	50,0	42,3	49,7	2415	52,1	В40	39,5	0,76	23,4/24,2
ТМВ(П)-50	0,33	4—5	28,7	37,6	48,9	50,6	44,5	52,4	2301	57,3	В40	52,7	0,92	27,6/24,2
ТМВ(П)-85	0,32	4—5	29,9	43,4	56,4	70,1	60,4	68,7	2350	73,7	В55	70,0	0,95	33,9/32,7
ТМВ(ФШ)-50	0,32	4—5	10,2	25,0	34,6	43,1	80,1	85,8	2400	88,6	В60	75,3	0,85	36,2/35,5
ТМВ(ДШ)-50	0,33	4—5	11,6	44,5	55,6	53,8	75,9	76,8	2438	82,7	В60	68,6	0,83	34,3/35,5
ТМВ(З)-70	0,39	4—5	12,6	40,6	48,6	56,1	66,3	72,1	2391	76,3	В55	60,2	0,79	31,9/32,7

Примечание. Перед чертой — экспериментальный, после черты — расчетный.

модуля упругости бетонов близки расчетному.

Установлено, что водопоглощение бетонов на основе ТМВ колеблется в пределах 1...2 %, бетона на основе исходного цемента 4...5 %. Испытанные на морозостойкость такие бетоны выдержали 200 циклов. Их марка по водоне-

проницаемости составляет выше W12...15.

Полученные данные показывают, что на основе тонкомолотых многокомпонентных вяжущих можно получить бетоны с повышенными физико-химическими характеристиками.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зиминг В. Н., Щербаков Е. Н. Пути экономии цемента в строительстве // Транспортное строительство.— 1989.— № 4.— С. 1—4.
2. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности / В. Г. Батраков, Н. Ф. Башлыков, Ш. Т. Бабаев и др. // Бетон и железобетон.— 1988.— № 11.— С. 4—6.

## Арматура

УДК 691.81.002

А. В. МОТИН, инж. (Рязанский филиал СКТБ «Стройиндустрия»)

### Штампы для изготовления унифицированных закладных деталей

Одним из перспективных направлений экономии металла в массовом строительстве является внедрение высокопроизводительного промышленного метода штамповки закладных деталей. ЦНИИЭП жилища разработал унифицированный набор закладных изделий серии 1.100.3—6, применяемых в крупнопанельных жилых зданиях с несущими внутренними и наружными стенами из тяжелого бетона и бетона на пористых заполнителях высотой до 10 этажей, строящихся во II и III климатических районах и IV подрайоне на территориях с обычными инженерно-геологическими условиями и расчетной зимней температурой наружного воздуха не ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Рязанский филиал СКТБ «Стройиндустрия» при участии Гатчинского СДСК разработал однооперационную штамповую оснастку для их изготовления, позволяющую за один удар пресса получать готовую отштампованную деталь. В основу разработки штампов положен последовательный и комбинированный метод изготовления, позволяющий применять прессовое оборудование средней мощности усилием до 1000 кН.

Конструкцией штампов предусмотрена безотходная штамповка из полос шириной 50, 75 и 100 мм. Штампы оснащены устройствами для автоматического сброса отштампованной детали и могут быть дополнены установкой автоматической подачи полосы.

На рис. 1 представлена номенклатура изготавливаемых штампованных закладных деталей, на рис. 2 — штамп для выпуска закладной детали МШ-10.

#### Техническая характеристика штампа

Место установки . . . . .	пресс КД2330 и др.
Производительность, шт/ч	800
Производительное усилие, кН	870
Закрытая высота штампа, мм	345
Установленная безотходная наработка, не менее, тыс. деталей	7
Полный установленный ресурс, не менее, тыс. деталей	100
Габарит, мм . . . . .	640×396×345
Масса, кг . . . . .	240

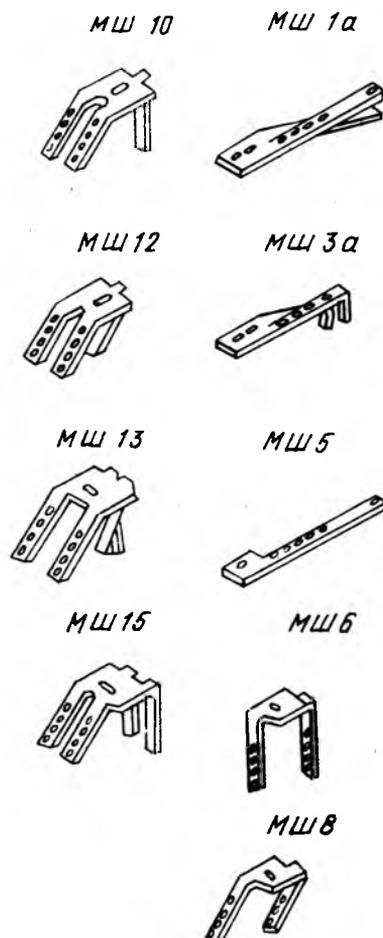


Рис. 1. Номенклатура штампованных закладных деталей

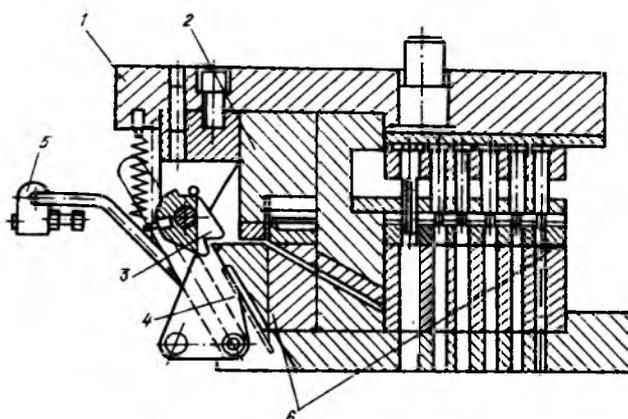


Рис. 2. Штамп для изготовления закладной детали МШ-10

- 1 — блок, 2 — пуансоны, 3 — гибочный кулачок, 4 — механизм сброса отштампованной детали; 5 — упор; 6 — матрицы

Штамп состоит из блока, пуансонов, гибочного кулачка, механизма сброса штампованной детали, упора и матриц. Блок служит для

соединения всех рабочих частей штампа в единую конструкцию и состоит из нижней и верхней плит, направляющих колонок, втулок и хвостовика. Пуансоны, матрицы, гибочный кулачок выполне-

ны из инструментальных сталей и термобработаны. Штамп позволяет за один удар пресса изготовить закладную деталь МШ-10.

## Заводское производство

УДК 625.888:691.328.002

К. Я. ВИТМАН, канд. техн. наук (Завод ЖБИ № 3 ТСО АП Новосибирскстрой); Ю. М. КРОШКИН, инж. (Новосибирское ЭКБ Ассоциации Росуралсибстрой)

### Многоместная форма с упругими элементами для изготовления бортовых камней

Применяемые в настоящее время конструкции многоместных стальных форм с упругоработающими элементами для изготовления различных железобетонных изделий имеют один существенный недостаток. Для них требуются специальные устройства для распалубки, что сдерживает их практическое применение.

Авторами совместно с работниками завода ЖБИ-7 и Опытно-экспериментального литейно-механического завода ТСО Новосибирскстрой разработана и внедрена в производство многоместная стальная форма (рис. 1) с упругоработающими элементами без специального устройства для распалубки железобетонных изделий. Форма обладает еще одним преимуществом: в ней можно изготавливать преднапряженные железобетонные изделия, армированные высокопрочной проволокой. Многоместная форма снабжена упругим поддоном, состоящим из соединенных между собой оснований отсеков, имеющих каждый в местегиба толщину обшивки стального листа 2...3 мм (на протяжении до 60 мм), образующих упругие элементы, которые обеспечивают гибкость поддона (рис. 2). Боковые грани продольных перегородок с упругими элементами выполнены с

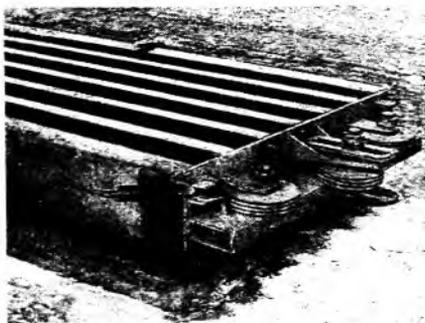


Рис. 1. Многоместная форма с упругоработающими элементами для изготовления преднапряженных бортовых камней длиной 6 м

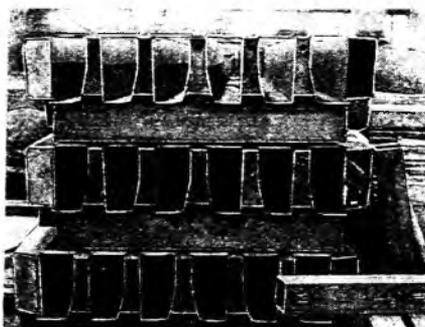


Рис. 2. Упругие поддоны многоместной формы в цехе изготовления

незначительным технологическим уклоном, равным величине допуска по ГОСТу в отклонении от проектного размера изделия. Это позволяет обеспечить процесс распалубки даже при незначительной упругой деформации упругих элементов. Перегородки форм имеют ограничители подъема при распалубке изделий, а торцевые части — отверстия для фиксации перегородок и поперечных бортов. На торцевых бортах формы размещаются упор с клиновым зажимом, роликовые упоры с канавками, один из которых является подвижным с захватным устройством для натяжения высокопрочной проволоки и обеспечения требуемого преднапряжения в арматуре, располагаемые в горизонтальной плоскости, и один упорный ролик с вертикальным расположением.

Многоместные формы с упругоработающими элементами внедрены в производство на заводе ЖБИ-7 Новосибирскстрой и используются для изготовления преднапряженных бортовых камней длиной 6 м, армированных высокопрочной проволокой. Формы надежны в работе, не трудоемки в эксплуатации, позволяют получать изделия высокого качества благодаря отсутствию зазоров между отсеками.

В. В. КАРМАНОВ, канд. техн. наук, В. А. СТАНИСЛАВЧУК, инж. (ЦНИИОМТП); А. М. ВОРОНА, В. А. ЛИТВИНОВ, инженеры (Славянский завод строительных машин)

## О повышении ресурса лопастей и скребков бетоносмесителей

Значительная часть бетонных смесей готовится в смесителях принудительного действия СБ-138Б, СБ-146А и их базовых моделях. Наиболее изнашиваемыми элементами бетоносмесителей являются лопасти и скребки. Воронежским филиалом ЦНИИОМТП и Славянским заводом строительных машин в 1989 г. были испытаны лопасти из чугунов Нихард 1, Нихард 2 и ЧХ4Н12 (ГОСТ 7769—82), а также лопасти и скребки из Ст50Л, в том числе с наплавкой электродами Т-590.

Испытания проводили на смесителях СБ-138Б № 3 и № 206 на комбинате Сельиндустрия в Орехово-Зуево и № 176, № 265 на комбинате Мосинжбетон.

На смесителе № 3 приготавливали керамзитобетон с использованием керамзита собственного производства прочностью на сжатие не менее 1,8 МПа. Керамзит подвергается двойному дроблению до фракций 3...5 и 8...10 мм, его объемная масса 550...650 кг/м<sup>3</sup>, влагопоглощение 14...15 %, объем пустот 38...40 %. Такой керамзит по абразивным свойствам не уступает щебню, применяемому для приготовления бетонной смеси на смесителе № 206.

На последнем готовили тяжелую бетонную смесь. В качестве заполнителей использовали обогащенный щебень (ГОСТ 10260) из гранита фракции 5...20 мм и обогащенный песок (ГОСТ 8736) фракции 2,5...2,8 мм. Выгрузку бетонной смеси на обоих смесителях производили при неполном открытии затвора при объеме замеса 0,75...1 м<sup>3</sup>, исходя из технологии и условий работы цехов.

Среднюю продолжительность цикла приготовления одного замеса бетонной смеси определяли самопишущим ампервольтметром Н 339. На ленте фиксировали прохождение тока по одной из фаз электродвигателя: его включение, изменение нагрузки и выключение. Среднюю продолжительность цикла  $t_{ср.ц}$  вычисляли делением суммарной продолжительности включения смесителя на суммарный объем приготовления смеси. В ре-

зультате обработки данных получено  $t_{ср.ц}=197$  с/м<sup>3</sup> по бетоносмесителю № 206 и  $t_{ср.ц}=180$  с/м<sup>3</sup> по смесителю № 3.

В процессе испытаний фиксировали очертания лопастей и скребков. Оказалось, что характер износа лопастей зависит от позиции, которую она занимает в чаше смесителя (рис. 1). Лопасть 1, ближайшая к наружной броне, изнашивается наиболее интенсивно в зоне переднего по ходу острого угла. Для следующей в направлении к центру смесителя лопасти 2 характерен переход к износу нижней грани. По лопасти 3 выражен интенсивный равномерный износ нижней грани с характерным износом ее средней части. Лопасть 5, прилегающая к внутренней броне, и разравнивающая лопасть 6, поднятая над дном чаши смесителя, изнашиваются незначительно (в 3...5 раз меньше по сравнению с лопастями 1...4); износ носит равномерный характер, в основном по нижней и передней по ходу рабо-

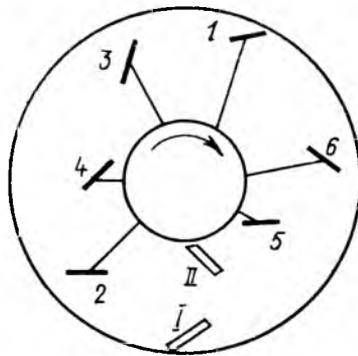
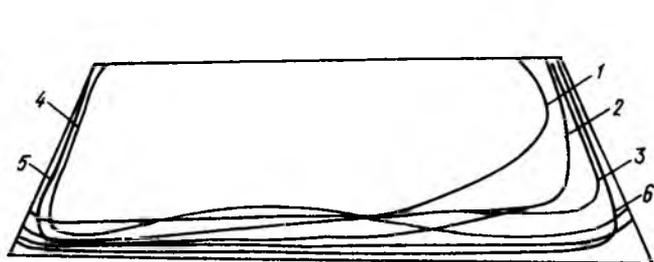


Рис. 1. Схема расположения лопастей (1...6) и скребков (I и II) в чаше смесителя

Рис. 2. Характер износа лопастей 1...6



чим граням. Очертания изношенных лопастей показаны на рис. 2.

Испытания позволили оценить ресурс лопастей. Если исходить из предельно-допустимого износа рабочей площади 30 %, то средний ресурс комплектов лопастей следующий: лопасти из Ст50Л термообработанные — 450, из чугуна Нихард 2 — 520, из чугуна Нихард 1 и ЧХ4Н2 — 1500 ч.

Интенсивность износа наружного очистного скребка высока (изнашивается в основном в зоне переднего нижнего угла). Его ресурс можно повысить с помощью наплавки в зоне износа электродами Т-590. Так, в процессе испытаний получено, что скребок из Ст50Л нетермообработанный, наплавленный, отработал 420 ч. Причем при потере из-за износа рабочей площади на 15 % скребок выполнял функции очистки чаши смесителя лучше, чем скребок из Ст50Л, термообработанный до твердости 59 HRC, при потере рабочей площади 11 %. Эффект получен за счет двухслойной наплавки нижней грани скребка.

Интенсивность изнашивания внутреннего очистного скребка почти в 10 раз ниже, чем наружного.

На комбинате Мосинжбетон проводили испытания по наплавке лопастей. На смесителях № 176 и

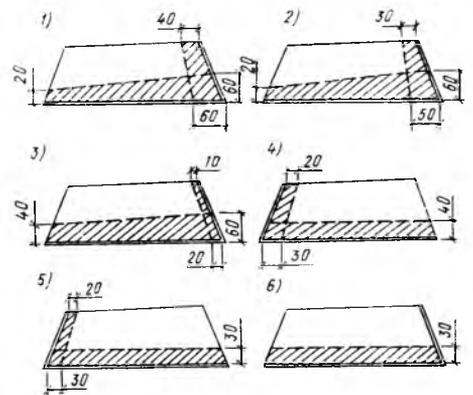


Рис. 3. Схемы наплавки лопастей

№ 265 с объемом замеса  $0,9 \text{ м}^3$  приготавливая тяжелую бетонную смесь. Для определения наработки смесителей использовали счетчики моточасов ВСН-2-02.

Наплавку лопастей производили по схеме (рис. 3), принятой с учетом характера износа лопастей на соответствующих позициях в смесителе и с таким расчетом, чтобы площадь наплавленной поверхности составляла не более 30%. Эксплуатирующие организации нередко самостоятельно изготавливают

лопасти и скребки и применяют наплавку. В связи с этим с 1990 г. в паспорт на смесители СБ-138Б и СБ-146А вносятся рекомендации по их изготовлению и наплавке.

Результаты проведенных испытаний показали, что наплавка лопастей и скребков электродами Т-590 повышает их ресурс в 1,5...2 раза. Срок службы скребков можно увеличить восстановлением с применением накладок внахлест из пластины 16 мм для перекрытия изношенной части с последующей наплавкой пластины. На-

чальная наплавка должна быть максимально возможной по толщине в два слоя. Периодическое восстановление изнашивающихся наплавленных лопастей и скребков можно производить многократно. При этом целесообразно не доводить деталь до предельного изношенного состояния (до 30% площади лопасти и 15% для скребка). Восстановление дает наибольший эффект при износе рабочей поверхности лопасти, равном 5...10%, а скребка 2...5%.

## В помощь проектировщику

УДК 624.012.35

Э. Д. ЧИХЛАДЗЕ, д-р техн. наук, А. Д. АРСЛАНХАНОВ, канд. техн. наук (Харьковский ин-т инженеров железнодорожного транспорта)

### Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии

Использование сталебетонных элементов прямоугольного сечения в конструкциях с внешним армированием сплошной обоймой экономически целесообразно [1]. Однако до сих пор не изучен расчет на осевое сжатие, включающий взаимодействие между обоймой и ядром и их взаимное влияние на напряженно-деформированное состояние и несущую способность бетонного ядра, обоймы и всей конструкции в целом, а также конструирование и проектирование.

Рассмотрим короткий брус, составленный из металлической обоймы и бетонного ядра (рис. 1). Предположим, что внешняя продольная нагрузка  $p$  приложена к бетону и стали одновременно. Ядро и обойма в продольном направлении работают совместно без отрыва и проскальзывания. Для дальнейшего анализа выделим сталебетонный элемент единичной длины. Расчетные схемы обоймы и ядра выделенного элемента показаны на рис. 1. За неизвестные примем нормальные  $X_1, X_j$  и касательные  $X_2, X_0$  контактные силы. Считаем, что материал обоймы обладает свойствами идеальной упругопластич-

ности. Зависимость между напряжениями и деформациями в бетоне для случая простого нагружения приняли в форме закона Гука. При этом параметры деформирования: секущий модуль  $E$  деформаций бетона при сжатии (растяжении) и коэффициент поперечных деформаций  $\mu$  зависят от стадии напряженного состояния. Согласно источнику [2]

$$E(\sigma_0, S_1) = \frac{9K(\sigma_0, S_1)G(S_1)}{G(S_1) + 3K(\sigma_0, S_1)}, \quad (1)$$

$$\mu(\sigma_0, S_1) = \frac{3K(\sigma_0, S_1) - 2G(S_1)}{2[G(S_1) + 3K(\sigma_0, S_1)]}, \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  — среднее напряжение;  $K(\sigma_0, S_1)$  — секущий модуль относительных объемных изменений бетона;  $G(S_1)$  — секущий модуль сдвига.

Величины, зависящие от  $R_b$ , определяют интерполированием  $R_b = 8,5...25$  и экстраполированием  $R_b = 25...45$  МПа.

Силы взаимодействия между ядром и оболочкой находят из условия равенства перемещений на границе контакта из системы уравнений

$$AX = -\bar{B}, \quad (3)$$

где  $(\delta_{k1} - \delta_{k2})$ ,  $(\delta_{k1} - \delta_{k2})$ ,  $(\delta_{k10} - \delta_{k20})$ ,  $(\delta_{k1} - \delta_{k2})$  матрицы  $A$  представляют собой разность поперечных перемещений точек  $k$  обоймы и ядра от единичных сил  $X_1, X_2, X_0$ ,  $X_j$  соответственно; элементы  $(\Delta_{k1} - \Delta_{k2})$  матрицы столбца  $\bar{B}$  — разности поперечных перемещений от внешних продольных усилий.

Поперечные перемещения  $\Delta_{k1}$ ,  $\delta_{k1}$ ,  $\delta_{k10}$ ,  $\delta_{k2}$  определяются для обоймы единичной длины в замкнутом виде. Для нахождения поперечных перемещений в бетонном

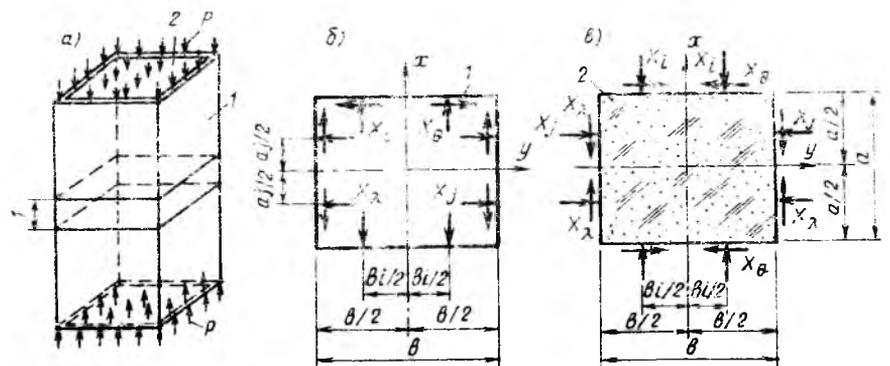


Рис. 1. Сталебетонный элемент (а), расчетные схемы обоймы (б) и ядра (в)

ядре от единичных сил  $X_i, X_j, X_0, X_\lambda$  решаем в разностной форме дифференциальное уравнение плоской задачи с переменными по полю параметрами деформирования  $\bar{\mu}$  и  $\bar{E}$

$$\frac{d^2}{dy^2} \left[ \frac{1-\bar{\mu}^2}{\bar{E}} \frac{d^2\varphi}{dy^2} - \frac{\bar{\mu}(1+\bar{\mu})}{\bar{E}} \frac{d^2\varphi}{dx^2} \right] + \frac{d^2}{dx^2} \left[ \frac{1-\bar{\mu}^2}{\bar{E}} \frac{d^2\varphi}{dx^2} - \frac{\bar{\mu}(1+\bar{\mu})}{\bar{E}} \frac{d^2\varphi}{dy^2} \right] + \frac{d^2}{dx dy} \left( \frac{2(1+\bar{\mu})}{\bar{E}} \frac{d^2\varphi}{dx dy} \right) = 0. \quad (4)$$

В свернутом виде разрешающее уравнение МКР для точки с координатами  $l$  представим в виде

$$\sum_{\chi=-2}^2 \sum_{L=-2}^2 \varphi(1+\chi, l+L) \times \times B(1+\chi, l+L) = 0, \quad (5)$$

где  $\chi, L = -2, -1, 0, 1, 2$ .

Значения функции  $\varphi$  и ее производной на контуре определяют с использованием рамной аналогии [3]. Поперечные перемещения обоймы от продольных усилий

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{\text{кр}}^x &= \frac{\mu_s \xi a}{2E_s} \\ \Delta_{\text{кр}}^y &= \frac{\mu_s \xi b}{2E_s} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где  $\xi$  — продольные усилия, действующие на обойму, подсчитывают из условия равенства продольных деформаций в бетоне и стали;  $\xi$  — коэффициент поперечных деформаций;  $\xi = pE_s/E_b$ ;  $E_s$  — модуль упругости стали;  $E_b$  — среднее значение модуля деформаций бетона в пределах сечения.

Поперечные перемещения в ядре от продольных усилий  $p$  найдем в результате приближенного решения пространственной задачи теории упругости для призматического тела единичной длины с переменными параметрами деформирования

$$\left. \begin{aligned} v &= \Delta_{\text{кр}}^{xy} = p \int_0^{b/2} \frac{\bar{\mu}}{\bar{E}} dy \\ u &= \Delta_{\text{кр}}^{xx} = p \int_0^{a/2} \frac{\bar{\mu}}{\bar{E}} dx \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Уравнения (7) получены при  $\sigma_z = p, \sigma_y = \sigma_x = \tau_{zy} = \tau_{zx} = \tau_{yx} = 0$ , что соответствует граничным условиям и условиям равновесия. Условия совместности деформаций удовлетворяются приближенно. Как показали численные расчеты,

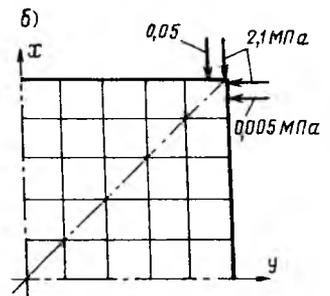
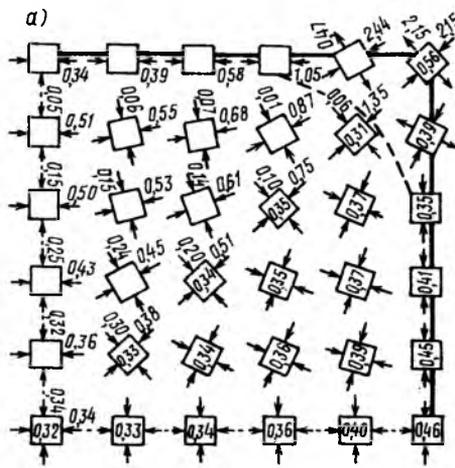


Рис. 2. Распределение напряжений по главным площадкам (а) в сечении элемента в предельном состоянии при взаимодействии оболочки и ядра в углах сечения (б) 0,32 — коэффициент поперечных деформаций; — — — линия, ограничивающая зону растягивающих напряжений

вторые производные от объемной деформации равны  $10^{-9}$ , а объемная деформация  $10^{-3}$ . Значения интегралов, входящих в уравнения (7), определяют численно.

Предложенное решение реализуют численно при шаговом нагружении сталебетонного элемента. Линеаризацию осуществляют в процессе последовательных приближений, переменными параметрами которого являются секущий модуль деформаций бетона  $E_{l1}$  (1) и коэффициент поперечных деформаций  $\mu_{l1}$  (2) в каждой точке конечно-разностной сетки. Процесс последовательных приближений продолжают до достижения удовлетворительного совпадения контактных сил  $X_i, X_j, X_0, X_\lambda$ . При решении системы уравнений (3) исключают контактные силы, превышающие силы сцепления (склеивания) между бетоном и обоймой. Предельные значения сил сцепления определяют экспериментально при выдавливании бетона из металлической обоймы [4]. В результате обработки опытных данных получены значения сил сцепления для бетонов прочностью  $R_b = 15, 20, 25$  и  $35$  МПа. Соответствующие напряжения, характеризующие прочность контакта, 0,3; 0,48; 0,6 и 0,68 МПа.

На каждом шаге нагружения устанавливают модули деформаций бетона в каждой точке и среднее значение для всего сечения  $E_s$ . Коэффициенты поперечных деформаций, контактные силы, главные напряжения в бетоне  $\sigma_{b2}, \sigma_{b3}$ , положения главных площадок. В качестве конечного распределения напряжений в поперечном сечении

ядра и оболочки принимают распределение напряжений, полученное при нагрузке

$$N = R_s ab + \sigma_r A_s, \quad (8)$$

где  $a, b$  — геометрические размеры бетонного ядра.

Предельные продольные напряжения  $\bar{\sigma}_{b1}$  в бетонном ядре вычисляют с использованием критерия прочности [2], а в стальном листе  $\bar{\sigma}_{s1}$  — энергетического критерия пластичности Мизеса

$$\bar{\sigma}_{s1} = \frac{\sigma_r}{\sqrt{1 + \eta_s^2 - \eta_s}}, \quad (9)$$

где  $\eta_s$  — отношение поперечных напряжений  $\sigma_{s2}$  к продольным  $\sigma_{s1}$ .

Несущая способность сталебетонного элемента

$$\bar{N} = \sum_{n=1}^{\beta} \bar{\sigma}_{b1n} A_{bn} + \sum_{m=1}^{\gamma} \sigma_{s1m} A_{sm}, \quad (10)$$

где  $\beta$  — число элементов бетонного ядра;  $\gamma$  — число элементов обоймы.

В Харьковском институте инженеров железнодорожного транспорта провели численные расчеты сталебетонного элемента с размерами поперечного сечения  $a = b = 300$  мм, толщиной обоймы  $\delta = 2$  мм. Характеристики материалов:  $R_b = 20$  МПа;  $E_b = 3,4 \cdot 10^4$  МПа;  $\mu_b = 0,2$ ;  $\sigma_r = 230$  МПа;  $\mu_s = 0,28$ ;  $E_s = 2,1 \times 10^5$  МПа. В результате установлено, что при  $\mu_s > \mu_b$  бетонное ядро растянуто в поперечном направлении, но растягивающие напряжения не превышали напряжений, характеризующих прочность контакта между ядром и обоймой. При уровне напряженного состоя-

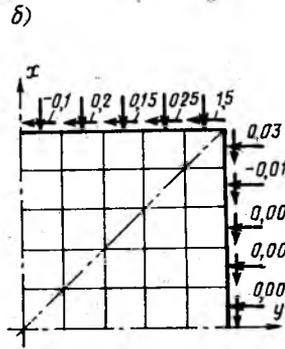
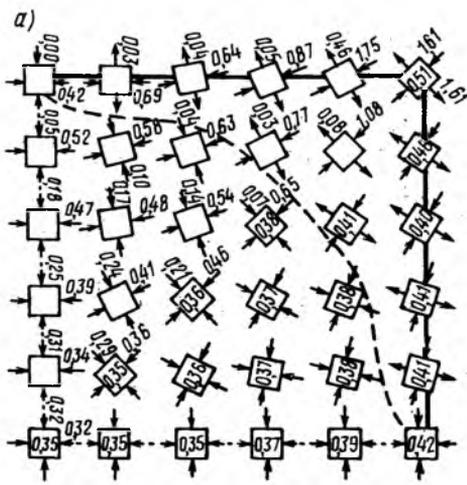


Рис. 3. Распределение напряжений по главным площадкам (а) в сечении элемента в предельном состоянии при взаимодействии оболочки и ядра по периметру сечения (б)  
Условные обозначения см. рис. 2

ния в бетоне  $p/R_b = (0,3...0,4)$  контактные нормальные  $X_i$ ,  $X_j$  и касательные силы  $X_b$ ,  $X_d$  уменьшаются и меняют знак. В процессе обжатия контактные касательные силы достигают предельных значений, равных силам сцепления между бетоном и облоймой, и выключаются из работы. В предельном состоянии ядро и облойма контактируют лишь в углах сечения посредством нормальных сил  $X_i$ ,  $X_j$ . Распределение напряжений по главным площадкам, соответствующее этому случаю, приведено на рис. 2. На рис. 3 показано распределение напряжений по главным площадкам в предельном состоянии в предположении, что обеспечено сцепление между облоймой и ядром и касательные контактные силы не выключаются из работы. Несущая способность

ядра в обоих случаях практически одинакова. Отсюда следует, что касательные силы, выключаясь из работы, трансформируются в нормальные силы в углах сечения. В связи с этим при определении несущей способности элемента можно учитывать только нормальные контактные силы в углах сечения.

Проведены также численные расчеты образцов сталебетонных колонн длиной  $l = 500$  мм на осевую нагрузку при шарнирном закреплении. Относительные размеры образцов  $b/a = (1; 1,25; 1,5; 2; 2,75; 4; 5,6; 7,8)$  мм,  $\sigma_r = 200...330$ ;  $R_b = 25...45$  МПа. Расхождения опытных и теоретических нагрузок, характеризующих несущую способность, не превышают 10,7% (в среднем 4,16%). Отношение

$\bar{\sigma}_{\bar{t}_1}/R_b$  («эффект облоймы») ( $\bar{\sigma}_{\bar{t}_1}$  — среднее значение предельных напряжений) уменьшается с ростом  $b/a$  (при  $b/a = 1$ ;  $\bar{\sigma}_{\bar{t}_1}/R_b = 1,3...1,4$ ; при  $b/a = 3$ ;  $\bar{\sigma}_{\bar{t}_1}/R_b = 1$  и незначительно увеличивается с ростом толщины облоймы  $\delta$  (на основании анализа скорости увеличения «эффекта облоймы» от ее относительной толщины, установлено, что он практически остается постоянным при  $\delta > 3b/100$ ).

Таким образом, разработан математический аппарат, позволяющий учесть контактное взаимодействие между бетонным ядром, работающим в условиях объемного напряженного состояния, и облоймой сталебетонного элемента при загрузке. Полученные результаты можно использовать для расчета сталебетонных колонн строительных сооружений, верхних поясов сталебетонных ферм, шпренгельных балок и др.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сталебетонные фермы из гнутосварных профилей // И. Г. Люлковский, В. М. Фонов, С. М. Кузьменко, С. И. Самарин // Бетон и железобетон.— 1982.— № 7.— С. 30—31.
2. Рекомендации по определению прочностных и деформационных характеристик бетона при неосевых напряженных состояниях.— М.: НИИЖБ, 1985.— 72 с.
3. Численные методы в теории упругости и теории оболочек / Н. П. Абовский, Н. П. Андреев, А. П. Деруга, В. И. Савченко.— Красноярск: Красноярский ун-т, 1986.— 384 с.
4. Грушко И. М., Ильин А. Г., Чихладзе Э. Д. Повышение прочности и выносливости бетона.— Харьков: Вища школа, 1986.— 152 с.

УДК 691.327:539.4

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

## Зависимость прочности бетона от времени

Проблему нарастания прочности бетонов во времени изучают отечественные и зарубежные авторы. В источнике [1] были рассмотрены результаты исследований по изменению во времени прочности тяжелых и легких бетонов в зависимости от условий их твердения, вида вяжущего и заполнителей.

Перед выводом и обоснованием уравнения зависимости кратковре-

менной (мгновенной) прочности бетона от времени рассмотрим две эмпирические формулы для коэффициента нарастания прочности ненагруженного бетона, предложенные в источнике [2] и в модели Кодекса Европейского комитета по бетону ЕКБ (МС — 90).

Для нормальных условий твердения бетона на портландцементе для коэффициента нарастания прочности  $\beta_t$  в работе [2] предложена формула

$$\beta_t = \frac{R_t}{R_{28}} = \frac{\lg t}{\lg 28} \approx 0,7 \lg t, \quad (1)$$

где  $t$  — возраст бетона с момента изготовления (укладки) до приложения внешней нагрузки;  $R_t$  — фактическая прочность бетона в момент приложения внешней нагрузки.

Эта зависимость не учитывает вида цемента и его активности, условий приготовления и твердения бетона, а также других

факторов, поскольку не включает ни одного параметра, характеризующего свойства бетона [1]. Кроме того, выражение (1) определяет неограниченный рост прочности бетона во времени и бесконечно большую скорость ее нарастания при  $t \rightarrow 0$ , поскольку

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{d\beta_t}{dt} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{0,7 \ln 10}{t} = \infty.$$

Согласно предложению МС — 90

$$\beta_t = \exp \left[ S \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right] \quad (2)$$

где  $S$  зависит от вида цемента:  $S=0,2$  для быстротвердеющего высокомарочного;  $S=0,25$  для нормального и быстротвердеющего;  $S=0,33$  для медленнотвердеющего цемента. При  $t=0$   $\beta_0=0$ ; при  $t=28$   $\beta_{28}=1$ ; при  $t \rightarrow \infty$   $\beta_m = \exp S$ .

Таким образом,  $\beta_m = \exp 0,2 = 1,221$  — для высокомарочного,  $\beta_m = \exp 0,25 = 1,284$  — для нормального,  $\beta_m = \exp 0,33 = 1,391$  — для медленнотвердеющего цемента.

С учетом зависимости между  $S$  и  $\beta_m$  формулу (2) можно записать в виде

$$\beta_t = \beta_m \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \quad (3)$$

где  $\beta_m$  — максимальное значение коэффициента нарастания прочности бетона.

Формула (2) или (3) в отличие от (1) определяет конечные значения приращения прочности бетона при  $t \rightarrow \infty$ , причем  $\beta_m$  для медленнотвердеющего цемента оказывается больше, чем для быстротвердеющего. При  $t < 28$  отмечается обратная картина, т. е.  $\beta_t$  для медленнотвердеющего цемента меньше соответствующих (при том же  $t$ )  $\beta_t$  для быстротвердеющего, что полностью согласуется с экспериментальными данными.

В то же время зависимости (2) и (3) обладают двумя серьезными недостатками, проявляющимися в области малых и достаточно больших значений  $t$ .

По выражению (3) скорость нарастания прочности бетона

$$\frac{d\beta_t}{dt} = \frac{\sqrt{7} \beta_t \ln \beta_m}{t^{1,5}} \quad (4)$$

Исследование выражения (4) при  $t \rightarrow 0$ , связанное с раскрытием неопределенности по прави-

лу Лопиталья, показывает, что скорость нарастания прочности бетона в области  $t=0$  равна нулю. Этот результат, так же как и бесконечно большая скорость нарастания прочности бетона по формуле (1), представляется маловероятным. Однако затем, начиная со времени  $t \approx 1...2$  сут формула (3) определяет столь интенсивное, лавинообразное нарастание прочности бетона во времени, что уже при  $t=7$  сут для высокомарочного  $\beta_7=0,82$ , ( $R_7=82\% R_{28}$ ); для нормального  $\beta_7=0,78$  ( $R_7=78\% R_{28}$ ); для медленнотвердеющего цемента  $\beta_7=0,72$  ( $R_7=72\% R_{28}$ ).

Эти результаты являются несколько завышенными и нуждаются в специальной экспериментальной проверке. Отметим также, что в области  $t=28$  резко снижается скорость нарастания прочности бетона. На основании выражения (4) при  $t=28$

$$\left. \frac{d\beta_t}{dt} \right|_{t=28} = \frac{\ln \beta_m}{56} = \frac{S}{56},$$

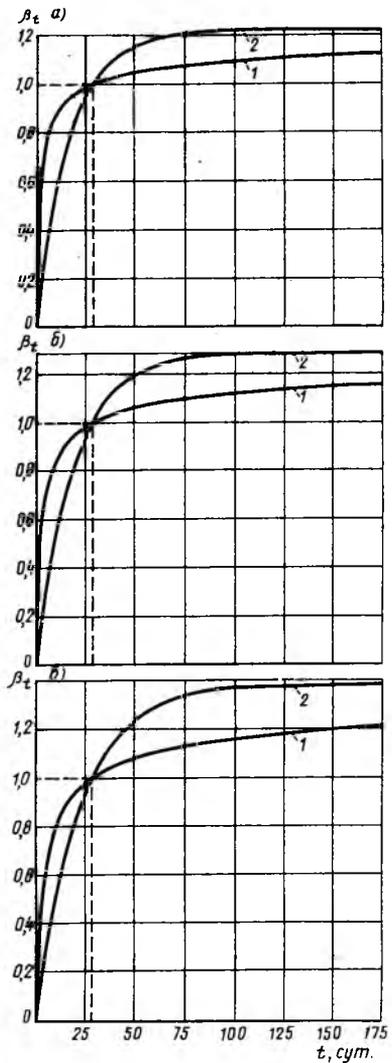
что составляет для нормального цемента ( $S=0,25$ ) всего  $0,0045 \text{ сут}^{-1}$ .

Перейдем теперь к выводу и численному анализу уравнения зависимости  $R_t$  от времени и соответствующей ему формулы для  $\beta_t$ . Будем исходить из феноменологической модели процесса нарастания прочности во времени ненагруженного бетона, аналогичной широко используемому в молекулярной физике и физической химии моделям, описывающим протекание неустановившихся асимптотических процессов, в которых искомая переменная во времени величина при  $t \rightarrow \infty$  стремится к некоторому заданному конечному значению.

Для таких асимптотических процессов скорость изменения искомой величины во времени принимают обычно пропорциональной разности конечного и текущего значений этой величины. Применительно к процессу нарастания прочности бетона во времени

$$\frac{dR_t}{dt} = \varphi(R_m - R_t), \quad (5)$$

где  $R_m$  — максимальная прочность ненагруженного бетона при  $t \rightarrow \infty$ ;  $\varphi$  — параметр процесса, определяемый по экспериментальным данным для характерных точек кривой нарастания прочности бетона, в частности, при  $t=28$ .



Зависимость  $\beta_t$  от  $t$  для бетона на высокомарочном (а), нормальном (б) и медленнотвердеющем цемента (в)  
1 — по (3); 2 — по (8)

В результате интегрирования уравнения (5) при начальном условии при  $t=0$   $R_t=R_0=0$  получена зависимость

$$R_t = R_m [1 - \exp(-\varphi t)]. \quad (6)$$

При  $t=28$ ,  $R_t=R_{28}$

$$\varphi = \frac{1}{28} \ln \frac{R_m}{R_m - R_{28}}.$$

Подставляя это значение  $\varphi$  в уравнение (6), после преобразований окончательное выражение закона нарастания прочности бетона во времени

$$R_t = R_m \left[ 1 - \left( \frac{R_m - R_{28}}{R_m} \right)^{\frac{t}{28}} \right] \quad (7)$$

В обозначениях коэффициентов нарастания прочности бетона зависимость (7) можно записать в виде

$$\beta_t = \beta_m [1 - (1 - \beta_m^{-1})^{\frac{t}{28}}] \quad (8)$$

При  $t=0$   $\beta_0=0$ ; при  $t=28$   $\beta_{28}=1$ ; при  $t \rightarrow \infty$   $\beta_t \rightarrow \beta_m$ .

Скорость нарастания прочности бетона по формуле (8)

$$\frac{d\beta_t}{dt} = \frac{\beta_m}{28} (1 - \beta_m^{-1})^{28} \ln \frac{\beta_m}{\beta_m - 1} \quad (9)$$

Выражение (9) определяет при  $t=0$  конечную скорость нарастания прочности бетона

$$\left. \frac{d\beta_t}{dt} \right|_{t=0} = \frac{\beta_m}{28} \ln \frac{\beta_m}{\beta_m - 1},$$

которая при  $\beta_m = \exp S$  по предложению МС-90 для высокомарочного  $\sim 0,075$ , для нормального  $\sim 0,0695$ , для медленно твердеющего цемента  $\sim 0,0635$  сут $^{-1}$ .

Скорость нарастания прочности бетона при  $t=28$

$$\left. \frac{d\beta_t}{dt} \right|_{t=28} = \frac{\beta_m}{28} (1 - \beta_m^{-1}) \ln \frac{\beta_m}{\beta_m - 1},$$

которая составляет для нормального цемента ( $\beta_m = \exp 0,25 = 1,284$ )  $\sim 0,0153$  сут $^{-1}$ , что в 3,4 раза превышает скорость нарастания прочности, вычисленную по формуле (4) при  $t=28$ , равную 0,0045 сут $^{-1}$ .

Следует также отметить, что по формуле (8)  $\beta_t$  с весьма высо-

кой степенью приближения достигает максимальных значений, равных для бетонов на высокомарочном цементе  $\beta_m = 1,221$  и  $\beta_m = 1,391$  — на медленно твердеющем уже через  $t=250$  и 320 сут, в то время как та же степень приближения  $\beta_t$  к  $\beta_m$  по зависимости (3) имеет порядок десятка лет, т. е. когда все физико-химические процессы в бетоне, способствующие нарастанию его прочности, следует считать уже давно завершенными.

На рисунке представлены кривые нарастания прочности бетона во времени, построенные по зависимостям (3) и (8) для  $\beta_m = 1,221$ ,  $\beta_m = 1,284$ ,  $\beta_m = 1,391$  в интервале  $0 < t < 200$  сут. При  $t=7$  сут  $\beta_t$  по выражению (8) для высокомарочного цемента  $\beta_7 = 0,42$  ( $R_7 = 42\% R_{28}$ ); для нормального  $\beta_7 = 0,4$  ( $R_7 = 40\% R_{28}$ ); для медленно твердеющего  $\beta_7 = 0,37$  ( $R_7 = 37\% R_{28}$ ).

Эти показатели для каждого цемента составляют приблизительно 50 % соответствующих значений  $\beta_7$ , вычисленных по зависимости (3). При практическом использовании выражения (8) учет всех влияющих на нарастание прочности бетона факторов [1] следует осуществлять назначением  $\beta_m$ . Сама же формула (8) определяет лишь качественную картину процесса нарастания прочности бетона во времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых Р. Л., Ярмаковский В. Н. Нарастание прочности бетона во времени // Бетон и железобетон. — 1992. № 3. С. 19—21.
2. Скрамтаев Б. Г., Герсиванов Н. А., Мудров Г. И. Строительные материалы. — М.: Госстройиздат, 1940. — С. 550 с.

УДК 624.072.33.012.45.044

Б. В. КАРАБАНОВ, канд. техн. наук (АО «Инрекон»)

## Учет геометрической нелинейности при проектировании железобетонных рам

Многоэтажные многопролетные рамы, которые в общественных и промышленных зданиях являются несущей системой, под действием ветровых воздействий приобретают горизонтальные смещения, на величину которых нелинейно влияет вертикальная нагрузка. Для зданий повышенной этажности это влияние учитывают в расчете, однако для зданий небольшой этажности (до 7...8) указанным влиянием, по-видимому, можно пренебречь. Выявление верхней границы этажности, когда еще можно пренебречь нелинейным эффектом деформирования рамного каркаса, имеет, безусловно, большое практическое значение, поскольку расчет рам с учетом только физической нелинейности, без учета геометрической, существенно снижает затраты машинного времени.

В источнике [1] предложен критерий практической необходимости учета геометрической нелинейности при расчете железобетонных рам

$$P^* \leq 0,0475 P_{cr}, \quad (1)$$

где  $P^*$  — суммарная расчетная вертикальная нагрузка на раму, включая ее собственный вес;  $P_{cr}$  — критическая величина  $P^*$  при рассмотрении общей устойчивости свободной, незакрепленной в горизонтальном направлении рамы.

При назначении критерия (1) исходили из возможности не проводить расчет по деформированной схеме при коэффициенте нелиней-

$$\text{ности } \eta = \frac{1}{1 - \frac{P^*}{P_{cr}}} < 1,05. \quad \eta \text{ показы-}$$

вает, во сколько раз увеличиваются изгибающие моменты и горизонтальные прогибы рамы в случае деформированной схемы по сравнению с аналогичными параметрами по недеформированной.  $P_{cr}$  для рам согласно источнику [1] определяют на основании методики, предполагающей последовательное суммирование некоторых поэтажных параметров, начиная с верхнего этажа. При этом считают, что указанный способ вычисления  $P_{cr}$  неприго-

ден для практического проектирования. Именно этим объясняется отсутствие в технической литературе рекомендаций и даже общих оценок, при какой этажности еще можно не проводить расчеты с учетом деформированной схемы.

В источнике [2] горизонтальные смещения рамы под действием вертикальных нагрузок также учитывают с помощью коэффициента  $\eta$ , однако проблема минимальной этажности для практических расчетов рам с учетом геометрической нелинейности не рассматривается. Использование  $\eta$  при учете деформированной схемы имеет недостатки, отмеченные, например, в источнике [3], однако эти замечания относятся к высокому уровню напряженного состояния для стоек первого яруса и не свойственны рамным каркасам небольшой этажности. Поэтому автором принят критерий (1), а  $P_{cr}$  предложено определять согласно источникам [4, 5] в замкнутом виде на основании нетрудемокких расчетов.

Расчетной моделью при определении  $P_{cr}$  многоэтажной многопролетной рамы является рамный стержень (рис. 1). Рассмотрим для простоты регулярную раму с одинаковыми высотами этажей (ярусов) и пролетами. Переход от

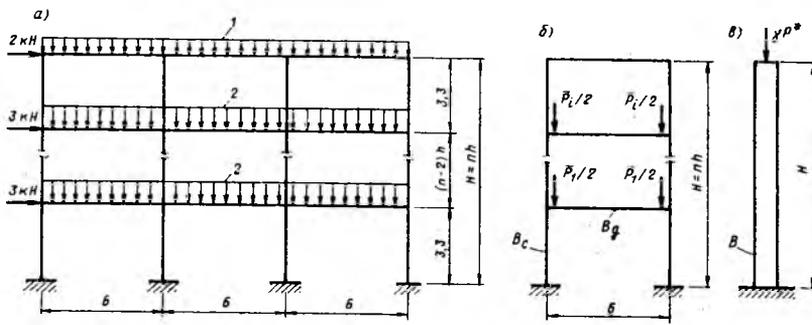


Рис. 1. Определение критической силы для железобетонных рам

а — многопролетная рама; б — эквивалентный по устойчивости рамный стержень; в — то же сплошнотенчатый стержень; 1 —  $q=50$ ; 2 —  $q=100$  кН/м

параметров многопролетной рамы к характеристикам рамного стержня проводят по источнику [4]. Величины  $P_i$ ,  $B_{ci}$  и  $B_{gi}$  по рис. 1 определяют следующим образом:  $P_i$  — сумма всех вертикальных нагрузок, действующих на ригели над рассматриваемым  $i$ -м ярусом с учетом также собственного веса этажного фрагмента рамы;  $m$  — число пролетов рамы; для рамы на рис. 1  $m=3$ ;  $B_{ci} = \bar{B}_{ci}/2m$ ;  $\bar{B}_{ci}$  — сумма расчетных изгибных жесткостей всех стоек рассматриваемого яруса. Для регулярной рамы  $B_{gi}$  равна изгибной жесткости ригеля произвольного пролета.

Рамный стержень в свою очередь заменяют эквивалентным по устойчивости сплошнотенчатым консольным стержнем постоянного сечения с высотой  $H$ , равной высоте рамы, и с одной продольной силой  $\gamma P^*$  в уровне верха ( $\gamma$  — коэффициент приведения нагрузки;  $P^* = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i$ ;  $n$  — число ярусов). При этом критерием эквивалентности является условие одинакового горизонтального прогиба в уровне верха у рамного и консольного стержней под действием нагрузки, которая в рамном стержне вызывает напряженное состояние, близкое по характеру тому, при котором происходит потеря устойчивости консольного стержня. В момент потери устойчивости он подвержен полусинусоидальной эпюре изгибающих моментов, которая близка по воздействию эпюре моментов, постоянной по высоте. В этом случае критическая сила равна Эйлеровой. При загрузке рамного стержня (возможен случай с неодинаковой по высоте изгибной жесткостью стоек и ригелей на различных этажах) силовое состояние, одинаковое для

различных ярусов, достигается при действии нагрузки в виде горизонтальных сил в уровне верха рамы. Приравняв горизонтальные прогибы в уровне верха от этой нагрузки для рамного и эквивалентного консольного стержня, получим изгибную жесткость последнего. Согласно источнику [5]

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 B}{4\gamma H^2}, \quad (2)$$

где  $\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{P}_i d_i^2}{P^* H^2}$ ;  $d_i$  — расстояние

от ригеля над  $i$ -м ярусом до места защемления стоек рамного стержня;  $B$  — изгибная жесткость сплошнотенчатого консольного стержня, эквивалентного по устойчивости рамному стержню: в общем случае нерегулярной рамы  $B$  определяют по [5], а для регулярной при  $n \geq 2$  — по формуле

$$B = \frac{32 B_c n^3}{A};$$

$$A = 10 + \frac{1}{k} -$$

$$- \frac{6 - \frac{1}{k}}{1 + \frac{6}{k}} + \left(2 + \frac{4}{k}\right) (n-2);$$

$k$  — отношение изгибных жесткостей

$$\text{ригеля и, стоек: } k = \frac{B_g h}{B_c l}.$$

Поскольку на горизонтальный прогиб рамы в основном влияет изгибная жесткость опорных сечений ригелей, в которых в существующих конструкциях рам преднапряжение в верхней зоне не применяется, в запас надежности и в соответствии с экспериментальными данными можно принять минимальную величину  $B_g$ , равную половине начальной жесткости ригеля (с учетом кратковременной ползучести бетона). Эти рекомендации совпадают с указаниями [1].

В источнике [2] при установлении критической силы  $P_{cr}$  пред-

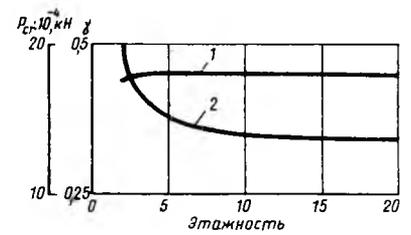


Рис. 2. Графики критической силы  $P_{cr}$  (1) и коэффициента  $\gamma$  (2)

ложено принимать изгибную жесткость колонн рамы, равной  $0,8E_b I_c$  ( $I_c$  — момент инерции бетонного сечения колонны). Это объясняется тем, что хотя использование в расчете начальной изгибной жесткости колонн  $E_b I_c$  и не приводит к заметному занижению моментов от горизонтальных нагрузок, однако при значительных продольных силах в стойках могут развиваться неупругие деформации даже при отсутствии изгибающих моментов, а поперечное нагружение колонн горизонтальными ветровыми нагрузками также, по-видимому, несколько снижает жесткость колонн. В источнике [1] при определении критических сил рекомендуется принимать такую же расчетную изгибную жесткость колонн, как и в источнике [2].

Таким образом, вопрос о максимальной этажности, при которой еще можно не учитывать геометрическую нелинейность, решают с использованием критерия (1), величины  $P_{cr}$  по зависимости (2) и принятия указанных расчетных изгибных жесткостей колонн и ригелей.

Поскольку для регулярной рамы при числе этажей  $\geq 3$   $P_{cr}$  изменяется незначительно (рис. 2). С некоторым (весьма небольшим) запасом надежности можно подсчитать при  $n \rightarrow \infty$  (при этом  $\gamma \rightarrow 1/3$ )

$$P_{cr} = \frac{24\pi^2 B_c}{\left(2 + \frac{4}{k}\right) n^2}. \quad (4)$$

Искомую этажность  $x$  для регулярной рамы определяют с использованием выражений (1), (4)

$$x = 2 + \frac{0,0475 P_{cr} - \bar{P}_x - \bar{P}_1}{P_2}, \quad (5)$$

где  $\bar{P}_x = \bar{P}_i$  для верхнего яруса рамы;  $\bar{P}_1 = \bar{P}_i$  для первого яруса.

В формуле (4) предполагается одинаковая вертикальная нагрузка на ригели над вторым и последующими ярусами вплоть до  $i=x-1$ . Для регулярной рамы этажность  $x$  можно также установить с исполь-

зованием формул (1), (2) методом последовательного уточнения  $x$ . При этом в первом приближении  $x$  получаем с использованием  $P_{cr}$  по выражению (2) при  $n=5$ .

**Пример расчета.** Требуется определить, при какой максимальной этажности в трехпролетной раме (см. рис. 1) с высотой этажей  $h=3,3$  и пролетом  $l=6$  м можно не учитывать геометрическую нелинейность. Сечение стоек  $40 \times 40$  см, класс бетона В30. Начальная изгибная жесткость стойки  $63,1 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup> (расчетная изгибная жесткость с коэффициентом  $0,8-50,48 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup>). Ригели высотой 60 см с сечением по серии 1.020—1/87. Начальная изгибная жесткость с учетом кратковременной ползучести бетона равна  $233 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup> (расчетная изгибная жесткость ригеля с коэффициентом  $0,5-116,5 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup>). Унифицированная вертикальная нагрузка на ригели всех ярусов, кроме последнего — 110, для последнего яруса — 50 кН/м. Расчетный вес этажного фрагмента рамы 202 кН. Для всех ярусов, кроме последнего  $\bar{P}_i = 110 \cdot 18 + 202 = 2182$ , для последнего яруса  $\bar{P}_x = 50 \cdot 18 + 202 = 1102$  кН.

Определяем расчетные изгибные жесткости  $B_g$  и  $B_c$  для рамного стержня:  $B_c = (m+1) \cdot 50,48 \times 10^3 / 2m = 33,65 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup>;  $B_g = 116,5 \cdot 10^3$  кН·м<sup>2</sup>.  $k = B_g h / (B_c l) = 1,904$ . По формуле (3)  $P_{cr} = 178,48 \cdot 10^3$  кН. Для сравнения отметим, что при  $n=5$   $P_{cr} = 181,34 \cdot 10^3$  кН. По выражению

$$(4) \quad x = 2 + (0,0475 \cdot 178,48 \cdot 10^3 - 2182 - 1102) / 2182 = 2 + 2,38 = 4,38.$$

Таким образом, для четырехэтажной рамы, принимая несколько заниженные жесткости колонн (поскольку нормальные трещины в них от ветровых нагрузок не образуются, а нелинейная ползучесть еще не успевает проявиться), при расчетной вертикальной нагрузке на ригели 110 кН/м в расчете можно не учитывать геометрическую нелинейность. Более точный учет жесткости колонн позволил бы сделать аналогичный вывод для пятиэтажного каркаса.

При уменьшении нагрузки на ригели рамы искомая этажность увеличивается. В рассмотренном примере рамы при нагрузке на ригели всех этажей 50 кН/м получаем по зависимости (4)  $x=7,7$ , т. е. при расчете 7—8-этажных каркасных зданий с вертикальными нагрузками на перекрытия можно рассматривать только недеформированную схему.

Анализ результатов расчетов на ЭВМ с учетом геометрической нелинейности для каркасных зданий, высота которых близка к указанной верхней границе этажности рамного каркаса, при которой еще можно не учитывать геометрическую нелинейность, позволит в дальнейшем уточнить несколько осторожные значения рекомендуемых расчетных жесткостей колонн и ригелей и обоснованно расширить диапазон высот зданий, для которых расчеты можно проводить только для недеформированной схемы.

## Выводы

Приведен достаточно простой и надежный способ определения верхней границы этажности рамного каркаса, при которой еще можно не учитывать геометрическую нелинейность.

Поскольку объем применения каркасных зданий высотой до 5—8 этажей составляет не менее 75 % общего объема каркасных зданий межвидового применения, выявление этой границы имеет практическое значение, поскольку расчет рам с учетом только физической нелинейности существенно уменьшает затраты машинного времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mac Grigor I. G., Hage S. E. Stability analysis and design of concrete frames // Journal of the Structural Division. Proceedings of the American Society Civil Engineers.— 1977.— V. 103.— № ST10.— P. 1953—1970.
2. Никитин И. К. Об учете продольного изгиба в рамных железобетонных каркасах // Сейсмостойкость и динамика производственных зданий. — М.: ЦНИИпромзданий, 1980.— С. 58—67.
3. Чистяков Е. А. Учет прогибов при расчете сжатых элементов // Бетон и железобетон.— 1980.— № 1. — С. 36.
4. Корноухов Н. В. Прочность и устойчивость стержневых систем.— М.: Госстройиздат, 1949.— 285 с.
5. Карабанов Б. В. Учет геометрической нелинейности при проектировании многоэтажных зданий межвидового назначения // Экспресс-информ. Жилищно-гражданское строительство (Отечественный и зарубежный опыт).— Вып. 3. — М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1983.— С. 1—6.

## ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ

**НИИЖБ совместно с рядом предприятий производит и высылает устройство РУ-1 для разметки образцов стержневой арматуры перед испытанием на разрыв по ГОСТ 12004—81.**

**Разметка арматуры производится для определения относительных удлинений стали  $\delta_5$  и  $\delta_p$  и осуществляется путем накатки на продольное ребро арматуры поперечных рисок.**

### Основные технические характеристики

Шаг риска . . . . .	10 мм
Ресурс одного сменного ролика . . . . .	не менее 2000 образцов
Повышение производительности труда . . . . .	до 100 раз
Стоимость . . . . .	700 р.

Обращаться по адресу:  
109128, Москва, 1-я Институтская, 6, НИИЖБ,  
тел. 174-85-48, Гимназия Г. И.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

УДК 691.327.004.8

М. А. АХМАТОВ, д-р техн. наук, проф. (Кабардино-Балкарский аграрный ин-т)

## Легкие бетоны на пористых отходах камнедобычи

Во многих районах России имеются крупные месторождения пористых горных пород (туф, известняк, ракушечник) и рыхлых материалов (пемза, пепел, пенлопемза, пумицит, шлак и др.) осадочного и вулканического происхождения. Общим для всех них являются пористая структура, наличие связующей между зернами, значительная кристаллизация материала и сравнительно однородный химический состав. Наряду с пористыми и горными породами осадочного происхождения имеются месторождения камня и рыхлых материалов вулканического происхождения.

Сплошные массивные горные породы используют для производства стенового пыльного камня и облицовочных плит. При этом образуется около 30...50 % отходов в виде бута, щебня и песка. Они позволяют получать ежегодно до 60 млн. м<sup>3</sup> в год пористого щебня и песка для производства строительных изделий и конструкций.

Прирост выпуска пористых заполнителей в основном происходит благодаря росту производства энергоемких искусственных пористых заполнителей. Из 415 предприятий, изготавливающих пористые заполнители для легких бетонов, всего 17 производят природные пористые заполнители, остальные — искусственные. В настоящее время в России 80 % легких бетонов применяется в жилищно-гражданском строительстве, 15 — в промышленном и до 5 в сельскохозяйственном.

Крупные пористые заполнители по объемам применения в строительстве составляют: искусственные 76,5, природные 16,5, прочие 7 %. Щебень и песок из горных пористых пород и отходов камнепечения пригодны для приготовления легких и облегченных бетонов и конструкций из них, в том числе преднапряженных.

Заполнители из известняков и известняков-ракушечников можно использовать для приготовления конструкционных автоклавных силикатных бетонов на известково-песчаном вяжущем и армосиликатных изделий. Щебень и песок из природных пористых пород широко применяют в производстве асфальтобетона, а также в качестве балласта верхнего строения пути в транспортном строительстве.

При дроблении горных пористых пород разрушение происходит по наиболее слабым контактам, трещинам и крупным порам, щебень и песок оказываются лишенными некоторых признаков микро- и макроструктуры исходной породы и, как правило, отличаются значительно большей плотностью, прочностью и однородностью, чем исходная порода. Природные, пористые заполнители имеют угловатую форму, шероховатую и развитую поверхность, что обеспечивает прочное сцепление с цементным камнем и создает в бетоне эффект самовакуумирования, обусловленный градиентом давления в контактном слое между цементным камнем и заполнителем. Благодаря этим и другим свойствам природных пористых заполнителей из отходов камнепечения и рыхлых пористых пород бетоны на их основе отличаются высокими физико-техническими свойствами.

Насыпная плотность щебня из пористых горных пород (известняк, туф) и сыпучих рыхлых материалов (пемза, пенлопемза, пепел) колеблется от 600 до 1300 кг/м<sup>3</sup>. Значительно отличаются природные пористые заполнители и по прочности. Так, если щебень из высокопрочных карбонатных пород не уступает в этом отношении щебню из наиболее прочных изверженных пород (гранит, трахит, габбро), то прочность щебня из некоторых видов известня-

ков-ракушечников при испытании составляет лишь 1,5...3, из туфа 1,2...3, из пемзы — 0,5...2 МПа. Пористость щебня в куске в зависимости от вида заполнителя колеблется от 11 до 71,3 %, а водопоглощение по массе фракции 10...20 мм от 3 до 40,5 %.

Карбонатные и туфовые дробленые пески наряду с природными пористыми пенлопемзовыми и шлаковыми песками, насыпной плотностью фракции 0...5 мм от 760 до 1400 кг/м<sup>3</sup> могут служить отличным мелким заполнителем бетона. Сочетание природного пористого щебня с песком из той же породы позволяет получать легкий бетон с более высокими свойствами, чем при использовании кварцевого песка, что объясняется большей однородностью и близостью показателей свойств щебня и песка.

Бетоны на известняках-ракушечниках могут достигать прочности 20...30 МПа при плотности 1800...2200 кг/м<sup>3</sup>, а на отходах горнодобычи (шлак, туф, пемза, известняк) при сравнительно небольших расходах цемента (200...450 кг/м<sup>3</sup>) можно получать легкие и облегченные бетоны прочностью при сжатии 15...15 МПа, при этом их плотность составляет 1600...2200 кг/м<sup>3</sup>.

Важной особенностью карбонатных заполнителей является их активное физико-химическое взаимодействие с клинкерным цементом. Учитывая характер взаимодействия клинкерных минералов с карбонатами кальция, наиболее эффективны для получения прочной структуры бетона высокоалюминатные цементы. Химической активностью к цементу отличаются и породы вулканического происхождения. При использовании в качестве активной добавки туфовой и цеповой муки прочность раствора при сжатии повышается на 10...20 % по сравнению с раствором без добавки.

Установлено, что продолжительность твердения и условия вызревания легких бетонов на природных пористых заполнителях (туф, пепел, пенлопемза, пемза) существенно влияют на их прочность. Нарастание прочности бетонов в благоприятных условиях (влажность

70...80 % и температура  $20 \pm 5$  °C) непрерывно повышается и через 28 сут достигает проектного значения. При дальнейшем твердении в возрасте 60 сут кубиковая прочность легких бетонов возрастает на 20...35 %, а в возрасте 100 сут составляет 140...150 % прочности в возрасте 28 сут, что является значительным резервом экономии цемента. Средняя абсолютная прочность образцов-кубов с ребром 100 и 150 мм на 14...16 % больше прочности образцов с ребром 200 мм, чему соответствуют переводные коэффициенты 0,85 и 0,95.

В большинстве исследований отношение призмной прочности к кубиковой ( $R_b/R$ ) для бетонов на пористых заполнителях несколько выше, чем на плотных. Статистическая обработка многочисленных опытных данных показала, что повышенная относительная призмная прочность бетонов на природных пористых заполнителях является следствием повышенной растяжимости таких бетонов по сравнению с обычными тяжелыми.

При расчете конструктивных элементов зданий и сооружений существенное значение в нормах проектирования придается упруго-пластическим свойствам бетона при сжатии и растяжении. Основными характеристиками деформирования бетона, используемыми в расчетах бетонных и железобетонных конструкций, являются модуль упругости бетона  $E_b$ , секущий модуль деформаций  $E_b = \nu E_b$  ( $\nu$  — коэффициент упругости, представляющий собой отношение упругих деформаций к полным), предельные деформации бетона. Следует отметить, что предельные деформации сжатия легких бетонов по многочисленным опытным данным примерно в 1,2...1,5 раза больше, чем тяжелых, но поскольку при высоких уровнях напряжений коэффициент пластичности легких бетонов меньше, предельные деформации обоих видов бетона к концу разрушения элемента сближаются. Модули упругости легких бетонов на пористых заполнителях существенно меньше, чем равнопрочных тяжелых бетонов: керамзитобетона на 25...40, туфо- и пеплобетонов на 40 %. С ростом прочности и плотности бетонов модули упругости возрастают. Коэффициент Пуассона для легких бетонов на заполнителях осадочного происхождения 0,15...0,3, вулканического происхождения 0,16...0,29.

Значительный интерес представляет сопротивление легких бетонов растяжению, изгибу и срезу. В бетонах на природных пористых заполнителях из-за невысокой их прочности и очень хорошего сцепления с раствором, проникающим в поры заполнителей, разрушение бетона при растяжении происходит как по заполнителям, так и по прослойкам раствора.

Модули упругости бетонов на природных пористых заполнителях как осадочного, так и вулканического происхождения, при осевом растяжении на 15...20 % выше, чем при сжатии. Предельные деформации растяжения для легких бетонов на пористых заполнителях в 1,5...2 раза выше, чем равнопрочного бетона на трахитовом щебне.

Прочность при срезе элементов связана с прочностью при сжатии и растяжении. Наибольшее распространение получила формула Мерша

$$R_{cut} = C \sqrt{R_b R_c},$$

где  $C$  — коэффициент: для бетонов на пористых заполнителях из пород осадочного происхождения  $C = 0,7$ , для остальных легких бетонов на пористых заполнителях вулканического происхождения  $C = 0,5$ .

Исследования прочности, деформативности и трещиностойкости железобетонных балок на природных пористых заполнителях выполняли на образцах прямоугольного сечения размерами  $12 \times 20 \times 320$ ,  $13 \times 20 \times 220$  и  $12 \times 20 \times 350$  см. Проценты армирования варьировали от 0,48 до 1,71. Железобетонные балки изготовляли из бетона прочностью 15...40 МПа на заполнителях из горных пород осадочного и вулканического происхождения. В качестве продольной рабочей арматуры использовали ненапрягаемую стержневую арматуру, преднапряженную стержневую арматуру и семипроволочные канаты.

Во всех случаях характер разрушения балок из бетона на природных пористых заполнителях был таким же, как балок из обычного тяжелого бетона. Контролируемое напряжение  $\sigma_{sp}$  в балках с напрягаемой стержневой арматурой составляло  $\sigma_{sp} = 0,91 R_{sn}$  опытного уровня предела текучести арматуры, а в балках, армированных канатами  $\sigma_{sp} = (0,4...0,72) R_{sn}$ . Опытные  $M_u^{exp}$  и теоретические  $M_u^{th}$  разрушающие моменты балок с не-

напрягаемой арматурой близки по величине, значение отношения  $M_u^{exp}/M_u^{th}$  для железобетонных балок как на плотных, так и на природных пористых заполнителях в среднем близко к 1.

Разрушение балок с канатной арматурой во всех случаях началось со стороны сжатой зоны бетона. Напряжения в арматуре в момент разрушения балок зависят от относительной высоты сжатой зоны сечения  $\xi$  и  $\sigma_{sp}$ . С увеличением  $\xi$   $\sigma_s/\sigma_{0,2}$  уменьшается практически по линейному закону. Как показали опыты, зависимость относительной прочности железобетонных балок  $M_u/R_b b h_0^2$  (обычных и преднапряженных) от относительной высоты сжатой зоны  $\xi$  при использовании плотных и природных заполнителей сохраняется такой же, как в балках из тяжелого бетона.

Испытание на прочность железобетонных балок после длительного (до 2 лет) выдерживания под нагрузкой, составляющей половину разрушающей, показало, что отношение опытных значений прочности к теоретическим составляет 0,95...1,15. Снижение прочности балок, находившихся длительное время под действием нагрузок, близких к эксплуатационным, в сравнении с балками, не подвергнутыми длительному воздействию нагрузок, практически не наблюдалось.

Наряду с обеспечением прочности по нормальному сечению на действие изгибающего момента чрезвычайно важно соблюдение несущей способности железобетонных элементов по наклонному сечению поперечной силе и моменту наклонных сечений. Анализ результатов испытания балок показал, что вид бетона существенно влияет на сопротивление поперечной силе. При прочих равных условиях разрушающее поперечное усилие  $Q_u$  для балок из легкого бетона оказалось ниже на 5...20 %, чем из тяжелого бетона.

Заметное влияние вид бетона оказывает на уровень образования наклонных трещин  $Q_{uc}/Q_u$ . Указанное отношение в элементах из бетона на известняке-ракушечнике на 15,5...21,5, а в балках из керамзита на 27,6...33 % ниже, чем при тяжелом бетоне. Полученные результаты объясняются главным образом пониженным сопротивлением бетонов на пористых заполнителях растяжению.

При одинаковой кубиковой проч-

ности бетона форма сечения, наличие продольной и поперечной арматуры также влияют на разрушающее поперечное усилие и уровень трещинообразования. Так, элементы таврового сечения с полкой в сжатой зоне и двутаврового сечения по сравнению с прямоугольными независимо от вида бетона на 20...40 % прочнее. При этом максимальное разрушающее поперечное усилие наблюдается в элементах таврового сечения с полкой в сжатой зоне, а наиболее высокий уровень образования трещин — в балках таврового сечения с полкой в растянутой зоне. Значения поперечной силы, воспринимаемой продольной арматурой, практически не зависят от вида бетона и формы сечения балок. Установлено, что участие поперечной арматуры в восприятии в пределах всего пролета среза в элементах из бетонов на пористых заполнителях несколько выше, чем в балках из тяжелого бетона, так как растяжимость легкого бетона выше.

Процесс образования и раскрытия трещин в железобетонных элементах на природных заполнителях протекает так же, как в элементах из тяжелого бетона. Сравнение опытных и теоретических моментов образования нормальных трещин в преднапряженных балках из легкого бетона показывает, что вид заполнителей не оказывал заметного влияния на моменты образования трещин  $M_{cr}^{exp}/M_{cr}^{th} = 0,9...1,1$ . Установлено, что не только моменты образования нормальных трещин, но и ширина их раскрытия, как правило, не превышают величин в элементах из тяжелого бетона.

Однако ширина раскрытия наклонных трещин в элементах из облегченного и легкого бетонов на природных пористых заполнителях больше, чем в элементах из тяжелого бетона. При  $Q/Q_u = 0,5...0,8$  ширина наклонных трещин, средняя по всем формам сечений в элементах из облегченного бетона, в 1,3...1,2 раза, а в элементах из легкого бетона на заполнителях из пород осадочного происхождения в 1,5...1,2 раза выше, чем при тяжелом бетоне. Примерно такая же закономерность установлена при испытании балок из бетонов на природных пористых заполнителях вулканического происхождения. Это следует учитывать при расчете ширины раскрытия трещин введением в расчетные формулы норм

соответствующих коэффициентов. Важной задачей при конструировании железобетонных элементов является обеспечение жесткости сечений. При определении прогибов железобетонных элементов без трещин от кратковременного действия нагрузки жесткость сечений согласно нормам принимают равной  $\varphi_{bt} E_b I_{red}$  ( $\varphi_{bt}$  — коэффициент, учитывающий упругое деформирование:  $\varphi_{bt} = 0,85$  для элементов из тяжелого и легкого бетонов,  $\varphi_{bt} = 0,7$  для элементов из легкого бетона на пористом песке). На величину  $\varphi_{bt}$  существенно влияют вид заполнителя, прочность бетона, процент армирования растянутой зоны, степень преднапряжения арматуры и обжатия бетона — с их возрастанием  $\varphi_{bt}$  увеличивается, так как часть неупругих деформаций проявляется в процессе обжатия.

Жесткость сечений элементов из бетона на природных пористых заполнителях по сравнению с элементами из равнопрочного тяжелого бетона ниже, так как модуль упругости тяжелого бетона существенно больше, чем облегченного и легкого.

Сравнение опытных значений прогибов железобетонных балок на различных природных пористых заполнителях с прогибами аналогичных балок из равнопрочного тяжелого бетона показывает, что в зависимости от свойств пористых заполнителей при бетоне на их основе наблюдается увеличение прогибов на 10...25 %. Рост прогибов во времени при длительном действии нагрузки существенно зависит от упругопластических свойств легкого бетона. Влияние свойств бетона проявляется в первую очередь на развитии ползучести сжатой зоны бетона и увеличении средних деформаций растянутой арматуры. Установлено, что увеличение прогибов железобетонных балок на природных пористых заполнителях во времени происходит по тем же законам, что и для балок из обычного бетона.

В начале 30-х годов легкий железобетон применили в несущих конструкциях при строительстве холодильников в Армении. В 1934—1935 гг. туфожелезобетон использовали при возведении перекрытий и купола клинической больницы и междуэтажных перекрытий универсама. В Ереване из литоиднопемзобетона сооружена сборная железобетонная оболочка покрытия павильона размером  $46,4 \times 46,4$  м.

Там же из монолитного туфожелезобетона построен крытый рынок с арками пролетом 30 м. Общий объем легкого бетона и железобетона при строительстве зданий в Армении составляет 90 %. Пемзобетон применили для сооружения оболочки размером  $18 \times 26$  м в плане на строительстве ТЭЦ в Тбилиси.

За последние десятилетия получило значительное развитие проектирование и строительство 9, 12, 14 и 16-этажных жилых зданий из туфо- и пемзобетонов на Кавказе. Производство различных видов сборных железобетонных изделий на природных пористых заполнителях налажено также в Грузии, Краснодарском крае, на Украине, Дальнем Востоке, Северном Кавказе. В Камчатской, Сахалинской и Магаданской областях широко применяют бетоны на вулканических шлаках. Из них изготавливают конструкции панельных зданий, элементы каркасов одноэтажных промзданий и др. На Дальнем Востоке накоплен опыт применения шлакобетона и туфобетона для производства конструкций крупнопанельных зданий, каркасов промзданий.

На Украине освоен выпуск сборных железобетонных изделий (панелей перекрытий, стеновых панелей, лестничных маршей и др.) крупнопанельных домов из мелкозернистых бетонов на известняках-ракушечниках, являющихся отходами камнепиления. Бетон и железобетон на природных пористых заполнителях успешно применяют в мостостроении, гидротехническом и энергетическом строительстве. Так, известняки-ракушечники Апшеронских месторождений использовали при строительстве водопровода в Азербайджане. Бетоны на малопрочных пористых карбонатных заполнителях применили при строительстве водохозяйственных каналов, затворов, переходных мостиков и других сооружений оросительных систем, а также конструкций магистрального водовода г. Николаева и пассажирского причала в Каховке. В Нальчике из пемзобетона класса В12,5 при расходе портландцемента марки 400  $250 \text{ кг/м}^3$  и плотности бетона в воздушно-сухом состоянии  $1550 \text{ кг/м}^3$  построен элеватор.

Массовое внедрение легкого и облегченного бетона в строительстве позволило снизить массу 5-этажных зданий на 25...30, а 9-этажных на 30...35 %. При этом об-

щие трудозатраты сокращены на 10...20, сметная стоимость на 3...7 %. Использование в железобетонных конструкциях легких и облегченных бетонов вместо тяжелых уменьшает стоимость изделий, массу конструкций на 15...25 %, расход стали на 3...5 %, а в отдельных случаях до 10 %.

Кроме того, утилизация отходов камнепиления комплексно решает вопросы охраны окружающей среды, существенного снижения энергозатрат на производство пористых заполнителей, уменьшения объема перевозок. Следует отметить, что организация производства природных пористых заполнителей требует удельных капитальных вложений в два раза меньше, чем при производстве плотных заполнителей, и в 2...4 раза меньше, чем искусственных. В отличие от легких бетонов на искусственных пористых заполнителях, которые нередко обходятся дороже тяжелых

бетонов из-за высокой стоимости заполнителей, бетоны на пористых природных заполнителях, как правило, дешевле тех и других.

В Армении, Кабардино-Балкарии и других районах туфобетоны прочностью 15...20 МПа на 10...20 % дешевле тяжелого бетона. На Северном Кавказе при замене тяжелого бетона на многопустотных панелях перекрытий туфо- и пеплобетоном стоимость панелей снизилась на 7,8 и 5,8 %. Одновременно уменьшился расход стали в панелях перекрытий на 8...13 %.

Высокие технические свойства бетона и железобетона на природных пористых заполнителях сочетаются с экономической эффективностью, являющейся в основном следствием применения местных заполнителей. Главное их преимущество заключается в дешевизне сырья, изначально меньших затратах на организацию их производства.

Значение утилизации отходов камнепиления пористых пород диктуется не только соображениями получения самых дешевых пористых заполнителей, но и целесообразностью освобождения от отходов больших территорий в целях их рекультивации и использования в сельском хозяйстве.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маилиян Р. Л., Ахматов М. А. Железобетон на пористых каменных отходах.— М.: Стройиздат, 1937.
2. Ахматов М. А. Применение отходов камнепиления туфкарьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них.— Нальчик: Эльбрус.
3. Ахматов М. А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона.— Нальчик: Эльбрус.

удк 691.327.004.8

Л. И. ДВОРКИН, д-р техн. наук, И. Б. ШАБМАН, канд. техн. наук, С. М. ЧУДНОВСКИЙ, А. М. КОВТУН, О. В. ЯКИМЕНКО, инженеры (Украинский ин-т инженеров водного хозяйства)

## Высокопрочные наполненные бетоны с применением золы-уноса

Работы отечественных и зарубежных исследователей последних лет показали, что добавки активных кремнеземсодержащих наполнителей могут повышать прочность бетонов или не снижать ее при экономии клинкерного вяжущего. Среди минеральных наполнителей наибольшей активностью обладает отход ферросплавного производства, который при оптимальной дозировке обеспечивает получение высокопрочных бетонов, но при этом ухудшает реологические свойства бетонной смеси. Повышение подвижности бетонной смеси в этом случае достигается только в сочетании с повышенным расходом суперпластификатора [1, 2].

Были проведены исследования для оценки возможности получения высокопрочных бетонов из подвижных смесей с применением в качестве микронаполнителя бетонов золы-уноса. В качестве микронаполнителей вводили отходы Стахановского завода ферросплавов (ОПФ) с удельной поверхностью  $2 \text{ м}^2/\text{г}$  и плотностью  $2,2 \text{ г}/\text{см}^3$ , золу-

унос Бурштынской ТЭС (ЗУ) с удельной поверхностью  $0,4 \text{ м}^2/\text{г}$  и плотностью  $2,2 \text{ г}/\text{см}^3$ , активированную золу-унос (ЗА) и комплексный наполнитель ОПФ + ЗА. Активированную золу-унос получали с помощью механической диспергации частиц золы-уноса в шаровой мельнице. Диспергирование осуществляли совместно с суперпластификатором в количестве 0,05...0,2 % массы золы, а остальную часть суперпластификатора вводили с водой затворения в бетонную смесь. Активированная зола имела удельную поверхность  $0,6 \text{ м}^2/\text{г}$ . Комплексный наполнитель получали смешиванием ОПФ и ЗУ в соотношении 1:2. Для экспериментов использовали портландцемент марки 400 Здобуновского цементно-шиферного комбината (ЦШК), кварцевый песок с  $M_k = 2,1$ , гранитный щебень фракций 5...20 мм, суперпластификатор С-3. Образцы бетона твердели при ТВО по режиму 4+3+6+2 ч ( $\tau_{из} = 80^\circ \text{C}$ ). Прочность устанавливали при испытании образцов-кубов

с ребром 10 см, подвижность бетонных смесей — по осадке стандартного конуса. Расход основных компонентов бетонных смесей приведен в таблице.

Из рис. 1 видны тенденции повышения прочности бетона до определенного предела и снижения подвижности смеси с увеличением расхода наполнителей при посто-

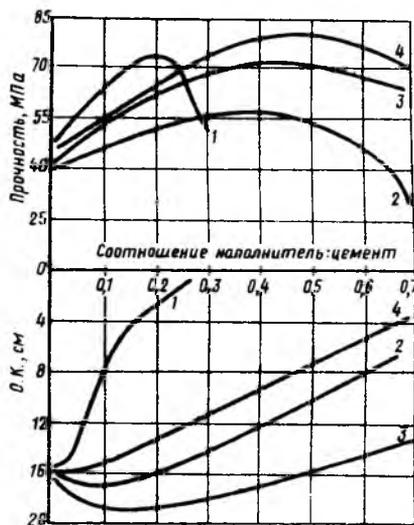


Рис. 1. Влияние дозировки наполнителей при постоянном расходе цемента (400 кг), воды (165 л) и суперпластификатора С — 3 (1 %) на подвижность бетонных смесей и прочность бетона после ТВО

1 — ОПФ; 2 — ЗУ; 3 — ЗА; 4 — ОПФ+ЗУ

Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси, кг							Подвижность смеси, см	Прочность при сжатии, МПа		
ПЦ М400	вода	С-3	наполнитель						песок	щебень
			ЗУ	ЗА	ОПФ	ЗУ:ОПФ				
400	165	4	—	—	—	—	580	1300	14	30,2/52,7
400	165	4	100	—	—	—	480	1250	16	34,1/55,1
400	165	4	200	—	—	—	390	1250	14	38,4/53,5
400	165	4	—	100	—	—	480	1250	18	42,3/63,4
400	165	4	—	200	—	—	390	1250	16	46,6/72,4
400	165	4	—	—	50	—	530	1250	—	47,3/66,8
400	165	4	—	—	100	—	470	1250	2	53,5/71,4
400	165	4	—	—	—	50:30	390	1250	14	43,2/68,7
400	165	4	—	—	—	100:50	390	1050	12	55,4/83,2
<b>Колонны из бетона класса В40</b>										
400	160	4	—	—	—	—	510	1370	4	36,6/58,7
400	130	4	—	150	—	—	480	1300	9	44,4/63,7
400	160	4	—	—	—	100:30	490	1300	6	52,3/70,3
<b>Ригели из бетона класса В30</b>										
430	155	4,3	—	—	—	—	680	1250	5	27,3/43,2
280	150	2,8	—	—	—	100:50	600	1250	6	29,3/40,2

Примечание. Перед чертой — после ТВО, после черты — после ТВО 28 сут

си и одновременно реализовать высокую химическую активность ОПФ и пластифицирующий эффект ЗУ.

Дальнейшее повышение прочности бетона достигается при увеличении дозировки наполнителей и С-3. Приведенные на рис. 2 результаты свидетельствуют о значительном приросте прочности бетона без изменения подвижности смеси (О.К = 10...15 см) по мере увеличения количества ЗА и ОПФ + ЗУ и суперпластификатора С-3 в составе бетонов. Оптимальные дозировки С-3 зависят от количества ЗА и ОПФ + ЗУ и изменяются в пределах 1,5...3 % массы цемента. Наилучшие результаты получены при испытании образцов, содержащих 50 % массы цемента ЗА и ОПФ + ЗУ и соответственно 1,5 и 2,5 % С-3, а также содержащих 100 % ЗА и ОПФ + ЗУ и соответственно 3 и 2,5 % С-3.

Выявленные закономерности учитывали при выпуске опытных партий изделий на Ровенском заводе ЖБК с использованием активированной золы и комплексного наполнителя. На портландцементе марки 500 Здолбуновского ЦШК готовили бетоны для конструкций колонн и ригелей. Расходы цемента в бетонах опытных изделий соответствовали производственным нормам, а ТВО проводили по принятому на заводе режиму 3+3+5+3 ч ( $t_{из} = 80^\circ C$ ). Результаты испытаний приведены в таблице. При установленных нормах расхода цемента с использованием ЗА и ОПФ + ЗУ был достигнут прирост прочности бетона 10...20 % при увеличении подвижности бетонной смеси на 2...5 см. Это открывает перспективу получения высокопрочных бетонов на рядовых портландцементе и экономии цемента при введении наполнителей на основе золы-уноса.

### Выводы

Использование активированной золы и комплексного наполнителя позволяет получать высокопрочные бетоны из подвижных смесей на обычных рядовых материалах с существенной экономией цемента.

Применение данных микронаполнителей в бетоне приводит к расходу ОПФ до 5...10 % массы цемента и снижению расхода суперпластификатора С-3 на 40...50 %.

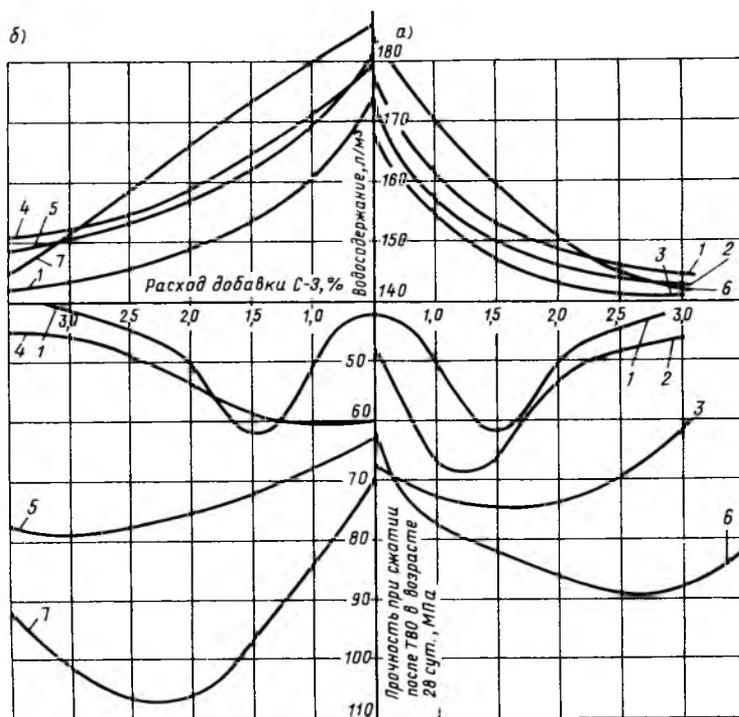


Рис. 2. Влияние дозировки суперпластификатора С — 3 на водосодержание бетонных смесей и прочность бетона после ТВО в возрасте 28 сут при различных степенях наполнения при Ц=400 кг

а — Н/Ц=0,5; б — Н/Ц=1; 1 — без наполнителя; 2, 4 — ЗУ; 3, 5 — ЗА; 6, 7 — ОПФ+ЗУ

янном расходе портландцемента, воды и суперпластификатора. Максимальная прочность бетона достигается при введении 25 % ОПФ, 40 % ЗУ, 45 % ЗА и 55 % (ОПФ + ЗУ) от массы цемента, но при этом подвижность смеси составляет соответственно 3,12; 14 и 8 см. Применение ЗА позволяет достичь той же прочности бетона (70 МПа),

что и ОПФ, но при этом подвижность смеси возрастает с 3 до 14 см. Введение ОПФ + ЗУ позволяет обеспечить дополнительный прирост прочности бетона в 15...20 % по сравнению с бетонами на основе ОПФ и ЗА и подвижность смеси достигает 8 см. Это объясняется тем, что домол золы-уноса в присутствии раствора суперпластификатора способствует повышению ее реакционной способности в процессе гидратации цемента и улучшает воздействие на реологические параметры цементных систем. Применение двухфракционного наполнителя ОПФ + ЗУ позволяет улучшить его гранулометрию за счет уменьшения пустотности сме-

1. Применение отходов ферросплавного производства с пониженным содержанием микрокремнезема / В. Г. Батраков, С. С. Каприелов, В. В. Пирожников и др. // Бетон и железобетон.— 1989. — № 3.— С. 22—24.

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

## В помощь заводским лабораториям

УДК 666.97.015.002

В. Д. ПЯТКОВ, инж. (НИПИинжнефтегазстроя, Сургут)

### Новый прибор для контроля за твердением бетона в процессе термообработки

Совершенствование систем термообработки и поиск оптимальных режимов получения бетона требуемой прочности сдерживаются отсутствием простых и надежных приборов для контроля за его твердением, которые имелись бы в каждом строительном подразделении, на каждом строящемся объекте.

В настоящее время накоплен достаточный экспериментальный материал, позволяющий установить математические зависимости процессов роста прочности бетона от величины и времени воздействия температурного фактора, используемых видов цемента и составов бетонной смеси.

Известно, что влияние температурного фактора на процесс твердения бетона достаточно точно выражается через эквивалентный возраст бетона, приведенный к продолжительности твердения бетона в нормальных условиях при температуре 20 °С [1]

$$Z = Z_t K_t, \quad (1)$$

где  $Z$  — приведенный возраст;  $Z_t$  — время воздействия на бетон температуры  $t$ ;  $K_t$  — температурный коэффициент кинетики твердения бетона.

Ранее [2] была выявлена математическая зависимость, позволяющая с достаточно оптимальной точностью определять температурные коэффициенты для различных видов (групп) цементов, используемых при приготовлении бетона,

$$K_t = \left( \frac{t+30}{50} \right)^n, \quad (2)$$

где  $t$  — температура бетона;  $n$  — константа, имеющая значения в пределах 2...3,6 в зависимости от вида цемента.

На основании теоретических исследований и экспериментальных про-

верок автором выведено математическое выражение, описывающее кинетику роста прочности бетонов в нормальных условиях

$$R_z = \frac{R_{28}}{28} (m+28) \frac{Z}{m+Z}, \quad (3)$$

где  $R_z$  — прочность бетона в возрасте  $Z$  суток;  $R_{28}$  — марочная прочность бетона;  $m$  — константа, имеющая значения 1,5...20 в зависимости от состава бетона.

Графики роста прочности бетона в зависимости от времени твердения, построенные с использованием выражения (3), дают семейство

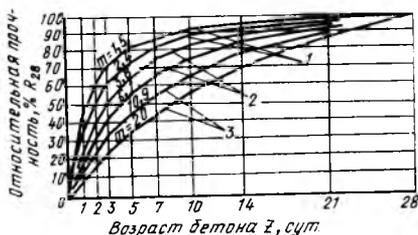


Рис. 1. Графики твердения бетонов различных составов, построенные по формуле (3)

1 — бетоны с В/Ц=0,3...0,5 на БТЦ и высокомарочных портландцементах; 2 — то же с В/Ц=0,45...0,65 на портландцементах марок 300...400; 3 — то же с В/Ц=0,6...0,8 на шлакопортланд- и пуццолановых цементах

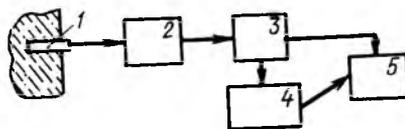


Рис. 2. Блок-схема прибора

1 — датчик температуры; 2 — усилитель; 3 — функциональный преобразователь; 4 — интегратор; 5 — блок индикации

кривых, достаточно близко отражающих кинетику твердения бетонов различных составов как в течение 28 сут, так и в более поздние сроки (рис. 1).

На основе использования зависимостей (1)...(3) была создана автоматическая система «Монолит» для контроля за нарастанием прочности бетона в процессе термообработки. Принципиальная схема прибора с блоками, воспроизводящими функции  $K_t=f(t, n)$ ;  $Z=f(K_t, Z_t)$  и  $R=f(R_{28}, Z, m)$ , приведена на рис. 2.

С помощью прибора можно вести наблюдение и контроль температуры бетона, определять приведенный возраст и прочность бетона. Кроме функции контроля за протекающими процессами твердения бетона, прибор имеет выходы для управления термообработкой — автоматическое отключение подачи энергии на прогрев бетона при достижении им заданной прочности или повышении температуры в бетоне выше требуемой.

#### Техническая характеристика прибора

Диапазон измерений	
температура, °С . . .	0...100
приведенный возраст бетона, сут . . . . .	0...28
прочность, % $R_{28}$ . . .	0...100

Источник питания, В	
от сети . . . . .	220
от батарей . . . . .	9
Габарит, мм . . . . .	30×200×180
Масса, г . . . . .	1950



Рис. 3. Прибор для контроля за твердением бетона

Проведенные лабораторные и промышленные испытания прибора показали, что при определении констант  $n$  и  $m$  лабораторным путем погрешность показаний прочности бетона колеблется в пределах 3...5 % по сравнению с фактической прочностью. При выборе констант по таблицам в зависимости от видов цемента и состава

бетона точность снижается до 7...10 %.

Изготовление опытно-промышленной партии приборов освоено Научно-производственной фирмой «Зенит» в Сургуте (рис. 3). Небольшие габарит и масса прибора, возможность питания от автономного источника делают прибор удобным для применения в по-

строечных, заводских и лабораторных условиях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса / Тр. НИИЖБа.— М.: Стройиздат, 1975.— 110 с.
2. Ганин В. П. Температурные коэффициенты кинетики твердения бетона // Изв. вузов: Стр-во и архитектура.— 1975.— № 6.— С. 36—38.

УДК 693.546

В. А. ПИРОГОВ, канд. техн. наук, В. А. КОНОНЕНКО, инж. (Ин-т «Киевский стройпроект»)

## Контроль и управление расслаиваемостью бетонных смесей при виброформовании

Естественные процессы расслаиваемости бетонных смесей при виброформовании железобетонных конструкций существенно отличаются по проявлениям в зависимости от вида крупного заполнителя и вида смеси (тяжелого или легкого бетонов).

При вибрировании смеси тяжелого бетона процесс расслаиваемости можно условно разделить на три основных одновременно протекающих процесса: осаждение зерен крупного заполнителя с отдавливанием вверх растворной части; оседание зерен песка в водоцементном тесте; поверхностное отделение воды в верхний слой смеси.

В двух первых случаях процесс осаждения обуславливается разностью плотностей среды и зерен заполнителей. Процесс отделения воды из цементного теста обуславливается не только разностью в плотности, но и недостаточной водоудерживающей способностью цемента, а также естественным сложным процессом седиментации.

На технологическом переделе виброформования конструкций первые два процесса резко интенсифицируются — происходит естественный процесс расслаиваемости тяжелых бетонных смесей под вибрационным воздействием, влияющий на прочность бетона в отдельно взятых конструкциях, их несущую способность и надежность.

Для контроля и управления расслаиваемостью смесей при виброуплотнении был разработан, изготовлен и освоен в лабораторной и производственной практике прибор АИТМ-УП — анизотропометр универсальной конструкции автора [1, 2]. Он представляет собой металлический короб с внутренним размером 100×120×500 мм вместимостью 6 л. После заполнения пробой испытываемой смеси его герметично закрывают крышкой и устанавливают в вертикальном положении на лабораторную виброплощадку (или укрепляют струбцинами на производственном формовочном оборудовании). В зависимости от поставленной задачи устанавливается программа продолжительности вибрирования. Прибор имеет универсальные возможности. С его помощью можно изучать кинетику расслаиваемости смесей и пороудаления при вибрировании, количественно оценивать реологические свойства тяжелых и легких бетонных смесей, таких, как расслаиваемость, связность, вибровязкость, исчерпание свойства расслаивания, субстанциональная анизотропия расслоившихся смесей.

Анизотропометр, дополнительно укомплектованный кондуктором, диафрагмами и инерционным вибропригрузом, способен делить столб расслоившейся смеси на локальные пробы, определять их ве-

ществительные составы и физико-механические показатели отвердевшего бетона; назначать оптимальную и предельно допускаемую продолжительность виброформования на конкретном формовочном оборудовании бетонных смесей определенной удобоукладываемости (подвижных и жестких); оценивать относительную интенсивность вибрации производственного формовочного оборудования, строить эпюры неравномерности вибрирования в пределах отдельной формируемой конструкции.

Эти и другие целевые испытания и исследования позволяют принимать конкретную контрольно-управляющую информацию в производственных и исследовательских бетоноведческих лабораториях.

АИТМ-УП разработан, изготавливается и реализуется в институте «Киевский стройпроект» с приложением инструкции о его назначении, устройстве и применении.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирогов В. А. Системное управление качеством бетона.— Киев: Будівельник, 1990.— 224.
2. Пирогов В. А. Расслаиваемость и анизотропия бетонной смеси как факторы изменчивости прочности бетона в конструкции.— Киев, Укроргтехстрой, 1981.— 18 с.

УДК 691.327.539.4

М. Г. КОРЕВИЦКАЯ, канд. техн. наук, В. Н. АРТАМОНОВА, инж. (НИИЖБ);  
Т. Ю. ЛАПЕНИС, инж. (ГП «Ренкон», Литва)

## Контроль прочности монолитного бетона неразрушающими методами в раннем возрасте

Действующие нормативные документы содержат достаточно жесткие требования по максимально допустимому различию между возрастом образцов, использованных для построения градуировочной зависимости и возрастом бетона в конструкциях. Так, при испытании ультразвуковым методом в соответствии с ГОСТ 17624 требуется, чтобы возраст бетона контролируемой конструкции не отличался от возраста образцов, испытанных при построении градуировочной зависимости более чем на 50 %. При испытании механическими методами в соответствии с ГОСТ 22690 это различие должно составлять не более 40 %.

Из этого следует, что, если, например, градуировочная зависимость построена для возраста 3 сут, то ее нельзя использовать для контроля прочности бетона в возрасте 6 сут. В то же время зависимость для 6 сут применима для контроля прочности бетона в возрасте 3 сут (ультразвуковым методом).

Неразрушающие методы в соответствии с ГОСТ 18105 используют для контроля распалубочной прочности бетона, которая достигается при естественном наборе прочности через 2...4 сут после бетонирования. Поэтому принятый подход создает сложности при контроле и построении градуировочной зависимости. Было бы значительно проще строить градуировочную зависимость по данным результатов испытаний образцов различного возраста для возможности контроля прочности бетона в некотором диапазоне.

НИИЖБ совместно с ГП «Ренкон» осуществил исследования с целью оценки существующих неразрушающих методов для контроля прочности монолитного бетона естественного твердения в раннем возрасте. Для экспериментов ис-

пользовали несколько групп контрольных кубов, каждая трех составов, которые испытывали различными неразрушающими методами и под прессом в разном возрасте. Затем строили градуировочные зависимости, варьируя используемые для этой серии образцы. В некоторых случаях группы образцов рассматривали как бетон конструкций, их прочность определяли по градуировочным зависимостям и результатам испытаний под прессом.

Эксперименты были разбиты на две группы, первая включала образцы из тяжелого бетона, вторая — из керамзитобетона. Результаты испытаний образцов этих групп отличались незначительно. Поэтому в дальнейшем использовали данные образцов второй группы, включавшей 205 образцов-кубов. В качестве состава бетона приняли состав, используемый ГП «Ренкон» при возведении монолитных домов: цемент марки 400—390, керамзит фракции 5...10 мм и объемным весом 0,64 кг/л — 256, керамзит фракции 10...20 мм и объемным весом 0,34 кг/л — 136, песок — 418 кг/м<sup>3</sup>, вода 220 л/м<sup>3</sup>, В/Ц=0,57; О. К.=8 см. Так же, как и в образцах первой группы, 1/3 общего количества образцов изготовили из бетонной смеси исходного состава, а 2/3 — из бетонной смеси, отличающейся от исходного состава В/Ц: 1/3 при В/Ц=0,47 (II замес) и 1/3 при В/Ц=0,61 (III замес). Образцы, твердевшие в естественных условиях, испытывали сериями: 1 (42 шт.) в возрасте 2 сут, 2 (43 шт. в возрасте 3 сут, 3 (45 шт.) в возрасте 4 сут, 4 (30 шт.) в возрасте 7 и 5 (45 шт.) в возрасте 9 сут.

В экспериментах использовали неразрушающие методы: ударного импульса (прибор ВСМ-4), упругого отскока (прибор Шмидта типа N), пластических деформаций при

ударе индентора (прибор Ц-22), пластической деформации при вдавливании индентора (прибор штамп НИИЖБ), ультразвуковой (способ сквозного и поверхностного прозвучивания (прибор УК-10ПМ)). Количество измерений для каждого образца приняли для метода отскока, пластической деформации и ударного импульса — 10, по пяти на противоположных гранях, для ультразвукового метода — 4, для метода пластической деформации при вдавливании — 2.

Единицей косвенного показателя считали среднее арифметическое значение полученных единичных результатов. При построении градуировочной зависимости это значение принимали в качестве единичного, а единичное значение прочности — прочность одного образца. Как известно, это несколько увеличивает погрешность градуировочной зависимости.

Образцы испытывали сначала неразрушающими методами, а затем на прессе на сжатие по ГОСТ 10180. Для каждой группы образцов и каждого метода контроля построили градуировочные зависимости согласно ГОСТ 22690. На рис. 1 приведены градуировочные зависимости для образцов второй группы, испытанных в возрасте 2 сут. В результате установлено, что все неразрушающие методы применимы для контроля прочности бетона в возрасте от 2 сут. Исключение составляет метод ударного импульса, для которого при испытании первой группы образцов получены неудовлетворительные результаты, однако их не следует считать окончательными.

Для проверки возможности построения градуировочных зависимостей по результатам испытаний образцов разного возраста построили градуировочные зависимости для каждого метода, включая и обработку всех образцов (до 9 сут). На рис. 2 приведена градуировочная зависимость для метода пластических деформаций при ударе при испытании образцов второй группы, а в таблице — характеристики градуировочных зависимостей для образцов второй группы по всем рассмотренным методам.

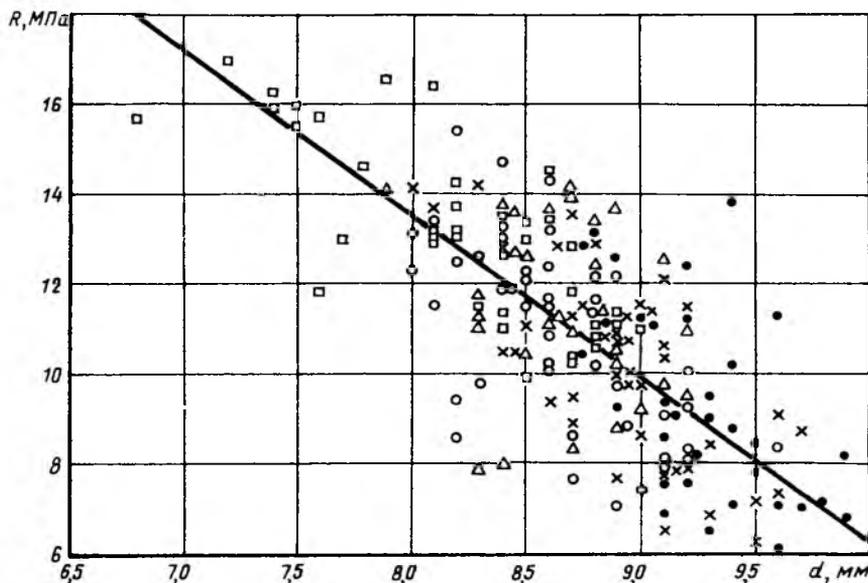
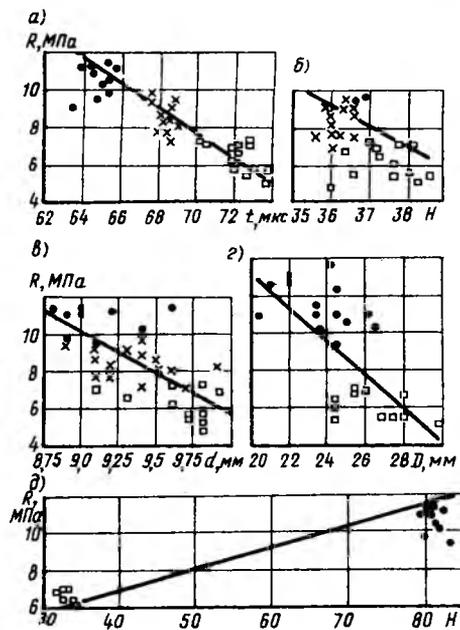


Рис. 1. Градуировочные зависимости для бетона в возрасте 2 сут при использовании методов: ультразвуковым способом поверхностного прозвучивания (а), упругого отскока (б), пластических деформаций при ударе (в), то же при вдавливании (г) и ударного импульса (д)

замесы: ● — 1; X — 2; □ — 3

Не разрушающий метод	R, МПа	S <sub>т</sub> , МПа	$\frac{S_t}{R} \cdot 100\%$
Ультразвуковой	11,2	3,9	34,7
Упругого отскока	10,8	2,2	20,0
Пластической деформации при ударе	10,8	1,7	15,5
Пластической деформации при вдавливании	11,2	2,1	18,4

Рис. 2. Градуировочная зависимость по результатам испытаний образцов по методу пластической деформации при ударе

возраст: ● — 2; X — 3; ○ — 4; △ — 7; □ — 9 сут

здесь, что различие в ошибке установления прочности бетона по отдельным и общим градуировочным зависимостям не существенно.

### Выводы

Для контроля прочности монолитного бетона естественного твердения в возрасте 2...9 сут можно использовать единую градуировочную зависимость. При ее построении, по-видимому, нет необходимости варьировать Ц/В. Достаточен разброс прочности вследствие естественного колебания состава и разного возраста бетона.

Разработанную методику использовали при построении градуировочных зависимостей для контроля прочности бетона монолитных домов, возводимых объединением «Монолитас» в Литве.

При переработке ГОСТ 17624 и ГОСТ 22690 следует внести изменения в способ построения градуировочных зависимостей для контроля прочности бетона в раннем возрасте.

Характер градуировочных зависимостей для всех случаев вполне приемлемый. Анализ точности градуировочных зависимостей показал, что  $(S_t/R) \cdot 100\%$  превышает предельно установленное значение (15%) при построении градуировочных зависимостей. Однако следует отметить, что при этом в качестве единицы принимали не результаты испытаний серии кубов, а данные испытания одного куба. Как известно, это приводит к увеличению погрешности градуировочной зависимости. Поэтому следует полагать, что существует принципиальная возможность получения

градуировочной зависимости требуемой точности для контроля прочности монолитного бетона в раннем возрасте.

Прочность бетона всех образцов определили по градуировочным зависимостям, построенным для конкретного возраста и по общим градуировочным зависимостям для всего возрастного диапазона. Полученные данные сопоставили со значениями прочности, полученными при испытании этих образцов под прессом. Таким образом, как бы моделировали определение прочности бетона по разным градуировочным зависимостям. Ока-

УДК 624.012.45

Ф. Н. РАБИНОВИЧ, канд. техн. наук (ЦНИИПромзданий)

## Композиционные материалы и конструкции на основе бетона, армированного высокопрочными волокнами

ЦНИИПромзданий в рамках государственной научно-технической программы (ГНТП РФ) разрабатывает каталог с номенклатурой композиционных материалов, технологий для их производства и конструкций из бетона, армированного высокопрочными волокнами (на основе стеклофибробетона, базальтофибробетона, сталефибробетона и др.) для зданий и сооружений промышленного, гражданского, жилищного и сельскохозяйственного назначения. Состав каталога отражает данные, полученные в институтах, строительных организациях и предприятиях не только Российской Федерации, но и Украины, Латвии, Казахстана.

Он разрабатывается с целью интенсификации работ по внедрению рассматриваемых материалов, технологий и конструкций в строительство, а также для привлечения к этой проблеме заинтересованных организаций (государственных и частных).

Каталог включает четыре раздела: армирующие волокна и изделия из них (в том числе короткие отрезки-фибры и непрерывные волокна, рулонные материалы и др.); конструкции зданий и сооружений (сборные и монолитные) с дисперсным и комбинированным армированием; технологию производства; оборудование установки, станки. В него входят не только апробированные в производстве и строительстве технические решения, но и создаваемые новые материалы, технологии, конструкции и оборудование. Выделены вопросы, решение которых нуждается в дальнейшей финансовой поддержке.

**Первый раздел** каталога включает достаточно обширную номенклатуру волокон, используемых для армирования бетона, представляет их техническую характеристику, свойства, уровень производства, области применения. В их числе волокна (фибры), получаемые из стальной проволоки путем ее профилирования и резки, из отработанных стальных канатов, из тонких листовых материалов, включая отходы металлургического (стале-прокатного) производства, а также волокна, получаемые методом фрезерования из слябов и расплава.

Представлены различные модификации стеклянных щелочестойких волокон в виде ровинга, сеток, базальтовые тонкие и непрерывные волокна, а также грубые волокна ограниченной длины, синтетические (капрон, нейлон, полипропилен), полиамидные, арамидные и др.

**Второй раздел** каталога представляет различные типы сборных и монолитных дисперсно армированных конструкций зданий и сооружений, включая несущие и ограждающие конструкции: покрытия и перекрытия, стены, перегородки, покрытия полов, дорожные плиты, сваи, пространственные конструкции, малые архитектурные формы, конструкции емкостных сооружений и др. Конструкции предназначены для возведения много- и малоэтажных зданий (в том числе для массового и индивидуального строительства, включая коттеджи, торговые центры и др.). В каталоге приведены номенклатура конструкций, их опалубочные размеры, расход используемых ис-

ходных материалов, области применения и эффективность по сравнению с аналогичными традиционными решениями.

**Третий раздел** каталога включает технологические схемы производства конструкций, перечень предприятий, в составе которых можно организовать это производство (завод, цех, полигон и т. д.).

**Последний четвертый раздел** каталога приводит данные о технологическом оборудовании, установках и станках для производства рассматриваемых конструкций.

Указываются наименование оборудования (или установки, станка), его производительность, габариты, область применения.

Все каталожные листы включают данные о разработчиках представленных материалов и соответствующих организациях (их координаты), что будет способствовать более быстрому поиску и контактам между разработчиками, производителями и потребителями.

Принятая структура каталога, по нашему мнению, позволит потребителям рассматриваемой продукции лучше ориентироваться в технических аспектах данного направления, получить необходимую информацию о характеристиках дисперсно армированных конструкций, свойствах исходных материалов, особенностях технологии для производства этих конструкций, а также сведения о производителях, внедряющих указанные технологии и конструкции в практику строительства.

**Все дополнительные вопросы по каталогу и заявки на его приобретение следует направлять по адресу: 127238, Москва, Дмитровское ш., д. 46, ЦНИИПромзданий (тел.: 488-63-96, 482-42-10).**

УДК 626.8

В. И. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук (ВНИИГим)

## Бетон и железобетон в гидромелиоративном строительстве за рубежом

Известна тенденция в большинстве развитых стран мира максимальной индустриализации гидромелиоративного строительства. Монтаж готовой продукции на стройплощадках позволяет почти полностью механизировать строительное производство, до минимума свести затраты ручного труда. Основной продукцией строительной индустрии стран, осуществляющих гидромелиоративное строительство, являются бетонные, железобетонные и стальные конструкции, трубы всевозможного назначения (напорные, безнапорные, дренажные, для водоснабжения, канализации и пр.) из стали, бетона, железобетона, чугуна, асбестоцемента, пластмассы и других материалов, готовые блоки гидротехнических сооружений, а также различная арматура на оросительной, осушительной сети и др. Особое внимание уделяется производству бетонных и железобетонных напорных и безнапорных труб.

До недавнего времени наиболее распространенным способом изготовления железобетонных напорных труб диаметром 500...1200 мм на давление 1,5 МПа за рубежом являлось виброгидропрессование. Наибольших успехов в совершенствовании этой технологии добилась шведская фирма «Сентаб», обеспечившая наименьшие эксплуатационные затраты и металлоемкость. По ее технологии изготавливают напорные трубы во многих странах мира, включая Японию и СНГ.

Кроме того, широко распространенной технологией является трехступенчатая, по которой выпускают трубы диаметром 300...1000, длиной до 6000 мм, на давление до 1,6 МПа. Суть этой технологии заключается в том, что формируется железобетонный сердечник с продольно-напряженной армату-

рой, на сердечник навивается спирально-круговая арматура и на арматуру наносится защитный бетонный слой.

Предложения по усовершенствованию отмеченных технологий производства железобетонных труб в последние годы сводились, по существу, к сочетанию виброгидропрессования с отдельными элементами трехступенчатой технологии. Так, по технологии фирмы «Рокла» (Австралия) предусмотрено вращение форм с сердечником на горизонтальном валу с одновременным центрифугированием и прокатом бетонной смеси. У фирмы «Сокоман» (Франция) центрифугирование сочетается с высококачественным вибрированием, при этом на сердечник через щелевые отверстия наносится слой из мелкозернистого бетона, уплотняемого виброрейкой.

Фирма «Сенвино» (США) для уплотнения бетона использует ролики с пневматическими резиновыми шинами. После предварительного уплотнения в работу включается прессующее устройство массой до 6 т. В технологии фирмы «Токио мэшин плант компани» используют высокоскоростной ленточный транспортер-метатель. Бетонная смесь ударяется о вращающуюся лопастную головку и с силой отбрасывается на внутреннюю стенку формы, затем прикатывается и заглаживается роликом [1].

Использование отдельных операций трехступенчатой технологии и вибропрессования привело к созданию новой технологии, получившей название вибропрессоцентрифугирование. Значительных успехов в разработке этой технологии добилась итальянская фирма «Казагранде» по производству железобетонных напорных труб диаметром 400...1800 мм на давление

до 0,5...0,6 МПа. Она включает формирование сердечника с продольно-напряженной арматурой или двойным каркасом из арматуры периодического профиля, уплотнение бетонной смеси при вибрировании и одновременном вращении центрифуги с окружной скоростью 30 м/с с уплотнением бетона специальным валиком и зубчатыми роликами; термовлажностную обработку сердечника в течение 4...6 ч при  $t_{н3} = 75^\circ\text{C}$  с последующим выдерживанием в бассейне с водой в течение 3...4 сут, что позволяет получить распалубочную прочность бетона до 25 МПа; спиральную навивку на сердечник преднапряженной горячекатаной проволоки со строгим контролем силы натяжения и шага навивки, осуществляемого микропроцессором; гидравлические испытания готового сердечника на внутреннее давление, причем давление воды поднимается со скоростью 0,1 МПа/мин и выдерживают в течение 15 мин, поверочное давление в 1,5 раза превышает рабочее; нанесение защитного бетонного слоя толщиной 25 мм с помощью высокочастотного виброуплотнителя, с заглаживающей рейкой при одновременном вращении трубы с окружной скоростью 35 см/мин; вторичную термовлажностную обработку паром продолжительностью 4...5 т с последующим увлажнением на рабочей площадке в течение 3 сут или выдерживанием в бассейне; нанесение битумной гидроизоляции со стеклотканью — первоначально трубу покрывают битумом, растворенным в бензине, на этот слой накладывают стеклоткань, которую сверху также пропитывают битумным раствором

Изготовленные по такой технологии трубы имеют низкое (4...5 %) водопоглощение, что обеспечивает надежную защиту арматуры от коррозии, выход классных труб составляет не менее 99 %. Технологию производства напорных железобетонных труб совершенствуют и другие западные фирмы: «Сокоман», «Сенвино», «Рокла», «Цюлин» (бывш. ФРГ), «Хунцигер» (Швейцария), «Токио мэшин плант компани». При совпадении некоторых основных технологи-

Таблица 1

Фирма	Диаметр труб, мм	Производительность, м <sup>3</sup> /год	Стоимость основного оборудования
«Казагранде»	400—1800	7860	3265/0,42*
«Сокоман»	600—1000	8150	6107/0,75

\* Перед чертой — полная, тыс. дол., после черты — удельная, дол/м<sup>3</sup>.

Таблица 2

Диаметр труб, мм	Длина труб, м	Расход		
		бетона, м <sup>3</sup>	цемента, кг	водн. л
400	6	0,565/0,26	254/146	84/—
600	7	0,998/0,42	449/235	157/—
800	7	1,397/0,54	628/303	220/—
1000	7	2,213/0,67	996/376	349/—
1250	7	3,052/0,82	1374/459	477/—
1400	7	3,721/0,92	1674/516	586/—
1600	7	4,863/1,04	2188/582	766/—
1800	7	5,875/1,17	2644/655	925/—

Примечание. Перед чертой — при изготовлении цилиндра, после черты — защитный слой бетона.

Таблица 3

Диаметр труб, мм	Длина трубы, м	Продольная арматура			Спиральная навивка		
		количество стержней, шт.	диаметр стержня, мм	вес, кг	количество витков на 1 м	диаметр проволоки, мм	вес, кг
400	6	18	6	24,3	20	2,5	18,8
500	6	16	6	21,6	40	3,5	38,8
600	7	20	6	31,4	48	3,5	61,6
800	7	28	7	54,8	66	3,5	105,7
1000	7	30	7	64,1	62	4,0	165,7
1250	7	26	7	55,7	77	4,0	248,8
1400	7	28	7	60,1	56	5,0	325,4

ческих операций при выпуске железобетонных труб с технологией фирмы «Казагранде» есть некоторые особенности, присущие каждой фирме.

Одно из преимуществ технологии фирмы «Казагранде», выгодно отличающих ее от других западноевропейских фирм, заключается в сравнительно небольшой стоимости производства (табл. 1). Так, по сравнению с фирмой «Сокоман», удельная стоимость оборудования фирмы «Казагранде» почти вдвое меньше при равной годовой производительности.

В табл. 2 приведены данные о расходе цемента, а в табл. 3 — расход арматурной стали в зависимости от диаметра и длины труб, по технологии фирмы «Казагранде». Выпуск труб со стальным сердечником начинается с формирования стального цилиндра, который сваривают из четырех секций пред-

варительно отвальцованных листов стали толщиной 4 мм. Сварку осуществляют на специальном стенде полуавтоматом под флюсом и с применением электродной проволоки с медным покрытием. К цилиндру затем приваривают радиальную и втулочную обечайки из полосовой стали толщиной 6 мм. Проверку герметизации швов производят с помощью керосина, заливаемого внутрь трубы, затем в стальной цилиндр вводят сетчатый кольцевой каркас, изготовленный из горячекатаной проволоки диаметром 4...5 мм с размером ячеек 20×20 см. Каркас фиксируется в цилиндре приваркой его концов по периметру к обечайкам цилиндра. После этого цилиндр с сетчатым каркасом помещают в металлическую форму и подают на центрифугу, где наносят внутренний защитный бетонный слой толщиной 25 мм. Продолжительность

операции 25 мин.

Форму с отформованным внутренним слоем подвергают термовлажностной обработке продолжительностью 4 ч с 2-часовым изотермическим прогревом при  $t_{из} = 75$  °С. Дальнейшие операции (навивка спиральной арматуры, нанесение наружной бетонной облицовки, ТВО и др.) производят в той же последовательности, что и при производстве обычных труб с железобетонным сердечником.

При изготовлении плит, блоков, панелей и других бетонных и железобетонных изделий (кроме труб) преобладающей технологией является конвейерное производство с бескамерной тепловой обработкой в термоформах, что обеспечивает высокий уровень механизации, автоматизации и роботизации при равномерном прогреве изделий. При выпуске пустотных и сплошных плит шириной 1,5...3 и длиной 6...12 м применяют безопалубочное производство на длинных стендах в один ярус. Способ менее металлоемок, но требует большего расхода цемента вследствие повышения классности бетона по прочности.

Повышения прочности бетона японской фирме «Обаяси Корпорейшн» удалось добиться только благодаря снижению температуры бетонной смеси во время приготовления впрыскиванием в раствор диспергированного жидкого азота. Химики Кембриджского университета получили новый цемент, превосходящий по прочности портландцемент, включающий вулканический пепел и известь.

В последнее время в США, Японии и странах Западной Европы в целях увеличения прочности бетонных изделий применяют дисперсное армирование. При этом короткие отрезки искусственных волокон — фибр (стальных, стеклянных, базальтовых, синтетических, углеродных и др.) равномерно распределяют в объеме бетона, что оказалось значительно эффективнее обычного армирования. Эксплуатационные свойства дорожных и аэродромных покрытий увеличились в несколько раз.

УДК 624.152

Матвеев В. Г., Кришан А. Л., Варламов А. А. **Стержневые элементы пустотного сечения** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 2—4

Описана технология изготовления стержневых конструкций пустотного сечения из опрессованного бетона. Приведены данные по оптимальному составу бетонной смеси и рациональным технологическим параметрам формования бетона. Даны варианты конструктивных решений и сведения по технико-экономическим показателям и эксплуатационным качествам конструкций. Отмечены области возможного применения.— Ил. 4.— Библиогр.: 1 назв.

УДК 691.81.002

Мотин А. В. **Штампы для изготовления унифицированных закладных деталей** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 10—11

Представлена однооперационная штампованная оснастка, позволяющая за один удар пресса получать готовую отштампованную деталь. В основу разработки штампов положен последовательный и комбинированный метод изготовления с применением прессового оборудования средней мощности усилием до 1000 кН.— Ил. 2.

УДК 625.888:691.328.002

Витман К. Я., Крошкин Ю. М. **Многоместная форма с упругими элементами для изготовления бортовых камней** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 11

Разработана и внедрена в производство многоместная стальная форма с упругоработающими элементами без специального устройства для распалубки железобетонных изделий. Новая форма надежна в работе, нетрудоемка в эксплуатации, позволяет получать изделия высокого качества.— Ил. 2.

УДК 624.012.35

Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д. **Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 13—15

Разработана методика расчета сталебетонных элементов прямоугольного поперечного сечения на прочность при осевом сжатии, основанная на раскрытии контакта между облоймой и ядром, работающим в условиях объемного напряженного состояния с переменными параметрами деформирования. Проведены численные расчеты напряженно-деформированного и предельного состояния сечения. Показано, что для оценки несущей способности можно учитывать контактное взаимодействие между облоймой и ядром в углах сечения. Найдены отношения размеров сечения  $b/a$  и толщина облоймы, при которых бетон работает наиболее эффективно. Показано соответствие экспериментальных и теоретических данных.— Ил. 3, Библиогр.: 4 назв.

УДК 691.327:539.4

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

Предложена аналитическая зависимость прочности тяжелых бетонов от времени, основанная на предположении о пропорциональности скорости нарастания прочности разности ее максимального и текущего значений.— Ил. 1.— Библиогр.: 2 назв.

УДК 624.072.33.012.45.044

Карабанов Б. В. **Учет геометрической нелинейности при проектировании железобетонных рам** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 17—19

Приведена методика определения верхней границы этажности, при которой можно не учитывать геометрическую нелинейность при проектировании железобетонных рам, являющихся несущей системой в общественных и промышленных зданиях. Практическая значимость выявления этой границы заключается в том, что расчет рам с учетом только физической нелинейности без учета геометрической существенно снижает затраты машинного времени.— Ил. 2.— Библиогр.: 5 назв.

УДК 691.327.004.8

**Высокопрочные наполненные бетоны с применением золы-уноса** / Л. И. Дворкин, И. Б. Шамбан, С. М. Чудновский и др. // Бетон и железобетон.— 1993.— № 1.— С. 23—25

Дана оценка эффективности применения активированной золы в комплексном наполнителе при изготовлении высокопрочных бетонов на рядовых материалах. Показано, что применение микронаполнителей в высокопрочных бетонах позволяет получить экономию цемента.— Ил. 2, табл. 1.— Библиогр.: 2 назв.

УДК 666.97.015.002

Пятков В. Д. **Новый прибор для контроля за твердением бетона в процессе термообработки** // Бетон и железобетон.— 1992.— № 2.— С. 25—26

Дано математическое описание кинетики твердения бетонов в зависимости от основных воздействующих факторов — температурных режимов, используемых видов цемента и составов бетона. На базе выявленных зависимостей построен прибор, позволяющий выполнять контроль за твердением бетона и автоматическое управление термообработкой.— Ил. 3.— Библиогр.: 2 назв.

Редакционная коллегия: В. И. Агаджанов, Ю. М. Баженов, В. Г. Батраков, Н. Л. Биевец, В. М. Бондаренко, А. И. Буракас, В. В. Гранев, П. А. Демянок, В. Г. Довжик, Ф. А. Иссерс, Б. И. Кормилицын, Р. Л. Маилян, К. В. Михайлов, Т. М. Пецольд, В. А. Рахманов, И. Ф. Руденко, Р. Л. Серых (главный редактор), В. М. Силин, В. М. Скубко, Ю. Г. Хаютин, А. А. Шыков (зам. главного редактора), Е. Н. Щербаков

Технический редактор Ю. Л. Циханкова

Корректор Н. А. Шатерникова

Сдано в набор 30.10.92. Подписано в печать 14.01.93. Формат 60×90 1/8. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная. Усл. печ. л. 3,92. Усл. кр.-отт. 4,92. Уч.-изд. л. 5,4. Тираж 4000 экз. Заказ 1207, Цена 50 р.

Адрес редакции:

Москва, Георгиевский пер., строение 5, 3-й этаж

Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул. (бывшая Каляевская ул.), 23а

Тел. 292-41-34, 292-62-05

Набрано на ордена Трудового Красного Знамени Чеховском полиграфическом комбинате Министерства печати и информации Российской Федерации 142300. г. Чехов, Московской обл.

Отпечатано в Подольском филиале 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

# ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИЕ «ТЕПЛЫЕ» ПЛИТЫ ДЛЯ ПОЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Разработаны составы легких полимербетонов, содержащие в определенных соотношениях заполнители и наполнители (природные — вулканические шлаки и искусственные — азеритовый, керамзитовый или перлитовый песок) либо пористые материалы, а также связующее — синтетические смолы (фурфуролацетонную, полиэфирную, карбамидную с соответствующими отвердителями).

Такие полимербетоны можно использовать для изготовления химически стойких одно- и двухслойных плит, применяемых для устройства теплых полов в животноводческих зданиях.

Для изготовления плит можно в основном использовать стандартное оборудование заводов ЖБИ.

Разработан «Технологический регламент на выпуск плит из легких полимербетонов», нормативы по технологии полимербетонов, технические условия на плиты. НИИЖБ оказывает научно-техническую помощь по налаживанию производства плит и по использованию местных материалов для их производства.

## СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДА ЦЕМЕНТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ОТПУСКНОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Разработаны реконструкции по назначению отпускной прочности сборных железобетонных изделий из тяжелого бетона с учетом кинетики его твердения в различных условиях.

Для некоторых конструкций можно снизить отпускную прочность до 60 и 80 % соответственно в теплое и холодное время года, а также расход цемента на 10...15 %:

для бетонов класса В15 (М200) . . .	на 20...30 кг/м <sup>3</sup> ;
для бетонов класса В22,5 (М300)	на 30...40 кг/м <sup>3</sup> ;
для бетонов класса В30 (М400) . . .	на 60...80 кг/м <sup>3</sup> ,

а также сократить длительность ТВО или снизить температуру изотермического прогрева на 10...15 °С.

ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВЫХ РАЗРАБОТОК НИИЖБ ОКАЗЫВАЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКУЮ ПОМОЩЬ НА ОСНОВЕ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОГОВОРОВ И КОНСУЛЬТАТИВНУЮ ПОМОЩЬ С ОПЛАТОЙ ПО ГАРАНТИЙНЫМ ПИСЬМАМ.

РАЗРАБОТЧИК: НИИЖБ (109428, МОСКВА, 2-я ИНСТИТУТСКАЯ УЛ. Д. 6) ТЕЛ. 171-05-44; 174-88-16.  
Вологодская областная универсальная научная библиотека  
www.booksite.ru



## МГП «СТРОЙПРИБОР»

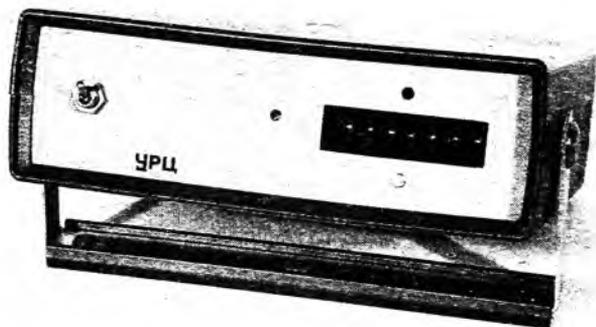
УЧРЕЖДЕН ВСЕРОССИЙСКИМ ФЕДЕРАЛЬНЫМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ (ВНИИжелезобетон)

Индекс 70050

Цена

## МГП «СТРОЙПРИБОР»

ВЫПОЛНЯЕТ РАБОТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ СРЕДСТВ АСУ ТП. ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ.



УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА РАСХОДА ЦЕМЕНТА подключается к дозирочно-смесительным узлам и установкам периодического действия, оснащенным дозаторами АВДЦ—1200М, АД—600—2БЦ (ДБЦ—600) и аналогичными.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР «БЕТОН—22» предназначен для контроля прочности бетона в готовых железобетонных изделиях и конструкциях. Масса прибора не превышает 1 кг. Прибор снабжен приспособлением для поверхностного прозвучивания с «сухим» контактом.



### ВЫПУСКАЕТ И ВНЕДРЯЕТ

- системы контроля и регулирования режима тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций
- прибор для определения уровня цемента в силосах
- ультразвуковые приборы специального назначения
- системы автоматического управления дозированием компонентов бетонной смеси

Заявки на приобретение и внедрение систем и приборов направляйте по адресу:

111524, Москва, ул. Плеханова, д. 7 МГП «Стройприбор»

Телефон: 176-72-06. Телетайп: 207542 СТАБЕТ

