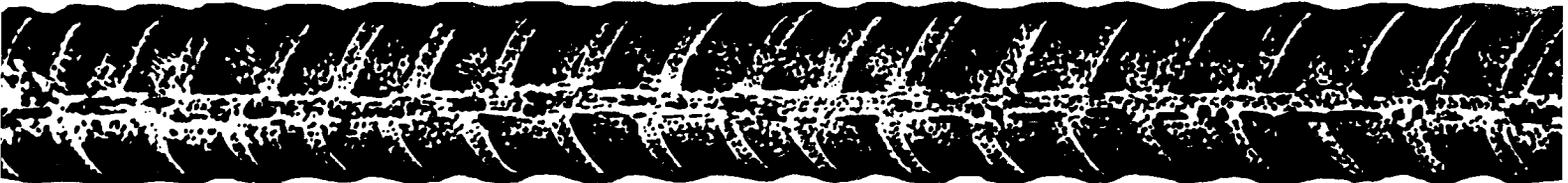
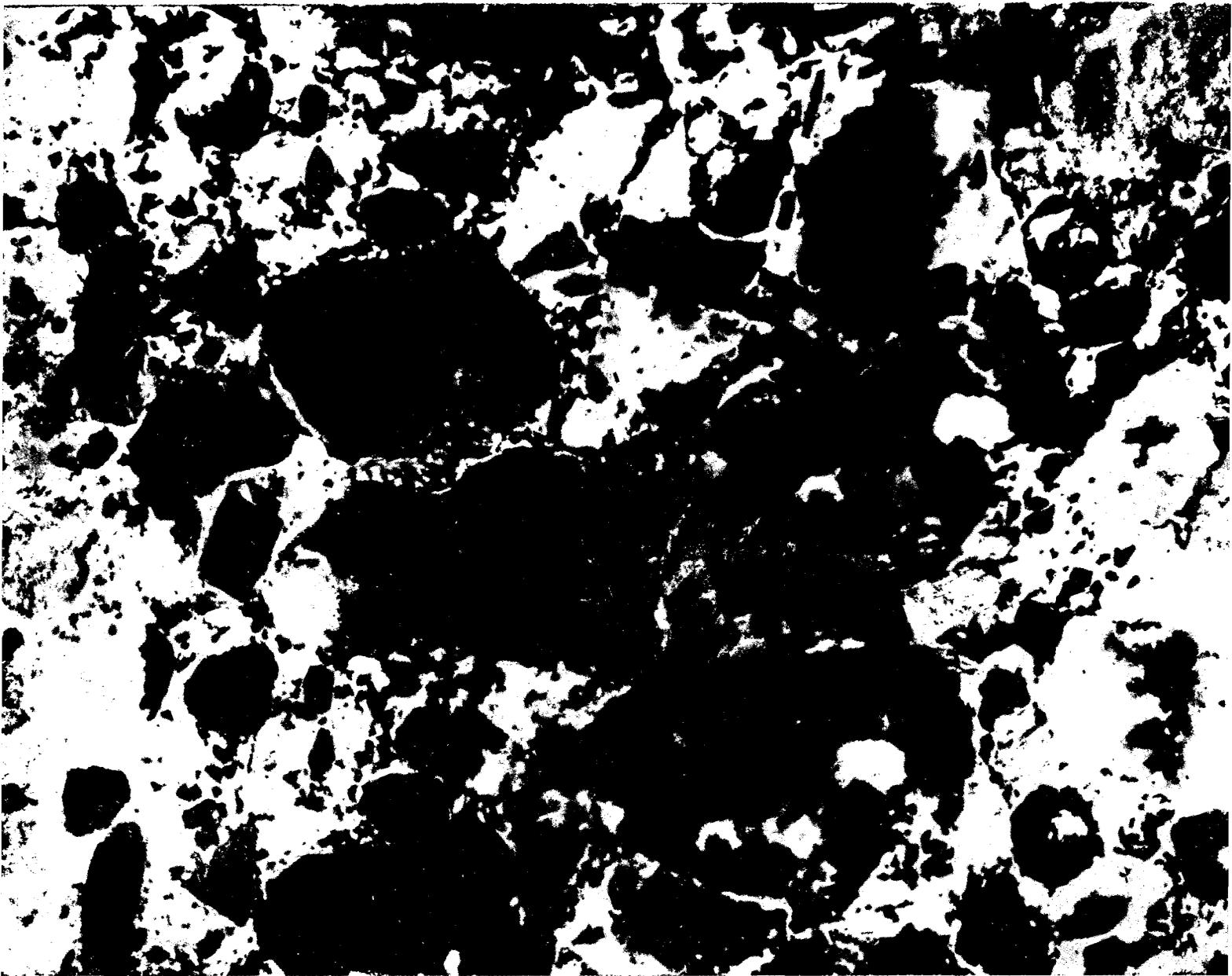


# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1<sup>ет</sup>

1997



1997. № 1-6

## ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН

предлагает заинтересованным предприятиям организовать производством и расфасовку товаров народного потребления

### ПАСТЫ ЧИСТЯЩИЕ "АМС-5...45"

Пасты предназначены для чистки ванн, раковин, кафеля, метлахской плитки, эмалированных кухонных плит, линолеума, пластиковых покрытий и других изделий.

Изготавливаются на основе отходов производства жидкого стекла.

Потребительские и функциональные свойства паст АМС соответствуют отечественным и зарубежным аналогам — "Универсальная-2" и "Viss" фирмы "Lever Snulicht" (Германия), а себестоимость в 1,5—2 раза ниже.

#### Сравнительные характеристики

	АМС-5	АМС-40	Универсальная-2	"Viss"
• Чистящая способность, %	60	55	55	55
• Показатель рН водной вытяжки	10,2	10,3	10	10

Пасты АМС при высыхании сохраняют свои свойства, цвет серый.

### КРЕМ ЭМУЛЬСИОННЫЙ "ЭКОРТ"

Крем предназначен для ухода за обувью и изделиями из кожи, придания им блеска, сохранения эластичности, водонепроницаемости и освежения цвета.

Изготавливается по технологии ВПС с применением побочных продуктов нефтехимии. Не содержит импортных компонентов и органических растворителей. Поставляется на расфасовку в бочках, автомобильных и железнодорожных цистернах.

Потребительские и функциональные свойства крема "Экорт" соответствуют отечественным и зарубежным аналогам — "Орто", "Спалва", "Шевро-2", "Вилия", "Salatandra" и др., а себестоимость в 3—4 раза ниже.

#### Сравнительные характеристики

	"Экорт"	"Экорт"	"Эмолан"	"Шевро"	"Collofix"	"Сочи-М"
• Внешний вид	паста	жидкий	паста	паста	паста	жидкий
• Цвет	бесцветный	черный	бесцветный	коричневый	голубой	коричневый
• Запах	отдушки	отдушки	растворителя	растворителя	растворителя	растворителя
• Содержание нелетучих, мас. %	30	18	30	24	39	18
• Блеск пленки, ед. ФБ-2	18	16	13	14	18	12
• Пыленакопление, мг/см <sup>2</sup>	0,6	0,7	0,8	0,7	0,4	0,8
• Водостойкость, бал.	100	100	80	80	100	80
• рН водной вытяжки	8,4	8,2	8,6	8,5	—	—

Цвет пленки крема "Экорт" — от бесцветного до бежевого, коричневый, черный, бордовый.

### КЛЕЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ "КМК"

Клей предназначен для склеивания и ремонта изделий из тяжелого, легкого и особо легкого бетона, кирпича, грунтоблоков; для шпатлевки и затирки вертикальных и горизонтальных швов, трещин и раковин в потолках, стенах, бетонных полах, лестничных маршах при ремонте квартир и изделий; для приклеивания керамической и цементно-песчаной плитки. Набирает прочность за 4—6 ч, необходимую для окраски или побелки стен и потолков.

Изготавливается на основе жидкого стекла, тонкодисперсных наполнителей, модификаторов и белитосодержащего отвердителя. Поставляется в виде двух упаковок, содержащих отдельно жидкий и порошкообразный компоненты. Приготавливается непосредственно перед употреблением, имеет консистенцию от жидкой до пастообразной, годен к использованию в течение 15—60 мин.

Клей "КМК" в 5—15 раз дешевле по стоимости эпоксидных, полиуретановых, латексных клеев.

#### Технические характеристики

• Прочность на сжатие, МПа	12—30
• Адгезия к бетону, МПа	2,5—3,5
• Морозостойкость, циклы	100—200
• Атмосферостойкость, циклы, не менее	100
• Водостойкость, не менее	0,95

Цвет клея — от серого до черного. Пигментированный клей имеет различные цвета.

Пасты "АМС", крем "Экорт" и клей "КМК" нетоксичны, пожаро-, взрыво- и экологически безопасны.

Предлагаются: научно-техническая документация, техническая помощь, поставка крема "Экорт" и клея "КМК".

Обращаться: 111524, Москва, ул. Плеханова, 7; тел. (095) 306-34-11, 176-75-05,  
Топильский Г.В., Фролова Л.Н.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Арматура

- Мадатян С.А.* Общие тенденции производства и применения обычной и напрягаемой арматуры . . . . . 2
- Одесский П.Д., Зборовский Л.А., Абашева Л.П.* О теоретических основах повышения прочности арматурной стали нового поколения . . . . . 5
- Асланова Л.Г., Реснянский О.А.* Основные эксплуатационные свойства новых видов неметаллической арматуры . . . . . 9
- Шапиро И.С., Куликов Г.А.* Повышение эффективности сварки под флюсом закладных деталей . . . . . 12
- Рожненко М.Д.* Арматурные работы в монолитном железобетоне на стройках Москвы . . . . . 14

### Конструкции

- Ходжаев А.А.* Деформативность железобетонных элементов, подверженных различным режимам нагружения . . . . . 15

### В помощь проектировщику

- Таратута М.Г., Клейменов В.А.* К расчету трещиностойкости пространственно работающих плит перекрытий . . . . . 17

### Теория

- Забегаетов А.В., Тамразян А.Г.* О влиянии внутренней влаги на деформативность бетона . . . . . 21

### В порядке обсуждения

- Сизов В.П.* О методах испытания морозостойкости бетона . . . . . 24

### Зарубежный опыт

- Серых Р.Л.* Физико-технические свойства высокопрочного товарного бетона . . . . . 27

### Информация

- Орловский Ю.И.* IV Международный симпозиум по применению полимеров в бетоне . . . . . 29

### В помощь заводским лабораториям

- Удачкин И.Б., Халтахчи Г.К., Халтахчи С.В., Афанасьева В.Ф., Липская Л.Ф., Гуськова Л.А.* Неразрушающие методы контроля прочности и однородности бетона . . . . . 31



## Общие тенденции производства и применения обычной и напрягаемой арматуры

Арматура железобетонных конструкций является одним из видов продукции, объем производства которой не уменьшается, а требования к качеству непрерывно возрастают. В 1995 г. выпуск арматурной стали всех видов для обычного железобетона по России составил около 6 млн. т (внутреннее потребление 2,5—3 млн. т и 3—3,5 млн. т — экспорт в различные страны мира). Одновременно Россия импортирует не менее 1,5 млн. т арматуры из Украины, Белоруссии, Молдавии и Литвы.

Основными тенденциями мирового развития арматуры для обычных железобетонных конструкций являются:

повышение прочностных свойств до уровня класса А500С, т.е. до  $\sigma_T \geq 500$  Н/мм<sup>2</sup>;

обеспечение гарантированной свариваемости за счет ограничения содержания углерода до 0,24% и углеродного эквивалента  $C_e$  до 0,52%:  $C_e = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/6$ , где С, Мп, Сг, Мо, V, Ni, Cu — содержание соответственно углерода, марганца, хрома, молибдена, ванадия, никеля и меди в %;

полная унификация, т.е. переход на единый класс арматуры: В500 по EN 10080 (ЕС) или А500С по российскому стандарту Ассоциации стандартизации в черной металлургии СТО АСЧМ 7-93 независимо от способа производства и диаметра (от 5 до 40 мм);

повышение надежности, долговечности и улучшение совместной работы арматуры с бето-

ном за счет качества самой стали и перехода на единый (серповидный) профиль.

Европейским стандартом EN 10080 [1] предусмотрен выпуск и применение в странах ЕС только одного класса арматуры для железобетонных конструкций — В500 с пределом текучести не менее 500 Н/мм<sup>2</sup>. В России нормативные требования к этой арматуре (класс А500С) установлены стандартом СТО АСЧМ 7-93 и ТУ 14-1-5254-94. Основные требования к ее химическому составу приведены в табл. 1.

Основные данные по механическим свойствам этого класса стали приведены в табл. 2.

В России и Белоруссии за последние 5 лет проведены комплексные исследования технологии производства и эксплуатационных свойств такой арматурной стали, получаемой холодной прокаткой или волочением, диаметром 5—12 мм и путем термомеханического упрочнения рядовых углеродистых сталей марок 20, Ст3 и т.п. с дополнительным легированием стержней с естественной композитностью структуры диаметром 8—25 мм [2, 3].

Учитывая сложности внедрения новых материалов на внутреннем рынке, большая часть этой арматурной стали поставлялась как А400С (стержневая)

или Вр-1 (проволочная). Стержневая арматура этого класса освоена производством на Запсибметкомбинате (ЗСМК), где в 1995 г. ее было выпущено 918,6 тыс. т, и на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ), где сталь класса А500С диаметром 10—16 мм является с 1994 г. основной продукцией.

Исследования, проведенные НИИЖБом, показали, что арматурная сталь диаметром 10—16 мм, выпускаемая БМЗ, полностью отвечает требованиям к стали класса А500С. Сталь производства ЗСМК диаметром 10—25 мм нуждается в доработке, но тоже, как правило, отвечает требованиям СТО АСЧМ 7-93 к стали этого класса.

Фактические механические свойства стали класса А500С приведены в табл. 3, а диаграмма растяжения показана на рисунке.

Испытания на выносливость, изгиб, изгиб с последующим разгибом этой арматуры показали соответствие ее требованиям СТО АСЧМ 7-93 и EN 10080.

Контактно-стыковая, контактно-точечная в крест, дуговая продольными фланговыми швами с накладками и рельефно-контактная сварка не приводит к заметному снижению прочности этой стали, хрупких разрушений не наблюдалось. При сварке

Таблица 1

Химический состав, %, не более						
Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера	Азот	Углеродный эквивалент
0,22	0,90	1,60	0,050	0,050	0,012	0,50
(0,24)	0,95	(1,70)	0,055	0,055	(0,013)	(0,52)

Примечания: 1 — для стержней диаметром более 32 мм допускается увеличение содержания углерода до 0,26% (0,27%) и углеродного эквивалента до 0,55% (0,57%); 2 — в скобках приведено содержание химических элементов в готовом прокате.

Приводимые цифры носят экспертный характер, так как статистическими данными мы не располагаем.

Таблица 2

Характеристика	Единица измерения	Значения характеристик	Вероятность обеспечения
Номинальный диаметр, $d_n$	мм	6—40	—
Предел текучести, $\sigma_T$ или $\sigma_{0,2}$	Н/мм <sup>2</sup>	Не менее 500	0,95
Временное сопротивление, $\sigma_B$	Н/мм <sup>2</sup>	Не менее 600(550)	0,95
Относительное удлинение ( $\delta_5$ ) после разрыва	%	Не менее 14	0,95
Размах напряжений $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ при испытаниях на усталость при $\sigma_{\max} = 300$ Н/мм <sup>2</sup> и числе циклов $2 \cdot 10^6$	Н/мм <sup>2</sup>	200	0,9
Диаметр оправки при испытании на изгиб до угла 160—180° арматуры диаметром:			
от 6 до 10 мм от 12 до 20 мм от 22 до 40 мм	мм	$3d_n$ $5d_n$ $6d_n$	0,99
Диаметр оправки при испытании на изгиб до угла не менее 90° и разгиб до угла не менее 20° арматуры диаметром 6—40 мм	мм	$5d_n - 10d_n$	—

втавр под флюсом средняя прочность  $\sigma_B = 586$  Н/мм<sup>2</sup> при изменчивости от 512 до 642 Н/мм<sup>2</sup>. Ванная сварка этой стали требует применения несъемных стальных скоб. Высокая пластичность стали класса А500С обеспечивает возможность использования ее также в качестве монтажной арматуры, в том числе в монтажных петлях.

По результатам исследований НИИЖБ рекомендует повсеместную замену всех видов арматуры на сталь класса А500С. За счет более высокого предела текучести расчетные сопротивления этой стали на 14% выше, чем у стали класса А400 (А-III), и средняя ожидаемая экономия составит около 10%. Однако до сих пор не решена проблема проектной документации, поэтому строители и предприятия стройиндустрии применяют эту сталь как арматуру класса А400С.

Возвращаясь к зарубежному опыту, отметим, что даже для хорошо свариваемой стали класса А500С сварку на монтаже практически не применяют. Для этого используют резьбовые соединения, опрессовку соединительных муфт или стержневую арматуру винтового профиля [3, 4].

По выпуску преднапряженного железобетона и объемам производства и применения напрягаемой арматуры б. СССР значительно превосходил все остальные страны мира вместе взятые [3]. В настоящее время предприятия стройиндустрии испытывают затруднения с приобретением напрягаемой и прежде всего стержневой арматуры классов А-V и Ат-V, объем производства которой снизился с 1100 тыс. т в 1990 г. примерно до 400 тыс. т в 1995 г., в том числе в России с 500 до 150—200 тыс. т в год.

Одной из причин такого положения является нехватка и значительная дороговизна легирующих материалов. Сравнение химического состава отечественной (по ГОСТ 10884 и ГОСТ 5781) и зарубежной напрягаемой стержневой арматуры с пределом текучести 800—900 Н/мм<sup>2</sup>, производимой в Германии и Японии (табл. 4), показывает, что суммарное мини-

Таблица 3

Показатель	Характеристика механических свойств				
	$\sigma_T$ ( $\sigma_{0,2}$ )	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\delta_p$	$Agt^*$
	Н/мм <sup>2</sup>		%		
Средние $\bar{X}$	601	689	25	10	10,3
Среднеквадратичные отклонения	39	22	2	1,8	1,8

\*  $Agt$  — относительное удлинение перед разрывом.

Таблица 4

Страна-изготовитель и номер стандарта	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	Диаметр, мм	Химический состав, %					
				C	Si	Mn	Cr	S	P
				не более					
СНГ, ГОСТ 5781	800	1050	10—40	0,19—0,26	0,4—0,7	1,4—1,7	1,35—1,7	0,045	0,045
СНГ, ГОСТ 10884	800	1000	10—32	0,17—0,32	1,0—1,5	0,6—1,5	—0,3	0,04	0,04
Япония 3109	780 910	1030 1080	10—32	0,45—0,8	0,15—1,0	0,45—1,5	0 1,0	0,03	0,035
Германия	835 900	1030 1100	12—36	0,65—0,80	0,15—0,85	0,5—1,7	—	0,035	0,035

Предел текучести по Евронормам принимается равным  $\sigma_{0,1}$

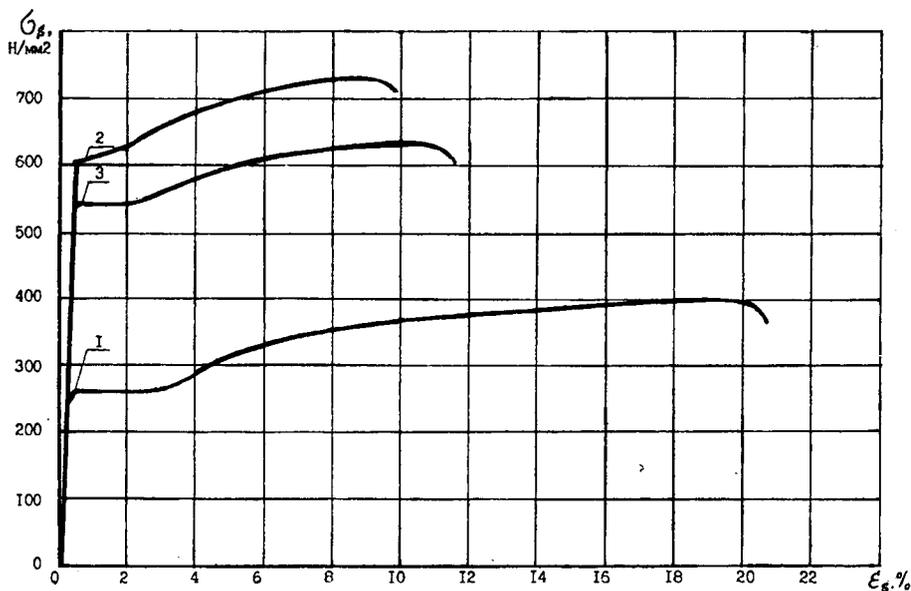


Диаграмма растяжения стали класса А500С  
1 — исходная сталь Ст3; 2, 3 — сталь класса А500С

мально допустимое содержание легирующих добавок в отечественных материалах в 1,34—4,2 раза больше, чем в зарубежной стали аналогичной прочности, а содержание углерода, напротив, в 2,6—3,8 раза ниже.

Такое положение было связано с необходимостью стыкования сваркой стержней напрягаемой арматуры. Сейчас эта проблема не так актуальна, поскольку из-за высокой стоимости электроэнергии методы стыкования без сварки становятся более эффективными. Поэтому НИИЖБ совместно с рядом металлургических заводов страны предполагает разработать в ближайшее время экономичные углеродистые термомеханически упрочненные стали классов Ат800 и Ат1000 для обеспечения строительства в требуемом объеме.

Основные тенденции развития напрягаемой арматуры за рубежом таковы:

повышение качества и долговечности стальной проволочной, канатной и стержневой арматуры;

постепенное освоение высокопрочной неметаллической арматуры из углеродных, арамидных и других волокон;

применение новых технологий и оборудования для предна-

ряжения арматуры и изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций, обеспечивающих более высокую их безопасность и долговечность.

Повышение качества напрягаемой арматурной стали выражается в улучшении комплекса физико-механических свойств, в частности в повышении пределов упругости ( $\sigma_{0,01}$ ) и текучести ( $\sigma_{0,1}$  или  $\sigma_{0,2}$ ) и уменьшении релаксации напряжений с одновременным возрастанием стойкости против коррозионных воздействий. Соответствующие требования установлены в техническом докладе ФИП "Напрягаемые арматурные элементы", а также в Евростандарте EN 10138 "Напрягаемая сталь", в стандарте ИСО 6934 "Сталь для преднапряжения" и в национальных стандартах США, Японии и других стран.

По сравнению с отечественным общий уровень прочностных свойств всех видов напрягаемой арматуры за рубежом несколько выше. Особенно это относится к высокопрочной проволоке и арматурным канатам, где эта разница составляет 5—10%. В стандартах на эту продукцию предусмотрены испытания не только механических свойств на растяжение, но также на растяжение

с изгибом, релаксацию, выносливость и коррозионную стойкость.

В последние годы проведены многочисленные исследования и начато промышленное производство неметаллической стержневой и канатной напрягаемой арматуры из арамидных, углеродных и специальных стеклянных волокон. При диаметре напрягаемой арматуры из углеродных волокон от 3 до 4 мм ее временное сопротивление составляет соответственно 2000—1423 Н/мм<sup>2</sup> при объемной массе в 5 раз ниже, чем у стали [5]. Несмотря на существенно большую цену эти материалы находят все более широкое применение в реальном строительстве. Ожидается, что в ближайшее десятилетие, при освоении массового производства их стоимость уменьшится до уровня высокопрочной стали.

Становится все более очевидным, что развитие новых технологий и конструктивных решений преднапряженных железобетонных конструкций с натяжением арматуры на бетон связано с необходимостью обеспечения долговечности таких сооружений, как мосты, виадуки и др. Поэтому все чаще используются системы натяжения без сцепления с бетоном с защитной смазкой напрягаемой стали. Широко применяются арматурные канаты с эпоксидным покрытием, оцинкованная высокопрочная проволока и специальное оборудование для их натяжения и анкеровки.

Проводимые НИИЖБом исследования и практическое освоение производства и применения в железобетонных конструкциях новых материалов и технологий арматурных работ уже дали значительный экономический эффект. Большая часть этих результатов была изложена в докладах на 3-й научно-технической конференции Ассоциации "Железобетон" по проблеме "Арматура — свойства и применение" [6], прошедшей в мае 1996 г. в НИИЖБе.

Для действительно повсеместного перехода на новые материалы и технологии, соответствующие мировым показателям, необходимо:

осуществить разработку и выпуск комплекса российских стандартов, устанавливающих требования к обычной и напрягаемой арматуре, а также к качеству и долговечности железобетонных конструкций и методам контроля этого качества в соответствии с нормами ИСО и EN;

начать промышленное производство неметаллической высокопрочной арматуры из углеродных и арамидных волокон в соответствии с мировым опытом;

обеспечить техническое перевооружение основных производителей арматуры в России, в част-

ности, оснастить их установками термомеханического упрочнения стали в потоке проката и др.;

создать систему государственного стимулирования экономики металла и энергозатрат, а также страхового стимулирования качества и долговечности как готовых зданий и сооружений, так и материалов, применяемых при их строительстве.

#### Библиографический список

1. Европейский стандарт EN 10080 "Сталь для армирования бетона. Свариваемая арматурная сталь периодического профиля В500. Технические требования для

стержней, бунтов и сварных сеток", 1995, Брюссель (пер. с англ.).

2. М а д а т я н С.А., Морозов С.И., Д е м ч е н к о Е.М. Новая свариваемая арматура класса А400С//Бетон и железобетон. — 1995. — № 2.

3. М а д а т я н С.А. Стержневая арматура железобетонных конструкций (обзорная информация) М.: ВНИИТПИ, 1991.

4. М а д а т я н С.А. О работе технической комиссии ФИП "Напрягаемые материалы и системы"/Бетон и железобетон. — 1996. — № 6.

5. High-strength Fiber Composite Tensile Elements for Structural Concrete. FIP. Commission on Prestressing Steels and Systems. 1991. Ассоциация "Железобетон".

6. Тезисы докладов на 3-й научно-технической конференции. М., 1996, 77 с.

УДК 691.87

П.Д. ОДЕССКИЙ, Л.А. ЗБОРОВСКИЙ, Л.П. АБАШЕВА

## О теоретических основах повышения прочности арматурной стали нового поколения

Идея создания арматурной стали с естественной композитной структурой оказалась эффективной при формировании в сечении стержней неоднородности по типу так называемой "конструктивной анизотропии" [1]. На поверхности стержней создается твердый слой, как бы "натягивается" прочный "чулок", повышающий эксплуатационные свойства материала.

Формирование в стержневой арматуре естественной композитной структуры описываемого типа происходит при упрочняющей термомеханической обработке в потоке стана с применением метода прерванной закалки [2—4]. Таким образом производится стержневая арматура нового поколения А400С и А500С, используемая в строительстве не только для армирования железобетонных конструкций, но и как материал для монтажных петель.

В настоящей работе обсуждаются наиболее общие зависимости между эксплуатационны-

ми свойствами и структурно-дислокационными механизмами упрочнения рассматриваемого проката.

При исследовании макроструктуры обсуждаемой стали было установлено (рис. 1), что во всех случаях в небольшом поверхностном слое толщиной около 2 мм наблюдается повышенная твердость по Виккерсу (220...270 НВ), в сердцевине образца твердость ниже и составляет около 170 НВ. Для относительно небольших диаметров стержней переходный слой минимален (рис. 1, а), в случае крупных стержней переходный слой развит сильно и составляет примерно 3 мм на сторону (см. рис. 1, б).

В поверхностных слоях стержней с рассматриваемой макроструктурой формируются существенные сжимающие остаточные напряжения (примерно  $100 \text{ Н/мм}^2$ ), положительно влияющие на ряд важнейших эксплуатационных свойств: хладо-

стойкость, выносливость, сопротивление коррозионным воздействиям и ряд других.

По микроструктуре поверхностные слои стержней и сердцевина имеют следующие основные отличия: в сердцевине, как правило, формируется микроструктура, образовавшаяся при превращении  $\gamma \rightarrow \alpha$  по нор-

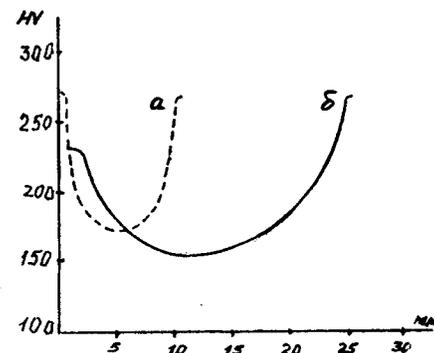


Рис. 1. Распределение твердости (НВ) по сечению арматурных стержней, термически обработанных в потоке стана. Твердость в сечении стержней № 10 (а) и № 25 (б)

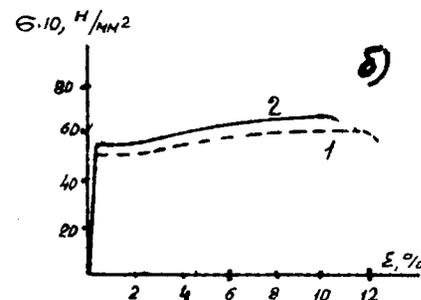
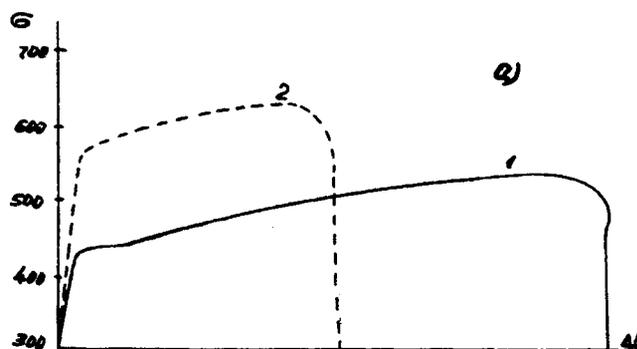
мальной, диффузионной кинетике — в зависимости от диаметра и прочности стержней. Это ферритоперлитная смесь различной дисперсности, квазиэвтектоид и т.п. Поверхностные слои в типичном случае имеют микроструктуру мартенсита отпуска, промежуточный слой — отпущенного бейнита.

Описываемые слои материала различаются также по тонкой структуре (дислокационное строение, плотность дисперсных карбидов, величина субзерен и т.п.), обычно изучаемой методами трансмиссионной электронной микроскопии. Например, в изучаемом нами случае в поверхностных слоях имеет место тонкая структура, типичная для продуктов отпуска пакетного мартенсита. При этом средняя ширина реек составляет 0,40 мкм, основная масса реек имеет ширину 0,20—0,25 мкм, но наблюдаются рейки шириной 1—2 мкм, занимающие 10—20% объема металла. В структуре центральных слоев, представляющих собой, как правило, тонкую ферритоцементную смесь, плотность дислокаций существенно ниже. В промежуточном слое наблюдается характерная структура с повышенной плотностью дислокаций, свидетельствующая о развитии здесь пластических деформаций, возникающих, по-видимому, при охлаждении стержней.

Наблюдаемая в рассматриваемом металле высокая прочность ( $\sigma_T \geq 400 \text{ Н/мм}^2$ ) обусловлена действием различных по своей природе механизмов упрочнения на атомно-дислокационном и структурном уровнях: 1 — упрочнение феррита при легировании; 2 — упрочнение за счет дисперсных карбидных или карбонитридных частиц; 3 — упрочнение благодаря повышению плотности дислокаций; 4 — зернограничное или субзернограничное упрочнение.

Ранее было установлено [5, 6], что в строительных сталях любого химического состава в зависимости от обработки и структуры доминирующее влияние может оказывать один из двух следующих механизмов упрочнения: 1 — за счет высокой плотности дислокаций (стали после

Рис. 2. Диаграммы  $\sigma - \epsilon$  проката со структурой типа конструктивной анизотропии  
а — металл сердцевинный (1) и поверхностного слоя (2); б — металл с пределом текучести ( $\text{Н/мм}^2$ ): 500 (1) и 550 (2)



наклепа, после закалки с последующим низко- или среднетемпературным отпуском и т.п.); 2 — зернограничный или субзернограничный механизмы упрочнения (структуры, сформировавшиеся по нормальной кинетике, — феррито-перлитная смесь, вырожденный перлит, квазиэвтектоид и т.п., а также после закалки с последующим высокотемпературным отпуском). Во втором случае в прокате имеет место высокое сопротивление хрупким разрушениям. Соответственно при возрастании прочности наблюдается одновременный рост сопротивления хрупким разрушениям. При доминировании первого механизма имеет место обратная картина — чем выше прочность проката, тем больше его склонность к хрупким разрушениям различного рода.

В рассматриваемой нами новой арматурной стали во внешнем твердом слое преобладает механизм упрочнения вследствие высокой плотности дислокаций, в осевой части сечения — зерно- или субзернограничный механизм упрочнения. Центральным моментом обсуждаемой нами проблемы является вопрос, какой характер работы под нагрузкой будет иметь рассматриваемая стержневая арматура с компози-

ционной структурой. При этом важным классификационным признаком является форма диаграммы  $\sigma - \epsilon$ . Известно [7], что даже в одном стержне из строительной стали при формировании структуры с доминирующим зернограничным механизмом упрочнения имеет место форма диаграммы  $\sigma - \epsilon$  с площадкой текучести. В случае же доминирования механизма упрочнения за счет высокой плотности дислокаций наблюдается "криволинейная" форма этой диаграммы без площадки текучести, с относительно низким отношением  $\sigma_{0,01} / \sigma_{0,2} = 0,6$  и невысокой пластичностью.

Прямые испытания показали, что металл внешних слоев имеет диаграмму  $\sigma - \epsilon$  криволинейной формы, а металл середины сечения — диаграмму с площадкой текучести (рис. 2, а).

При испытаниях целых стержней наблюдаются обе ситуации в зависимости от прочности стержней, их сортамента, режимов обработки и, в конечном счете, от того, какой из механизмов упрочнения окажется доминирующим в данном случае. На рис. 2, б представлены диаграммы  $\sigma - \epsilon$  стержней из рассматриваемой стали с  $\sigma_T \leq$

Таблица 1

Номер стержня	Прочностные характеристики				Относительное удлинение, %	
	$\sigma_{0,02}$	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\delta_{равн}$
	Н/мм <sup>2</sup>					
№ 12	518	545	590	720	20	6
№ 12	386	425	552	709	20	5,4
№ 16	477	542	558	645	20	6,4
№ 16	501	536	550	672	22,5	6,4
№ 22	471	528	527	711	20,4	6,4
№ 22	481	528	586	709	20,6	8,0

550 Н/мм<sup>2</sup>; на диаграммах хорошо видна достаточно развитая площадка текучести 2%.

При испытаниях других партий этой же стали с  $\sigma_T \geq 550$  Н/мм<sup>2</sup> физический предел текучести не наблюдался. Механические свойства, определяемые при растяжении арматуры (с  $\sigma_T \geq 550$  Н/мм<sup>2</sup>), термомеханически упрочненной в потоке стана, приведены в табл. 1.

При диаграмме с площадкой текучести рассматриваемая сталь более пластична (например, здесь  $\delta_{равн} \geq 10\%$ ); в случае же криволинейных диаграмм  $\delta_{равн} = 5...8\%$  (см. табл. 1).

С определенной долей условности применительно к рассматриваемой арматуре можно принять, что при наличии на диаграммах  $\sigma - \epsilon$  стержней площадки текучести доминирующим механизмом упрочнения будет зерно- или субзернограничный; при криволинейной форме диаграммы стержней доминировать будет механизм высокой прочности дислокаций. Действительно, повышение прочности упрочненной в потоке стана арматуры можно трактовать как следствие снижения температуры отпуска. В этом случае возрастает роль повышенной плотности дислокаций в работе стали под нагрузкой.

Видимо, при обычной работе арматурной стали как волокна в железобетоне оба типа поведения примерно равнозначны. Однако при работе арматурных стержней в экстремальных условиях (при температуре эксплуатации ниже минус 40°C, при сейсмических воздействиях, при опасности коррозии под напряжением, при использовании арматуры в качестве монтажных петель и в ряде других случаев) важным становится такое свойство стали, как достаточно высокое сопротивление хрупким разрушениям.

Как отмечалось в начале статьи, прокат с доминирующим зерно- и субзернограничным упрочнением не только имеет высокое сопротивление хрупким разрушениям, но оно может повышаться одновременно с увеличением прочности проката. Например, было показано [8], что в упрочненном в потоке стана прокате с конструктивной анизотропией при наличии диаграмм

$\sigma - \epsilon$  с площадкой текучести при повышении предела текучести с 400 до 500 Н/мм<sup>2</sup> одновременно возрастала ударная вязкость (при -70°C со 136 до 167 Дж/см<sup>2</sup>). Эти результаты получены при статистическом анализе приемосдаточных испытаний промышленных партий проката.

Известный принцип, которому необходимо следовать при разработке высокопрочной арматуры, заключается в том, что при повышении прочности проката работа разрушения не должна снижаться [9]. В нашем случае она может даже повышаться, в первую очередь при нагружении в условиях сложнонапряженного состояния.

Для оценки работы разрушения и хладостойкости нового вида арматуры проведены сравнительные испытания на ударный изгиб горячекатаной стали СтЗсп и упрочненной в потоке стана арматуры из стали СтЗпс (табл. 2). Оба материала имели форму диаграммы с площадкой текучести.

Для испытаний использовались образцы типа ЦНИПС

(рис. 3), где сложнонапряженное состояние металла, необходимое для разрушения образца при ударном изгибе, достигается наличием боковых надрезов. Выбор подобных образцов диктуется тем, что на хладостойкость профилей, упрочненных в потоке стана, может влиять состояние упрочненного поверхностного слоя. Критическую температуру вязкохрупкого перехода и условный порог хладноломкости определяли, как это принято, при испытании арматурных стержней, по критерию работы разрушения  $KC \geq 5,0$  кг·см.

Полученные результаты (см. табл. 2) показали, что при нормальной температуре и даже при минус 20°C новая сталь высокой прочности с  $\sigma_T = 500$  Н/мм<sup>2</sup> имеет примерно одинаковую работу разрушения со сталью обычной прочности. При минус 40°C на стали обычной прочности наблюдаются случаи практически полностью хрупкого разрушения (работа разрушения близка к нулю), что характерно для изделий из горячекатаной стали типа СтЗсп. Упрочненные в потоке стана стержни

Таблица 2

Марка стали и состояние поставки стержней	СтЗсп, горячая прокатка			СтЗпс, упрочнение в потоке стана		
$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	460			660		
$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	290			490		
$\delta$ , %	30			22		
$\delta_{равн}$ , %	19			10		
Работа разрушения КС, кг·см, при температуре, °C						
+20	9,5	9,8	15,6	13,4	10,2	8,4
+20	6,8	10,8	13,2	9,8	9,0	9,4
-40	6,2	0,6	0,8	8,2	11,0	9,8
-60	0,8	0,6	0,6	10,6	6,8	11,0
-70	0,6	0,8	0,6	7,4	5,0	6,6

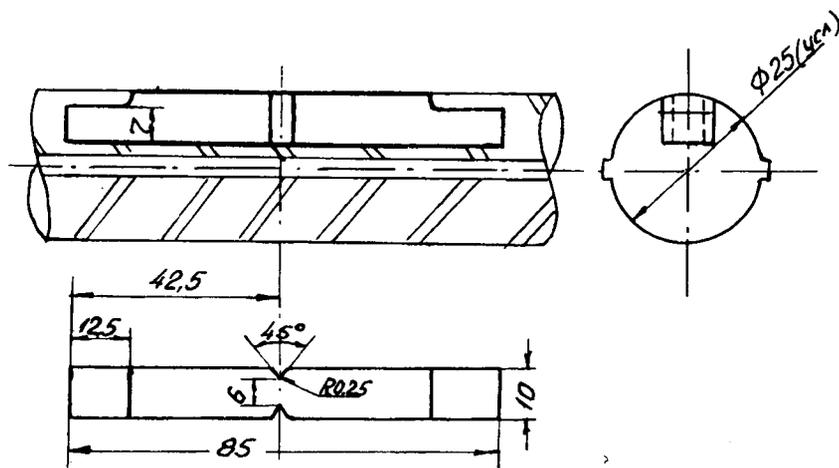


Рис. 3. Схема вырезки и размеры образца типа ЦНИИПС, изготовленного из арматурного стержня № 25 для испытания на ударный изгиб

жни из полуспокойной стали СтЗпс гораздо более хладостойки: даже при минус  $70^{\circ}\text{C}$   $KC^{-70} \geq 5,0$  кг · см.

Приведенный пример показывает, что новую сталь со структурой естественного композита можно рекомендовать даже для применения в монтажных петлях, воспринимающих динамические нагрузки, в том числе при строительстве на Севере при температурах ниже минус  $40^{\circ}\text{C}$ . Поверхностный слой твердого материала с высокой плотностью дислокаций резко повышает сопротивление хрупким разрушениям арматурных стержней, но лишь в случае общего доминирования субзернограничного механизма упрочнения.

Наконец, следует также отметить, что рассматриваемые стержни с композитной структурой в случае доминирующего влияния субзернограничного механизма упрочнения обладают гораздо большей способностью поглощать энергию колебаний, чем стержни с равномерным распределением свойств по сечению [10]. Происходит это благодаря известному эффекту увеличения внутреннего трения в сталях при наличии в них ярко выраженной сложной структуры. Высокая депфирующая способность сталей с структурой типа конструктивной анизотропии делает перспективным применение рассматриваемой арматуры в каркасах зда-

ний, возводимых в районах с сейсмической активностью.

#### Выводы

1. Стержневая арматура нового поколения А400С и А500С, упрочняемая методами ТМО в потоке станов, приобретает после обработки специфическую слоистую макроструктуру по типу конструктивной анизотропии. Поверхностный слой существенно тверже сердцевины, тонкая структура поверхностного слоя характеризуется высокой плотностью дислокаций; в сердцевине плотность дислокаций как минимум на 1—2 порядка меньше.

2. Сформулирован принцип доминирующего влияния двух дислокационно-структурных механизмов упрочнения на работу в конструкциях новых арматурных сталей. В случае доминирующего влияния высокой плотности дислокаций диаграмма  $\sigma - \epsilon$  стали имеет криволинейную форму без площадки текучести. При доминировании зерно- или субзернограничного механизма упрочнения на диаграммах  $\sigma - \epsilon$  наблюдается площадка текучести.

3. Арматура А400С и А500С с доминирующим действием зернограничного механизма упрочнения обладает высокими эксплуатационными свойствами при строительстве в районах с экстремальными климатическими воздействиями: низкой темпера-

турой, сейсмической активностью и даже при комбинации этих воздействий.

4. При дальнейших исследованиях необходимо решить вопрос о влиянии на несущую способность конструкций градиента свойств, имеющего место в слое, промежуточном между поверхностным твердым и относительно мягкой сердцевиной. Возможно, следует рассмотреть также вопрос о небольшой корректировке химического состава хладостойкой стали А500С в сторону некоторого увеличения ее легированности.

#### Библиографический список

1. Федорченко И.М. Композиционные материалы/Энциклопедия неорганических материалов. т. 1. — Киев, гл. ред. Украинской советской энциклопедии. — С. 609—611.
2. Кутушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В. и др. Высокопрочная арматурная сталь. — М.: Металлургия, 1986. — С. 272.
3. Мадатян С.А., Морозов С.И., Демченко Е.М. Новая свариваемая арматура класса А400С//Бетон и железобетон. — 1995. — № 2. — С. 8—10.
4. Черненко В.Т. Развитие производства термомеханически упрочненной арматурной стали в России и странах СНГ//Тезисы докладов на 3-й научно-технической конференции. Ассоциация "Железобетон". — М.: 1996. — С. 13.
5. Одесский П.Д. Конструктивная прочность сталей для металлических конструкций, методы ее оценки и пути повышения//Методы повышения конструктивной прочности металлических материалов. — М.: МДНТП, 1988. — 57—61.
6. Одесский П.Д. Обеспечение высокого сопротивления вязкому и хрупкому разрушению термически упрочненного проката//Сб. "Стали повышенной прочности и хладостойкости для металлических конструкций. Труды ин-та/ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. — 1987. — М., С. 80—94.
7. Тылкин М.А., Большаков В.И., Одесский П.Д. Структура и свойства строительной стали. — М.: Металлургия, 1983. — 287 с.
8. Одесский П.Д., Черненко В.Т. Фасонный прокат высокой прочности с конструктивной анизотропией//Миротом. — 1992. — № 8. — С. 13—18.
9. Simon P., Ecomopolis M., Muller P. Tempreore Anewprocess for the production of high-quality reinforg bars/Iron and Steel-Engineer. — 1984. March. P. 53—57.
10. Узлов И.Г., Черненко В.Т., Пучиков А.В. и др. Оценка равноценности замены горячекатаной низколегированной стали термомеханически упрочненной углеродистой. — М.: Черметинформация, 1996. (Обзор информ. Сер.: Металловедение и термическая обработка). — Вып. 1. — 18 с.

## Основные эксплуатационные свойства новых видов неметаллической арматуры

На протяжении последних лет в России широко занимаются проблемой создания и исследования новых эффективных видов неметаллической арматуры (НМА) с последующим внедрением ее в строительство. Эти работы ведутся по двум направлениям. Первое включает создание, изучение и промышленное внедрение стержневой композиционной неметаллической арматуры (СКНА). Второе связано с изучением высокопрочной волокнистой ленточной арматуры типа "Арапри", изготавливаемой без применения полимерных связующих. Большие успехи достигнуты по первому направлению.

СКНА представляет собой классический вид конструкционного композиционного материала. Сама композиция (во всех ее сочетаниях) в основном состоит из матрицы (или связующего) и заполнителя, склеенных в единое целое. Матрица — материал, характеризующийся, в частности, следующими конструктивными и технологическими особенностями:

сравнительно низкой прочностью (модулем упругости) в сравнении с материалом заполнителя;

высокой пластичностью при формовании и хорошей адгезией к материалу заполнителя; химстойкостью и т.д.

Заполнитель же представляет собой непрерывный пучок продольных волокон. Материал заполнителя (волокно) должен обладать высоким модулем упругости. Таким образом, возможные сочетания или композиции могут выбираться из условий экономичности (прежде всего), конструктивности и т.п. требований.

В зависимости от применяемого волокна (стеклянного, базальтового, арамидного, углеродного) арматура подразделяется на стеклопластиковую (СПА), базальтопластиковую (БПА), арамидопластиковую (АПА) и углепластиковую (УПА). СКНА изготавливается разного диаметра (3—20 мм) и может быть как гладкой, так и периодического профиля. Особенностью технологического процесса получения арматуры является его непрерывность. Все технологические операции по производству СКНА (пропитка волокна раствором полимерного связующего, удаление инертных растворителей, формирование стержня и его отверждение) тесно взаимосвязаны.

Исследования СКНА ведутся в России по следующим направлениям: повышение коррозионной стойкости СПА; создание новых видов СКНА, в том числе на основе базальтовых, углеродных и арамидных волокон. Особо следует отметить работы по созданию БПА, которая по своим свойствам не только не уступает СПА, но даже превосходит их, а по стоимости является наиболее дешевой из всех видов пересчитанных волокон. Работы по созданию БПА и применению ее в железобетонных конструкциях перспективны по следующим причинам:

запасы сырья для получения непрерывного базальтового волокна практически неограничены, а само сырье относительно дешево;

технология получения базальтового волокна принципиально не отличается от технологии изготовления стеклянных волокон, при этом исключается

операция по подготовке многокомпонентной шихты и превращению ее в расплав, а также отсутствует необходимость в формировании стеклянных шариков.

Для выпуска ненапрягаемой БПА могут быть использованы менее дефицитные, дешевые аппретирующие составы и связующие, что даст возможность снизить отпускные цены на арматуру.

Наиболее важной характеристикой СКНА для бетонных конструкций является химическая стойкость в среде твердеющего цементного камня. Нами проведены исследования химической стойкости волокон, чаще всего применяемых для создания НМА, в кислой, щелочной и нейтральной средах. Причем щелочная среда выбрана более жесткой, чем среда твердеющего бетона.

В качестве объектов исследований приняты две группы волокон: минеральные и химические. В первую группу вошли стеклянные и базальтовые волокна. Во вторую группу вошли углеродные и арамидные волокна. Исследования проводили на волокнах, обработанных специальными аппретирующими составами, и на волокнах без обработки аппретами. В качестве агрессивных сред использовали дистиллированную воду; 0,5Н водяные растворы NaOH и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. За основные оценочные критерии принимали изменение оптических характеристик, изменение хрупкости, изменения в микроструктуре (наличие трещин, зон поражения и их характер, размеры и распространение зон поражения).

Таблица 1

Волокна		Изменения массы, %, после 3-месячной выдержки в среде		
вид	тип	0,5 Н NaOH	0,5 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
стеклянные	алюмоборосиликатные РБТ-13-1680	5	Разрушение	0,5
	цирконийсодержащие Ц-15-ЖТ	2,1	1,9	1,8
	высокомодульные каолиновые ВМД-13-1200	4,2	2,6	2,6
базальтовые	НСБ9-330	3,0	18	1,5
aramидные	Терлон	1	1,5	1,8
	СВМ	2,5	1,5	1
углеродные	УКН-5000	2,7	2,1	1,6
	НТС-2500	разрушение	2,0	2,0

Таблица 2

Наименование показателя	Единица измерения	Значения показателей для неметаллической арматуры на основе волокон		
		цирконийсодержащих	базальтовых	алюмоборосиликатных
Степень полимеризации	%	80,7	9,0	83,0
Содержание связующего	%	18,8	21,8	16,0
Водопоглощение	%	0,20	0,20	0,20
Пористость	%	1,9	2,1	2,8
Коэффициент пропитки	—	0,98	0,97	0,97
Плотность	г/см <sup>3</sup>	2,11	1,9	2,10

Стеклянные волокна были трех типов:

алюмоборосиликатные волокна (тип Е) марки РБТ 13-1680; цирконийсодержащие волокна марки Ц-15-ЖТ; высокомодульные каолиновые волокна марки ВМД 13-1200. Базальтовые волокна представлены одним типом — волокно марки НСБ9-330.

В группу химических волокон вошли углеродные волокна двух типов — волокна марки УКН-5000 и НТС-2500; арамидные волокна также двух типов — марки СВМ и "Терлон". Диаметр волокон изменялся в пределах 13—25 мкм. Измерения выбранных параметров производили до и после выдержки волокон в растворах реагентов в течение 3 и 6 мес.

Результаты испытаний показали, что в процессе выдержки волокон в агрессивной среде происходит изменение основных характеристик (массы, прочности,

оптических показателей, морфологии) почти у всех волокон. Если в обычных условиях волокна были изотропными, мягкими и эластичными, то после воздействия коррозионной среды в них произошли различные структурные изменения и они поменяли цвет, толщину и структуру. В табл. 1 показаны изменения массы волокон в процессе их выдержки в коррозионной среде.

В группе минеральных волокон наиболее химически стойкими являются стеклянные цирконийсодержащие волокна марки Ц-15-ЖТ. У них отсутствуют значительные морфологоструктурные изменения. Затем идут стеклянные высокомодульные каолиновые волокна марки ВМД-13-1200. Следует отметить лучшее поведение этих волокон в кислой среде, чем в щелочной. Следующими идут базальтовые волокна, показавшие хорошую стойкость в щелочной среде, что важно при использовании их в

виде армирующего материала в бетоне и железобетоне. И последнее место занимают стеклянные алюмоборосиликатные волокна марки РБТ-13-1680, которые полностью разрушились в кислой среде.

Следует отметить высокую химическую стойкость арамидных волокон марки "Терлон". Поведение арамидных волокон марки СВМ и углеродных волокон марки УКН-5000 в агрессивной среде почти одинаково. Углеродные волокна марки НТС-2500 полностью растворяются в растворе щелочи.

Изменения других характеристик (прочности, хрупкости, оптических свойств) у волокон до и после выдержки в агрессивной среде полностью соответствуют вышеописанной картине.

Следует отметить важную роль обработки волокна аппретурирующими составами перед их взаимодействием с агрессивной средой. Так, базальтовые волокна без аппретирования в 0,5 Н растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> разрушаются быстрее, чем обработанные замасливателем N14. Фазово-структурные изменения обработанных волокон также отличаются от структурных изменений, происходящих в базальтовых волокнах без аппретирования. Аппретированные базальтовые волокна хотя и меняют цвет, становясь белыми после выдерживания в 0,5 Н растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, но не становятся хрупкими и не превращаются в порошкообразную массу. Они лишь несколько распушаются, а их стойкость повышается на 15%.

На основе стеклянных цирконийсодержащих волокон марки Ц-15-ЖТ, алюмоборосиликатных волокон марки РБТ-13-1690 и базальтовых волокон марки НБВ-9-330 были изготовлены опытные партии НМА диаметром 6 мм на эпоксиэфенольном связующем. Полученные партии арматуры подвергли испытаниям с целью выявления и сравнения их основных эксплуатационных свойств — физико-химических,

механических и коррозионных. В табл. 2 приведены основные показатели физико-химических свойств разных видов НМА. Механические свойства НМА иллюстрируются данными табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о вполне удовлетворительной однородности НМА на основе разных волокон.

Для НМА основным критерием оценки ее коррозионной стойкости в агрессивных средах является прочность, так как она выражает непосредственную связь физико-химических и механических свойств. Следует также отметить, что использование прочностного критерия для оценки стойкости НМА связано с важнейшими конструктивными особенностями ее работы в эксплуатационных условиях.

Для определения химической стойкости использовали образцы НМА длиной 80 мм и диаметром 6 мм. Образцы погружали в поливиниловые емкости, заполненные агрессивными водянными растворами. Для поддержания постоянства pH этих сред в течение всего периода испытаний применяли буферные растворы тех же веществ и осуществляли постоянный контроль их плотности. В табл. 4 приведены результаты исследований коррозионной стойкости НМА на разных волокнах.

Самая высокая стойкость к воздействию растворов кислоты и щелочи имеет арматура на цирконийсодержащем волокне марки Ц-15-ЖТ. Коэффициент ее остаточной прочности после трех лет выдержки в агрессивных средах равен соответственно 1 и 0,9.

БПА имеет высокую стойкость в щелочной среде, коэффициент остаточной прочности после трехлетней выдержки равен 0,89, но значительно уступает арматуре на цирконийсодержащем волокне по стойкости в кислоте.

Применение специальных аппретирующих составов для обработки волокон может повысить

Таблица 3

Арматура на основе волокна	Число образцов	Временное сопротивление разрыву		Модуль упругости		Относительное удлинение	
		$\sigma$ (МПа)	Коеффициент вариации	E (МПа)	Коеффициент вариации	%	Коеффициент вариации
Цирконийсодержащего	60	1250	0,82	50 230	0,76	2,58	0,85
Базальтового	100	1400	0,75	60 850	0,80	2,4	0,75
Алюмоборосиликатного	100	1600	0,75	55 640	0,81	2,78	0,88

Таблица 4

Арматура на основе волокна	Исходная прочность, МПа	Коеффициент остаточной прочности после выдержки (в мес) в средах растворов					
		1N NaOH		1N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		H <sub>2</sub> O	
		6	36	6	36	6	36
Цирконийсодержащего	1181	1,0	1,0	0,99	0,9	1,0	1,0
Базальтового	1250	0,91	0,89	0,80	0,64	0,95	0,90
Алюмоборосиликатного	1400	0,86	0,78	0,73	0,3	0,9	0,89

Таблица 5

Номер замазливателя	Исходная прочность, МПа	Коеффициент остаточной прочности после выдержки (в мес) в растворах									
		1N NaOH					1N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
		3	6	9	12	24	3	6	9	12	24
78	1042	0,78	0,87	0,86	0,82	0,93	0,86	0,86	0,92	0,91	1
39	1181	1	1	0,93	1	1	1	0,99	1	1	0,9
4.	1172	0,98	0,9	0,82	0,89	0,75	0,97	0,85	0,96	0,93	0,98

адгезию волокна к полимерному связующему и значительно улучшить стойкость арматуры к действию вышеуказанных агрессивных сред. Нами были проведены исследования влияния различных аппретирующих составов на коррозионную стойкость СПА на цирконийсодержащем волокне марки Ц-15-ЖТ. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Наиболее высокую коррозионную стойкость в 1N растворе щелочи и кислоты имеет СПА на волокне, аппретируемом замазливателем N39.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что, обрабатывая волокна специальными растворами-замазливателя-

ми, можно добиться значительного повышения их коррозионной стойкости.

НМА на основе стеклянных и базальтовых волокон нашла применение в конструкциях из легких (ячеистых) бетонов, где стальную арматуру необходимо защищать от коррозии цинковыми или полимерными покрытиями, из арболита, в фундаментах, сваях, электролизных ваннах, балках и ригелях подвальных эстакад, в сборных конструкциях конденсаторных батарей, плитах крепления откосов, безизоляторных траверсах и в других конструкциях. Сейчас области применения такой арматуры могут быть расширены.

## Повышение эффективности сварки под флюсом закладных деталей

Широкое применение сварки под флюсом на предприятиях стройиндустрии для изготовления закладных деталей обуславливает целесообразность повышения эффективности данного технологического процесса. При этом наиболее распространенным сочетанием свариваемых элементов в жилищном строительстве являются арматура класса А-II диаметром 10 мм и плоский металлопрокат толщиной 8 мм. Задачи дальнейшего совершенствования производства закладных деталей, изготавливаемых с применением сварки под флюсом, могут быть сведены к решению вопросов, связанных со снижением металлоемкости, уменьшению энергопотребления и повышению качества сварного соединения.

При решении этих задач КТБ ЖБ совместно с заводом на основе общих закономерностей формирования сварного соединения разработаны и предложены мероприятия по их практической реализации на используемом заводе сварочном оборудовании при сохранении достигнутого уровня производительности труда. Обеспечение всех задач, определяющих повышение эффективности выполнения сварочных работ, стало возможным благодаря совершенствованию схемы управления используемых сварочных трансформаторов.

Несмотря на то что по условиям несущей способности и коррозионной стойкости закладных деталей, используемых в жилищном строительстве, тол-

щина плоского металлопроката может составлять 6 мм, технологические возможности трансформаторов ТДФЖ-2002 и ТДФЖ-1002, применяемых в стройиндустрии, обуславливают необходимость ее увеличения до 8 мм. При меньших значениях толщины плоского элемента неизбежно либо его прожигание, либо несоответствие прочностных показателей сварного соединения требованиям ГОСТ 10922-90.

Нами предложена и реализована модернизация существующего оборудования, которая обеспечивалась путем изменения схемы управления сварочных трансформаторов указанных марок. Это позволило привести их внешние вольт-амперные харак-

теристики, которые характеризуют изменение напряжения на выходе трансформаторов от величины рабочего тока, в соответствии со специфическими особенностями сварки закладных деталей (рис. 1). В результате расширились технологические возможности сварочных трансформаторов, они стали более многофункциональными. Появилась возможность обеспечения у этих трансформаторов наряду с так называемыми "жесткими" характеристиками, которые необходимы для сварки под флюсом листовых конструкций проволочным электродом (для которой эти трансформаторы и предназначены), так называемых "падающих" характеристик, которые отвечают требованиям вы-

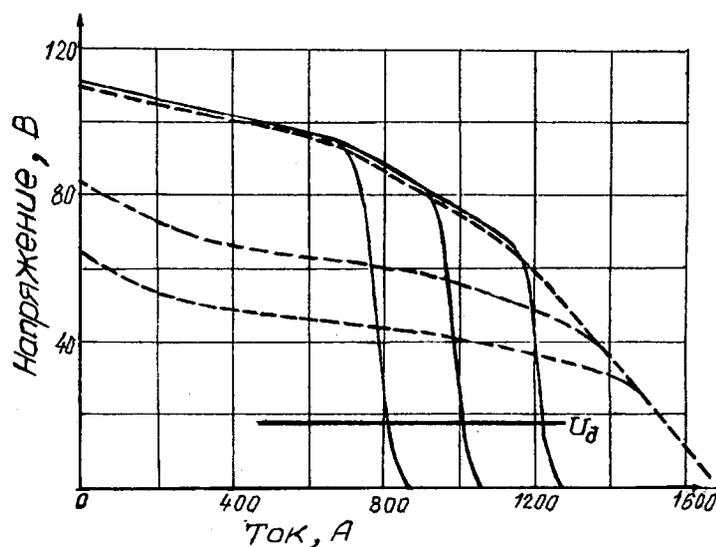


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики сварочного трансформатора для сварки закладных деталей

--- в существующем виде; — после модернизации

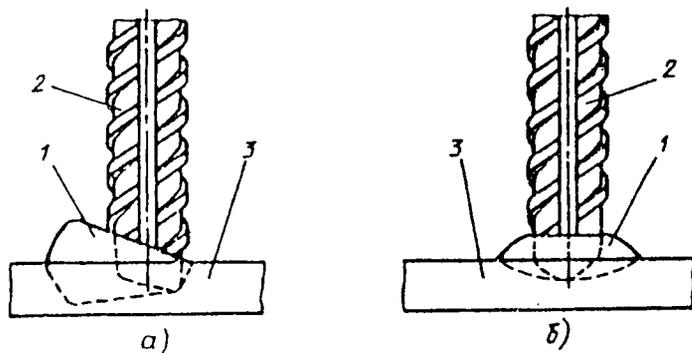


Рис. 2. Форма сварного соединения при традиционно применяемом процессе сварки закладных деталей под флюсом (а) и при усовершенствованном с использованием модернизированного трансформатора (б)

1 — валик наплавленного металла; 2 — анкер; 3 — плоский элемент

полнения сварки под флюсом закладных деталей.

К этим особенностям относится то, что в течение одного цикла протекания тока его величина дважды достигает значения тока короткого замыкания, а также то, что при выполнении сварки на станках с ручным управлением неизбежны значительные колебания длины дуги, которые обуславливают соответствующие изменения ее напряжения. Это соответственно определяет возможные колебания тока, величина которых, в свою очередь, зависит от формы внешних характеристик сварочного трансформатора.

Трансформаторы с падающими характеристиками всегда обеспечивают большую стабильность поддержания режимов по току в течение одного цикла горения дуги по сравнению с трансформаторами, имеющими жесткие характеристики. Данное обстоятельство имеет существенное значение для обеспечения возможности использования металлопроката меньшей толщины в качестве пластин закладных деталей при гарантировании отсутствия их прожога. Этому способствует также изменение функций регулировочного потенцио-

метра сварочного трансформатора, который вместо регулировки напряжения холостого хода при модернизации обеспечивает плавную регулировку величины сварочного тока во всем диапазоне режимов работы трансформатора (рис. 2).

Совокупность вышеуказанных обстоятельств определяет возможность использования в качестве пластин закладных деталей металлопроката меньшей толщины по сравнению с обычно применяемым. При этом сохраняется производительность труда, соответствующая использованию металлопроката толщиной 8 мм, но при меньшей величине сварочного тока. При уменьшении толщины пластин с 8 до 6 мм (в расчете на 1 т закладных деталей) экономится около 40 кВт · ч электроэнергии.

К недостаткам процесса сварки закладных деталей под флюсом при использовании ранее эксплуатируемого оборудования относится неравномерность высоты венчика наплавленного металла, а также эксцентричное его расположение относительно приваренного анкера. Последнее обстоятельство, кроме всего прочего, оказывает отрицательное влияние на прочность сварных

соединений, определяемую в соответствии с ГОСТ 10922-90. Использование сварочных трансформаторов с модернизированной схемой управления обеспечило улучшение формирования венчика наплавленного металла. Если для сварного соединения при традиционно применяемом процессе сварки характерна форма, приведенная на рис. 2, а, то при использовании модернизированного трансформатора форма сварного соединения имеет вид, показанный на рис. 2, б. Такое улучшение формирования сварного соединения, определяемое формой венчика наплавленного металла, а также его расположением относительно приваренного анкера, обусловлены еще и уменьшением величины тока короткого замыкания при предложенном процессе.

Модернизация семи сварочных трансформаторов при сохранении достигнутого уровня производительности труда, соответствующего приварке за смену в среднем около 2800 анкеров, обеспечила снижение металлоемкости закладных деталей, а также экономию электроэнергии при выполнении сварочных работ. При годовом объеме производства закладных деталей, свариваемых под флюсом, около 2000 т общая экономия металлопроката составляет примерно 330 т, в том числе плоского металлопроката — 312 т и арматурной стали — 18 т. Экономия обусловлена уменьшением на 30—35% припуска на оплавление арматуры при уменьшении толщины плоского металлопроката. Такое уменьшение массы арматуры, наплавленной при сварке закладных деталей, в свою очередь, обуславливает уменьшение энергопотребления на 75 тыс.кВт · ч в год.

## Арматурные работы в монолитном железобетоне на стройках Москвы

При возведении монолитных железобетонных конструкций и сооружений арматурные каркасы целесообразно изготавливать в арматурных цехах и мастерских и поставлять на строительную площадку цельными, а также по частям, если условия транспортирования не позволяют перевезти готовый каркас. Затем укрупнительную сборку его частей на строительной площадке приходится осуществлять дуговой или ванной сваркой. Такой способ дает возможность сокращать сроки монтажа и выполнять значительную часть работы в более удобных и безопасных условиях.

При отсутствии у строительной организации специального арматурного цеха пространственные каркасы вяжутся или свариваются из отдельных арматурных стержней и изделий на строительных площадках в зоне действия подъемно-транспортного механизма. При этом арматурные каркасы балок, колонн и других подобных изделий, если их масса не превышает грузоподъемности крана, целесообразно изготавливать на строительной площадке в кондукторах и шаблонах и устанавливать в опалубку в готовом виде. Этот способ изготовления каркасов широко применялся на строительстве храма Христа Спасителя, что позволило сократить сроки на проведение здесь арматурных работ. Для пространственных каркасов конструкций храма в сравнительно небольшой арматурной мастерской на одноточечных сварочных машинах готовили плоские двухветвевые каркасы, узкие сетки, а также сварные закладные детали. Крупные каркасы колонн, балок, фундаментной плиты, пилонов и плит перекрытий собирали в опалубке. Из-за запрета сварки крестообразных соединений стали класса А-III марки ЗСГС прихватками на строительстве в основном применяли вязку каркасов. Это позволило не только повысить их качество, но и значительно улучшить условия труда арматурщиков, опалубщиков и бетонщиков. При армировании конструкций

рабочей стержневой арматурой также широко использовалась вязка стержней с перепусками. Только в некоторых густоармированных балках, плитах и колоннах использовали электродуговую ванную сварку и стыковку стержней накладками. Для армирования некоторых плоских изделий на строительстве использовали типовые рулонные сетки.

При возведении Торгового рекреационного комплекса (ТРК) на Манежной площади применялась несколько отличная схема организации работ. Все арматурные работы здесь выполняли на строительной площадке. Более крупные строительные управления установили на площадке механические и гидравлические ножницы для резки арматуры, станки для ее гибки, аппараты для газокислородной резки и дуговой электросварки. При сборке каркасов колонн и плит, выполняемой в основном на месте строительства, широко применялась вязка крестообразных пересечений.

Ввиду большого числа организаций, осуществлявших монтаж и проектирующих комплекс, качество проектирования и ведения арматурных работ в начале строительства уступало качеству их выполнения на площадке возведения храма, особенно в зимнее время.

Из-за отсутствия надлежащей координации проектировщики Мосинжпроекта и Моспроекта-2 заложили в проект почти весь сортамент выпускаемый металлургами арматуры — от 6 до 40 мм, классов А-I, А-II и А-III. Даже косвенная арматура класса А-I вдоль речки Неглинки была принята диаметром 8 мм, на незаглубленной части здания и в фундаментной плите — 10 мм, по плитам перекрытий — 6, 8 и 10 мм, на берме и на ряде других конструкций — 12 мм. Поэтому строители вынуждены были проводить постоянные замены и многочисленные согласования.

Назначение генерального подрядчика АО "Манежная площадь", подключение к контролю

качества работ НИИЖБа, КТБ и ряда других организаций позволило в дальнейшем повысить качество строительства и устранить большинство недостатков по арматурным, сварочным и бетонным работам. Следует отметить, что если на подготовленную к бетонированию конструкцию или арматурное изделие составляется акт на скрытые работы и осуществляется их приемка контролирующими органами, то эти конструкции, как правило, изготавливаются более качественно. Поэтому контролирующие органы на ТРК старались осуществлять приемку перед бетонированием всех основных конструкций, участков фундаментной плиты и плит перекрытий.

Как уже отмечалось, на строящихся объектах при изготовлении арматурных каркасов широко применяли вязку крестообразных соединений стержней вязальной проволокой. В основном ее выполняли простым диагональным узлом без подтяжки стержней недостаточно отожженной проволокой диаметром 0,5—0,7 мм. Для стержневой арматуры диаметром более 16 мм наиболее целесообразна термически обработанная черная проволока диаметром 2 мм, выпускаемая по ГОСТ 3282. При оформлении заказов на эту проволоку следует указывать: Проволока 2,0-0-ч ГОСТ 3282. Помимо простого соединения, необходимо применять угловые, двухрядные, крестовые и мертвые узлы, которыми стержни закрепляются более надежно. К сожалению, арматурщиков не обучают сейчас этим когда-то широко распространенным способом вязки.

Для улучшения качества выполнения арматурных и бетонных работ на стройках Москвы необходимо повышать квалификацию проектировщиков и строителей, периодически устраивать конкурсы для проектировщиков и семинары повышения квалификации строителей, а также широко использовать накопленный положительный опыт строителей храма Христа Спасителя и других объектов.

## Деформативность железобетонных элементов, подверженных различным режимам нагружения

Известно, что деформативность бетона и железобетона меняется в зависимости от многих факторов, основными из которых являются вид и прочность бетона, процент армирования, эксцентриситет внешней силы у сжатых элементов и другие. Вместе с тем, помимо влияния указанных факторов, особую роль играет воздействие на свойства железобетона, в том числе и на его деформативность, нагрузок различных видов и режимов.

При повторных сжимающих или растягивающих нагружения в бетоне могут развиваться значительные пластические деформации, которые при разгрузке (снятии внешней нагрузки) восстанавливаются лишь частично. Таким образом, после одного цикла нагрузка—разгрузка часть деформации материалов оказывается отжатой. С увеличением числа циклов нагружения-разгрузки отжатая часть деформаций будет возрастать. Очевидно, что после воздействия на бетон малоциклового повторной нагрузки его деформативные и прочностные свойства претерпят изменения по сравнению с первоначальными характеристиками. Для определения степени влияния различных режимов однозначного и знакопеременного повторного нагружения на свойства тяжелого и легкого бетона и разработки рекомендаций по учету

этих изменений при расчете железобетонных конструкций были проведены (в два этапа) специальные эксперименты.

На первом этапе выполнены испытания двух серий стандартных бетонных призм из тяжелого (прочностью 40 МПа) и легкого (прочностью 10 МПа) бетонов при различных режимах нагружения\*. Опытные образцы подвергались испытаниям с целью получения следующих прочностных и деформативных характеристик:  $R_b$ ;  $R_{b1}$ ;  $\varepsilon_{br}$ ;  $\varepsilon_{br1}$ ;  $E_b$ ;  $E_{b1}$ .

Анализ проведенных испытаний позволил выявить характер влияния того или иного режима нагружения и его параметров на изменение свойств бетона. Для каждого режима и параметра повторного нагружения получены численные значения изменения основных характеристик бетона ( $R_b$ ;  $\varepsilon_{br}$ ;  $E_b$ ) по отношению к их значениям при однократном статическом воздействии. Структуризация статистических характеристик трехуровневого двухфакторного плана эксперимента позволила получить регрессионное уравнение, дающее возможность учитывать изменение свойств бетона в

зависимости от указанных факторов.

Второй этап экспериментов включал в себя испытание при повторных нагружениях железобетонных колонн различной гибкости из тяжелого и легкого бетона, армированных обычной (А-III) и высокопрочной (Ат-VI) арматурой. Главной целью испытаний было сравнение опытных значений основных характеристик бетона колонн с теоретическими, вычисленными с использованием численных значений поправочных коэффициентов, полученных при испытании призм.

Приращение продольных относительных деформаций крайнего сжатого волокна бетона  $\Delta \varepsilon_{bu}$ , равное деформациям при последнем нагружении, зависело от режима малоциклового повторных воздействий. Так, в коротких колоннах с однозначным приложением повторного нагружения и разрушающим усилием того же знака (схема нагружения 1) величина  $\Delta \varepsilon_{bu}$  несколько снизилась по сравнению с контрольной колонной. При этом суммарная деформация с учетом отжатых в процессе повторных нагружений деформаций возросла. Еще более значительное снижение  $\Delta \varepsilon_{bu}$  (до 14%) наблюдается в коротких колоннах с однозначным приложением повторной нагрузки и с разрушающим усилием другого знака (схема нагружения 2). Величина

\*Ходжаев А.А. Поведение железобетонных колонн различной конструкции при сложных режимах повторного нагружения // Бетон и железобетон. — 1996. — № 5. — С. 31—32.

$\Delta \varepsilon_{bu}$  в коротких колоннах, подвергнутых знакопеременным нагрузениям, практически не изменялась по сравнению с контрольной колонной. Вместе с тем суммарная деформация  $\varepsilon_{bt}$  возросла.

Аналогичная картина наблюдалась и по результатам испытаний колонн из легкого бетона. Так, в колоннах первой подгруппы (схема загрузки 1) величина  $\Delta \varepsilon_{bu}$  несколько снизилась по сравнению с контрольной колонной, при этом суммарная деформация с учетом отжаты в процессе повторных нагружений деформаций возросла. Еще более значительное снижение  $\Delta \varepsilon_{bu}$  наблюдается у колонн второй подгруппы (схема загрузки 2).

У образцов третьей подгруппы (схема загрузки 3) величина  $\Delta \varepsilon_{bu}$  близка к значению контрольной; вместе с тем суммарная деформация возросла. Как и следовало ожидать, деформации бетона у образцов с высоким процентом армирования выше, при том что тенденция снижения  $\Delta \varepsilon_{bu}$  та же, что и у предыдущих колонн. Полученные данные хорошо согласуются с данными о влиянии режимов повторного нагружения на диаграмму деформирования бетона.

Повышение гибкости конструкций ( $\lambda_h$ ) с 7 до 21 приводит к увеличению прогибов, степени перераспределения внутренних усилий и, как следствие, величины  $\Delta \varepsilon_{bu}$ .

Вместе с тем качественное влияние режимов повторного нагружения на приращение продольных относительных деформаций крайнего сжатого волокна бетона в гибких колоннах оказалось аналогичным происходящему в коротких колоннах.

Кривизны опытных гибких колонн определяли двумя способами: по замеренным в опытах продольным деформациям бетона и арматуры и по замеренным прогибам. Значения кривизны средних сечений, определенные этими двумя способами, близки между собой.

Зависимость приращения кривизн от величины продольной силы носит ярко выраженный нелинейный характер. Это особенно проявляется при работе конструкций с трещинами в растянутой зоне. Иной характер (практически линейный) носит изменение приращения кривизны в зависимости от величины изгибающего момента.

При многократно повторных нагружениях происходило накопление необратимых пластических деформаций сжатой зоны, бетона, что вызывало увеличение  $\Delta \varepsilon_{bu}$ . Отношение приращений деформаций сжатого бетона в наиболее напряженном среднем сечении при нагрузке  $N^{чep}$  (верхний уровень повторных нагружений) и при разрушении составляло 0,6...0,7. Развитие деформаций при повторных нагружениях имело затухающий характер и практически прекращалось к 12...15 циклу.

Увеличение  $\Delta \varepsilon_{bu}$  в опытных гибких колоннах при повторных нагружениях не зависело от режима малоциклового нагружения и составило 12...18%.

Повторные нагружения оказали также существенное влияние на приращение продольных деформаций крайнего растянутого волокна  $\Delta \varepsilon_{bt}$ .

На прогибы колонн оказывают влияние режимы предварительного повторного нагружения. Так, при повторных нагружениях с разрушением на последнем цикле без изменения

знака эксцентриситета наблюдалось увеличение прогибов. В других случаях, когда знак эксцентриситета при кратковременном нагружении менялся на противоположный, и при знакопеременных нагружениях наблюдалось снижение величины прогиба.

Результаты экспериментальных исследований позволили проанализировать характер распределения прогибов по длине колонн. Для этого определялись опытные значения коэффициента по формуле  $S = f_i \cdot \rho_i \cdot l^2$ . Расчеты показали, что в гибких железобетонных колоннах ( $\lambda_h = 21$ ) значения  $S$  составили 0,1...0,102. Эпюры прогибов по длине таких элементов близки к параболе и синусоиде.

В опытных элементах при многократно повторных нагружениях наблюдалось увеличение кривизны и прогибов на верхнем уровне повторной нагрузки. Этот процесс имел затухающий характер и прекращался к 10...12 циклу. При последующих циклах нагружения-разгрузки деформации колонн стабилизировались, и зависимости между усилиями и деформациями при нагружении и разгрузке становились близкими к линейным. Следует отметить, что увеличение кривизны и прогибов при повторных нагружениях было небольшим и составило 5...8%.

Предварительные многократно повторные нагружения практически не оказали влияния на характер распределения кривизн и прогибов по длине колонн. Прогибы по их длине имели вид плавной кривой. Увеличение изгибающего момента при многократно повторных нагружениях было незначительным и составило всего 1...2%.

## К расчету трещиностойкости пространственно работающих плит перекрытий

В крупнопанельном и монолитном домостроении часто применяются железобетонные плиты перекрытий, опертые по трем или четырем сторонам, сплошного или пустотного поперечного сечения. Стремление проектировщиков повысить моральную долговечность зданий, обеспечить свободу объемно - планировочных решений привело к массовому применению плит пролетом 6 и более метров. При проектировании конструкций такого типа особую значимость приобретает обеспечение требований по трещиностойкости и жесткости. Возможность точного определения деформаций плит имеет важное значение, поскольку недостоверность расчетов может привести к значительному перерасходу бетона и арматуры.

При определении прогибов плит необходимо знать нагрузку, вызывающую образование первых трещин, после чего работа плиты переходит из упругой стадии в стадию работы с трещинами, а график зависимости "нагрузка-прогиб" приобретает криволинейный характер. Как показывают эксперименты, в плитах, работающих на изгиб в двух направлениях, могут образовываться три типа нормальных трещин (на нижней поверхности):

- перпендикулярные основному рабочему пролету плит; условимся называть их **поперечными**;
- параллельные основному рабочему пролету плит; условимся называть их **продольными**;
- выходящие из углов плиты; условимся называть их **косыми**.

Используемые на сегодняшний день методики расчета деформаций плит, как правило, за нагрузку трещинообразования рекомендуют принимать нагрузку образования поперечных трещин, не оговаривая при этом, что первыми могут образовываться косые либо продольные трещины. Анализ результатов экспериментальных исследований показал,

что в сплошных ненапряженных плитах, опертых по трем или четырем сторонам, сначала образуются поперечные трещины, а в преднапряженных плитах, опертых по трем сторонам, первыми образуются косые трещины.

Согласно рекомендациям "Пособия..." [8] нагрузку трещинообразования в плитах можно определить, приравняв значение изгибающего момента в середине основного пролета моменту трещинообразования, определенному по способу ядровых моментов с учетом упруго-пластических характеристик поперечного сечения плиты. Для вычисления значений изгибающих моментов в "Пособии..." [8] даны вспомогательные графики. Однако, с помощью этих графиков возможно определение нагрузки образования только поперечных трещин. Для определения нагрузок образования продольных и косых трещин необходимо также построить вспомогательные графики. С использованием ПК "ЛИРА" нами были уточнены графики "Пособия..." [8] и построены остальные (рис. 1). Таким образом, предлагается при расчете плит определять три возможных значения нагрузки трещинообразования:

$q_{cr,n}$  - нагрузка, соответствующая моменту образования поперечных трещин;

$q_{cr,l}$  - нагрузка, соответствующая моменту образования продольных трещин;

$q_{cr,\alpha}$  - нагрузка, соответствующая моменту образования косых трещин.

За расчетную нагрузку трещинообразования следует принимать наименьшее из трех вышеуказанных значений.

В общем случае значения нагрузок образования поперечных и продольных трещин рекомендуется вычислять по формулам:

$$q_{cr,n} = \frac{M_{1,cr}}{\alpha_1 l_1^2 l_2}; \quad (1)$$

$$q_{cr,l} = \frac{M_{2,cr}}{\alpha_2 l_1^3}; \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты, зависящие от соотношения сторон

плиты; определяются по графикам на рис. 1, а - г;

$M_{1,cr}$ ,  $M_{2,cr}$  - моменты трещинообразования соответственно поперечного и продольного сечений плиты.

В результате численного эксперимента (с использованием ПК "ЛИРА") нами выявлены зоны наиболее вероятного образования первых косых трещин на нижней поверхности опертых по трем сторонам преднапряженных плит. Построены графики для определения значений изгибающих и крутящих моментов, с использованием которых предлагается определять наличие первых косых трещин. Алгоритм расчета приведен ниже.

Достоверность предлагаемой методики оценена сопоставлением с результатами экспериментальных исследований плит, проведенных авторами [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Всего рассчитано 39 экспериментальных образцов плит, в том числе натуральных - 21, моделей - 18. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2. Общее среднее отклонение (по всем рассмотренным образцам) расчетного значения нагрузки трещинообразования от опытного составляет -0,7%, то есть имеются основания говорить о достаточной достоверности предложенной методики.

Следует, правда, отметить, что методика несколько переоценивает трещиностойкость ненапряженных плит, опертых по трем сторонам (на 10,7%), а при расчете плит, опертых

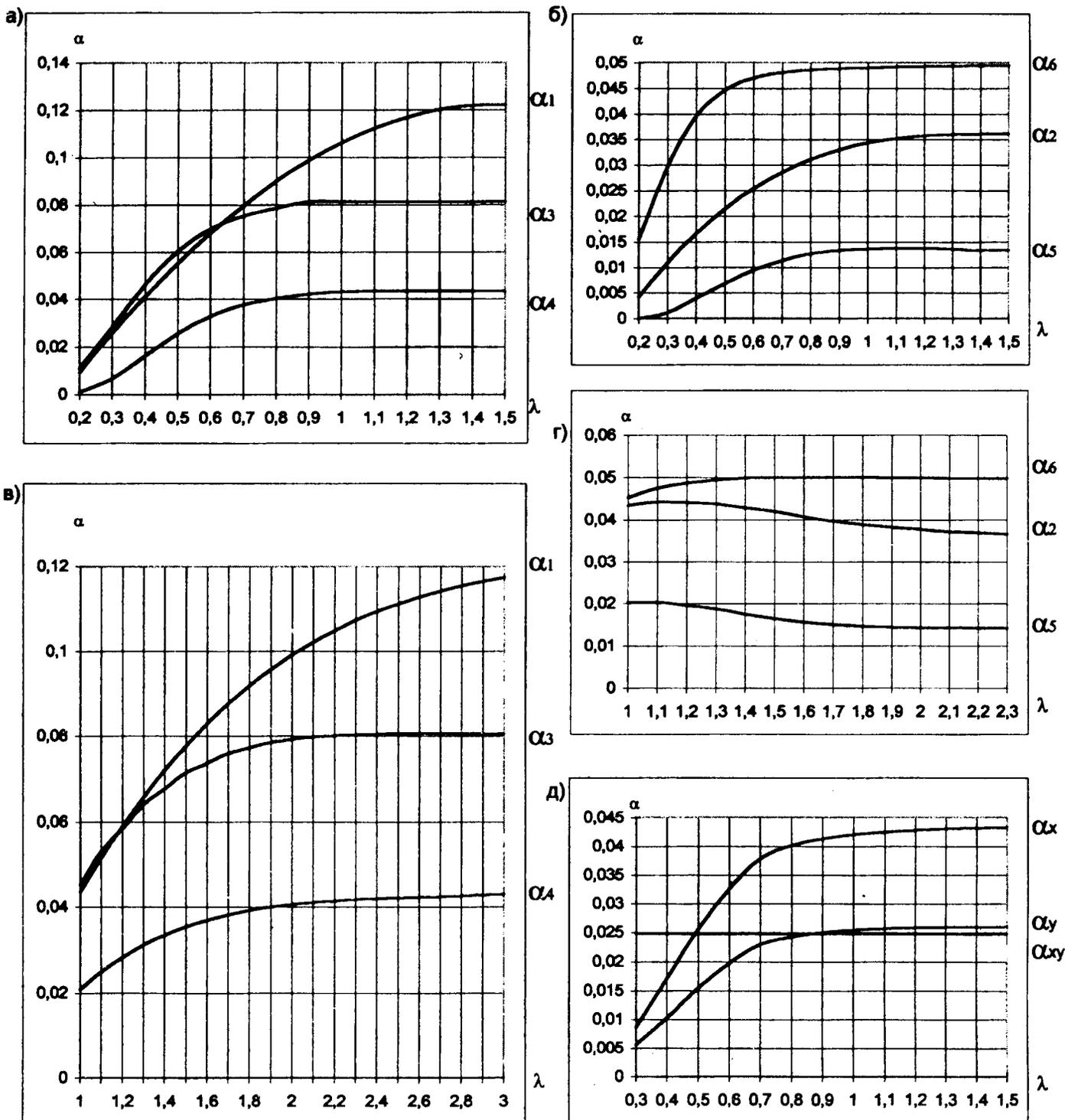


Рис. 1. Коэффициенты для определения изгибающих моментов

а, б, д — для плит, опертых по трем сторонам; в, г — для плит, опертых по контуру;

$\lambda = l_2/l_1$  — соотношение сторон плиты;  $\alpha_1, \alpha_2$  — коэффициенты для определения изгибающих моментов в свободно опертых плитах соответственно в направлении пролетов  $l_1$  и  $l_2$ ;  $\alpha_4, \alpha_5$  — коэффициенты для определения пролетных изгибающих моментов в защемленных плитах;  $\alpha_3, \alpha_6$  — то же для опорных моментов;  $\alpha_x, \alpha_y$  — коэффициенты для определения изгибающих моментов вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$  в угловых зонах преднапряженных плит;  $\alpha_{xy} = 0,02474$  — коэффициент для определения крутящего момента.

по контуру, напротив, дает небольшой запас (на 14,1%).

Количество рассчитанных образцов позволило произвести статистический анализ и предложить уточняющие эмпирические коэффициен-

ты для определения моментов трещинообразования ненапряженных плит (при аппроксимации использован метод наименьших квадратов). При этом формулы (1), (2) приобретают вид:

а) при опирании плит по трем сторонам

$$q_{crc,n} = \frac{0,83 M_{1,crc}}{\alpha l_1^2 l_2} + 0,3 \text{ кПа};$$

Сопоставление опытных и теоретических значений  $q_{crc,n}$ 

Типы плит	Автор эксперимента	Марки образцов	$q_{crc,оп}$ , кПа	$q_{crc,расч}$ , кПа	$\Delta q_{crc}$ , %
Сплошные, опертые по трем сторонам без преднапряжения	Штриттер К.Ф.	Н 1	7,05	7,35	-4,255
		Н 2	5,8	8,66	-49,31
	Глаголев А.В.	ПН 1	5,51	5,26	4,5372
		ПН 2	5,51	6,68	-21,23
	Кобейси А.	П5-1	2,26	2,77	-22,57
		П5-2	3,1	3,24	-4,516
		П6-1	3,22	3,09	4,0373
		П6-2	3,22	3,04	5,5901
		П7-1	3,5	3,57	-2
		П7-2	3,26	3,42	-4,908
		П7-3	2,66	3,11	-16,92
		П7-4	3	3,51	-17
	Среднее по группе				
Сплошные, опертые по четырем сторонам без преднапряжения	Давранов Б.Ж.	ПН-4	8,4	7,79	7,2619
	Оспанов А.Н.	ПН1	4,95	3,5	29,293
		ПН2	5,4	4,25	21,296
		ПН3	9,6	9,45	1,5625
		ПН4	9,7	9,45	2,5773
	Зырянов В.С.	П4-1	6,8	4,96	27,059
		П4-2	6,8	4,57	32,794
		П4-3	6,8	4,37	35,735
		П5-1	6,9	5,3	23,188
		П5-2	6,9	6,11	11,449
		П5-3	7,8	4,37	43,974
	Кобейси А.	П1-1	2,6	2,61	-0,385
		П1-2	2,6	2,51	3,4615
		П2-1	3,8	3,65	3,9474
		П2-2	2,7	2,58	4,4444
		П3-1	8,6	7,6	11,628
		П3-2	8,6	7,06	17,907
		П4-1	8	8,025	-0,313
П4-2		8	8,68	-8,5	
Среднее по группе					14,125
Общее среднее					1,7

Примечание. В табл. 1 и 2 маркировка опытных образцов сохранена авторской.

б) при опирании плит по контуру

$$q_{crc,n} = \frac{1,09 M_{1,crc}}{\alpha l_1^2 l_2} + 0,43 \text{ кПа.}$$

В случае образования первыми поперечных или продольных трещин ширину их раскрытия следует определять по обычной методике СНиП 171.

Для плит, свободно опертых по трем сторонам и армированных преднапряженной арматурой в направлении свободного края, можно рекомендовать следующий порядок вычисления нагрузки образования косых трещин (точнее, в этом случае

речь идет не о нагрузке трещинообразования, а о максимальном растягивающем напряжении в нижней зоне, которое затем сравнивается с  $R_{bt,ser}$ ) и ширины их раскрытия:

1. Определяются геометрические характеристики продольного и поперечного сечений плиты ( $A_{red}$ ,  $I_{red}$ ,  $e_{op}$ ,  $y_0$ ) и усилие предварительного обжатия  $P_{02}$  с учетом всех потерь. Крутящий момент сопротивления сечения  $W_{tor}$  рекомендуется определять по формулам:

при сплошном сечении плит

$$W_{tor} = \frac{h^2 (3 \cdot l_2 - h)}{12}; \quad (3)$$

при пустотном сечении плит

$$W_{tor} = t(l_2 h - th - l_2 t + \frac{4t^2}{3}), \quad (4)$$

где  $t = (h-d)/2$ ;  $d$  - диаметр пустоты.

2. По графикам, представленным на рис. 1д, определяются продольный и поперечный изгибающие моменты и крутящий момент по формулам:

$$M_x = \alpha_x q_n l_1^2 l_2; \quad M_y = \alpha_y q_n l_1^3;$$

$$M_{xy} = \alpha_{xy} q_n l_1^2 l_2.$$

Сопоставление опытных и теоретических значений  $q_{срс, \alpha}$  и  $\alpha$ 

Типы плит	Автор эксперимента	Марки образцов	$q_{срс,оп}$ , кПа	$\alpha_{срс,оп}$	$q_{срс,расч}$ кПа	$\alpha_{расч}$	$\Delta q_{срс}$ , %	$\Delta \alpha_{расч}$ %
Пустотные, опертые по трем сторонам, преднапряженные	Таратута М.Г.	П-1	18,4	60	19	60,5	-3,478	-0,83
		П-2	15,9	58	19	60,5	-19,5	-4,31
		П-3	18,4	60	19	60,5	-3,261	-0,83
		П-4	16,9	58	19,9	59,8	-17,75	-3,1
Среднее по группе							-11	-2,27
Сплошные, опертые по трем сторонам, преднапряженные	Пайлеванян Х.О.	ПН-1	11,43	62,1	12,5	63,1	-9,449	-1,61
		ПН-2	11,975	62,1	12,5	63,1	-4,468	-1,61
		П-3	19,4	53,3	15,3	62,2	21,13	-16,7
		П-4	18,96	53,3	16,7	61,7	11,92	-15,8
Среднее по группе							4,784	-8,92
Общее среднее							-3,106	-5,59

Таблица 3

Сравнительные результаты расчета

Автор эксперимента	Марки образцов	$q_{срс, \alpha}$ , кПа	$q_{срс, n}$ кПа	$\Delta q_{срс}$ , %
Таратута М.Г.	П-1	19,04	33,4	75,4
	П-2	19	33,4	75,8
	П-3	19	33,3	75,3
	П-4	19,9	34,5	73,4
Пайлеванян Х.О.	ПН-1	12,51	18,2	45,5
	ПН-2	12,51	18,2	45,5
	П-3	15,3	28,5	86,3
	П-4	16,7	30,8	84,4

Примечание. В табл. 2 и 3 приняты обозначения:

- $\alpha$  - угол наклона косой трещины к короткой стороне плиты;
- $q_{срс, \alpha}$  - нагрузка образования косых трещин, вычисленная по предлагаемой методике;
- $q_{срс, n}$  - нагрузка образования поперечных трещин, вычисленная по методике "Пособия..." /8/.

3. Определяются нормальные и касательные напряжения в нижней зоне:

$$\sigma_x = -\frac{P_{02}}{A_{1,red}} - \frac{P_{02}e_0 p y_0}{I_{1,red}} + \frac{M_x y_0}{I_{1,red}};$$

$$\sigma_y = \frac{M_y y_0}{I_{2,red}}; \quad \tau_{xy} = \frac{M_{xy}}{W_{tor}}$$

4. По формуле (143) /7/ определяются главные растягивающие напряжения в бетоне нижней зоны:

$$\sigma_{mt} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

5. Производится проверка условия (141) /7/. Если это условие соблюдается, то трещины не образуются и можно переходить к определению прогибов. В противном случае определяется угол наклона трещины к стороне, параллельной пролету  $l_2$  по формуле, преобразованной из формулы (1.4) /9/:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\sigma_{mt} - \sigma_x}{\tau_{xy}}\right). \quad (5)$$

После этого выполняется расчет ширины раскрытия трещин.

6. Определяется расстояние от нижней поверхности плиты до растянутого волокна бетона, в котором  $\sigma_{mt} = R_{bt,ser}$ , по формуле:

$$c = \frac{h}{1 + \frac{\sigma_{mc}}{\sigma_{mt}}} \left(1 - \frac{R_{bt,ser}}{\sigma_{mt}}\right), \quad (6)$$

где  $h$  - высота плиты;

$\sigma_{mc}$  - главные растягивающие напряжения в бетоне на уровне крайнего растянутого волокна;

$\sigma_{mc}$  - главные сжимающие напряжения в верхней зоне бетона на уровне крайнего сжатого волокна; определяются по формуле (143) /7/ с подстановкой:

$$\sigma_x = -\frac{P_{02}}{A_{l,red}} + \frac{P_{02}e_{0p}(h-y_0)}{I_{l,red}} - \frac{M_x(h-y_0)}{I_{l,red}};$$

$$\sigma_y = -\frac{M_y(h-y_0)}{I_{2,red}};$$

$$\tau_{xy} = \frac{M_{xy}}{W_{tor}}$$

7. Определяются напряжения или приращения растягивающих напряжений в арматуре одного и второго направлений по формулам:

$$\sigma_{s1} = \frac{\sigma_{mc} \cos \alpha}{a_{s1}}; \quad (7)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\sigma_{mc} \sin \alpha}{a_{s2}}, \quad (8)$$

где  $a_{s1}$ ,  $a_{s2}$  - погонные площади арматуры в направлении пролетов  $l_1$  и  $l_2$ .

8. Определяются значения ширины раскрытия трещин  $a_{cre1}$  и  $a_{cre2}$  со-

ответственно в направлении пролетов  $l_1$  и  $l_2$  по формуле (144) /7/.

9. Вычисляется полная ширина раскрытия косых трещин по формуле:

$$a_{crc} = \sqrt{a_{crc,1}^2 + a_{crc,2}^2}. \quad (9)$$

В табл. 2 приведены результаты сравнения опытных значений  $q_{crc}$  и  $\alpha$  с вычисленными по данной методике.

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты расчета плит по предлагаемой методике и по методике "Пособия..." /8/.

Как показали проведенные исследования, предлагаемая методика расчета по трещинообразованию хорошо согласуется с экспериментами, существенно уточняет и дополняет методику "Пособия..." /8/ и может быть рекомендована для расчета плит, работающих на изгиб в двух направлениях.

#### Библиографический список

1. Таратута М.Г. Расчет и оптимизация армирования опертых по трем сторонам многопустотных плит перекрытий крупнопанельных жилых зданий. - Дисс. ... канд. техн. наук, М., 1985.-197 с.
2. Кобейси А.М.А. Влияние ортотропии армирования на форму

разрушения железобетонных плит. - Дисс. ... канд. техн. наук, Краснодар, 1992. - 174 с.

3. Зырянов В.С. Пространственная работа железобетонных плит, опертых по контуру. - Дисс. ... докт. техн. наук, М., 1988. - 365 с.
4. Давранов Б.Ж. Особенности работы слабоармированных опертых по контуру плит перекрытий жилых зданий. - Дисс. ... канд. техн. наук, М., 1992. - 141 с.
5. Оспанов А.Н. Влияние концентрации и разрежения арматуры на прочность и деформативность опертых по контуру плит перекрытий жилых зданий. - Дисс. ... канд. техн. наук, М., 1993. - 126 с.
6. Пайлеванян Х.О. Исследование железобетонных пространственно работающих, опертых по трем сторонам панелей перекрытий крупнопанельных зданий. - Дисс. ... канд. техн. наук, М., 1982.
7. СНиП 2.01.03-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции/Госстрой СССР - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 80 с.
8. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып.3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). - М., Стройиздат, 1989.
9. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М., Стройиздат, 1976.

## ТЕОРИЯ

УДК 691.327:624.044

А.В. ЗАБЕГАЕВ, д-р техн. наук, проф., А.Г. ТАМРАЗЯН, канд. техн. наук, доц. (МГСУ)

## О влиянии внутренней влаги на деформативность бетона

Дальнейшее совершенствование методов расчета железобетонных конструкций становится крайне затруднительным без глубокого анализа процессов, происходящих в бетоне на микроуровне, и адекватного их представления в виде моделей и математических зависимостей.

В [1] нами была предложена общая модель деформирования

бетона, учитывающая особенности его структуры. В настоящей работе делается попытка осуществить анализ имеющихся экспериментальных данных о поведении жидко-газовой фазы и определить возможные подходы к решению поставленной задачи. Согласно современным воззрениям, структуру бетона можно вообразить как иерархическую си-

стему, представляющую на макроуровне сплошную среду, на мезоуровне — двухфазную систему, состоящую из цементного камня и зерен заполнителя, на микроуровне — из кристаллического сростка, слоистого тоберморитового геля и жидкогазовой фазы, содержащейся в порах и капиллярах. При этом вода может присутствовать в трех видах:

связанная (межслоевая) в геле, свободная в виде пленок или полностью заполняющая капилляры и водяной пар. Объемные доли, занимаемые связанной свободной водой, играют существенную роль в механизме деформирования цементного камня и бетона. Среди ряда оценок этого фактора выделим, как наиболее надежные, результаты, полученные в [4] по данным нейтронного рассеяния (рис. 1).

Рассматривая рис. 1, заметим, что в общем объеме воды при малых В/Ц и средних В/Ц ( $< 0,6$ ) основную долю составляет межслоевая вода, тогда как при больших В/Ц превалирует свободная вода. Можно предположить, что при низких В/Ц основную роль в сопротивлении берет на себя твердая фаза; роль связанной воды выше, чем свободной, но в целом невелика. В цементном камне с более высоким В/Ц (0,3—0,5) роль твердой фазы заметно снижается, но деформативность остается невысокой из-за армирующего влияния межслоевой воды, объем которой в общем объеме воды превалирует. Лишь при значительных В/Ц ( $> 0,6$ ) объем свободной воды сравнивается и превышает объем связанной, что, естественно, отражается на характере деформирования.

Из вышеизложенного следует, что при низких В/Ц основную роль в сопротивлении играет твердая фаза, а из двух видов воды (составляющая этой твер-

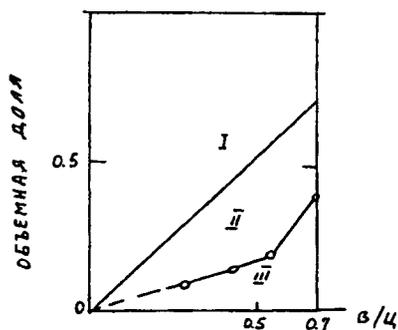


Рис. 1. Объемная доля, соответствующая цементу (I), связанной воде (II) и свободной воде (III) в цементном камне (по данным нейтронного рассеяния)

дой фазы) — межслоевая вода. Механизм деформирования такого слоистого материала может быть представлен рис. 2. Дефекты геометрии пластин тоберморита приводят к локальным разрушениям в результате изгиба и т.п. Заметим, что ориентация пластин по отношению к направлению действующего усилия может быть любой, однако, например, пластины, параллельные направлению усилия, как все камни, хорошо сопротивляются сжатию. При этом межслоевая вода играет роль горизонтальных связей, превращая их в составные пластины. При наклонном положении межслоевая вода также способствует усилению их сопротивления. В пластинах же, перпендикулярных направлению усилия, выдавливание воды из

зон локального контакта означает передачу значительных локальных напряжений на твердый материал, слабо сопротивляющийся изгибу.

Имеются данные экспериментов, что повышение влажности от 0 до 20% способствует снижению изгибной прочности камней в микрообъеме [2]. Таким образом, при длительных нагружениях происходит, с одной стороны, упорядочение структуры, с другой, — деформация, увеличивающаяся со временем, т.е. ползучесть, поскольку процесс выдавливания воды требует времени. При быстрых же нагружениях (взрыв, удар) жидкость ведет себя как мало-сжимаемая, и для достижения той же деформации требуются большие усилия. На целесообразность такой интерпретации указывает и экспериментальный факт, что при нагружении площадь внутренней свободной поверхности в кристаллизованном геле уменьшается на 10—20% [3, 5].

Упомянутые локальные разрушения в структуре твердой фазы могут служить причиной для зарождения микротрещин в зонах концентрации напряжений — у пор, а также у зерен заполнителя.

При учете эффекта трещинообразования для значительных В/Ц, принимая во внимание изложенные выше особенности структуры, нельзя игнорировать свободную воду и водяной пар. Пересекающие поры микротрещины образуют новые свободные поверхности с избыточной энергией, которые могут адсорбировать водяной пар, перетекающий из пор по механизму диффузии. Пленочная вода неподвержена миграции в силу поверхностного натяжения к стенкам капилляра. Это явление может вызвать нарушение равновесия в системе "водяной пар — пленочная вода" пор значительного диаметра. Концентрация пара в устье микротрещин может интенсифицировать их рост.

Обратимся к капиллярам, полностью заполненным водой. Очевидно, что будучи разделенными на малое расстояние, они оказываются связанными силами поверхностного натяжения. Ре-

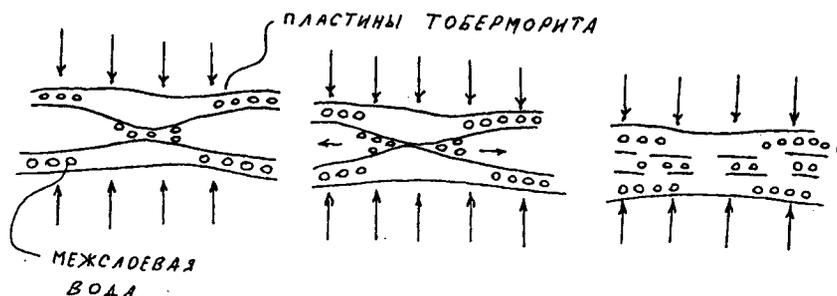


Рис. 2. Механизм локального деформирования и разрушения твердой фазы

акция этих связей зависит от положения капилляра по отношению к трещине, т.е. от гравитационных сил, типа капилляра (открытый, закрытый), ширины трещины и других факторов. Для предварительной оценки нами было проведено специальное исследование на органическом материале, близком к плотному цементному камню по углу смачивания. Поры моделировались трубками, в которые шприцем закачивалась вода. Для моделирования закрытых пор на концах трубок устраивались заглушки. Диаметр пор и ширина раскрытия трещин подбирались из условия геометрического подобия. Результаты испытаний показаны на рис. 3.

Из этого рисунка видно, что в закрытых капиллярах, независимо от ориентации в пространстве, в начале раскрытия трещины образуется мостик (шейка) воды, разделяющий при последующем раскрытии трещины на два мениска, форма которых зависит от положения капилляра (см.рис. 3,а,б,в,г). В горизонтально расположенных открытых капиллярах (см.рис. 3,д) имеет место тот же механизм, однако разрыв мостика и образование менисков происходят при существенно меньшей ширине раскрытия трещины. В наклонных же (см.рис. 3,ж) и вертикально расположенных (см.рис. 3,и) открытых капиллярах происходит частичное или полное вытекание в трещину содержимого капилляра с образованием капли между поверхностями трещины и нового концентрического мениска переменного радиуса. При этом в наклонных открытых капиллярах образуется небольшой остаточный мениск, уравнивающий гравитационные силы.

Можно констатировать, что увеличение влажности в трещине или механическое нарушение мениска в открытом капилляре (например, касанием жидкости, вытекающей из соседней поры) ведет к постепенному самопроизвольному вытеканию жидкости в трещину.

Приведенные данные относятся к ненагруженным капиллярам. Сжатие цилиндров позволило выявить следующие основные особенности: 1 — после

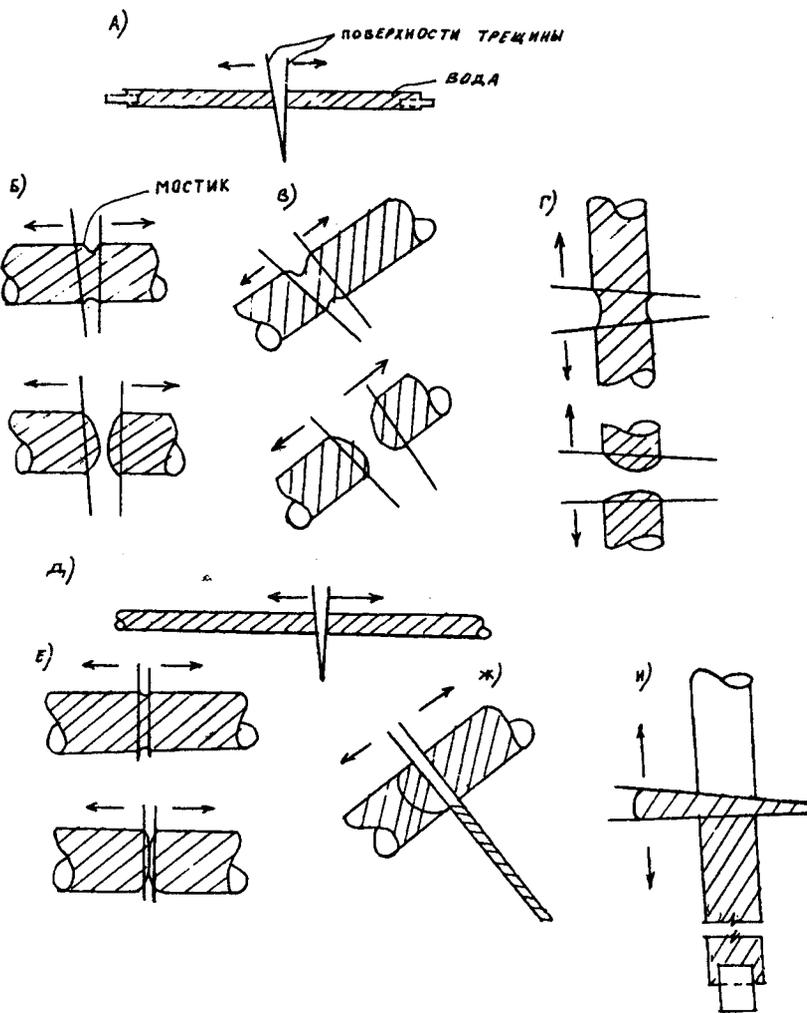


Рис. 3. Взаимодействие капиллярной воды с раскрывающимися трещинами

преодоления сил натяжения менисков выдавливание влаги происходит примерно пропорционально уменьшению объема закрытого канала; 2 — выдавливание влаги из открытых каналов в трещину при прочих равных условиях вдвое меньше, чем из закрытых, так как у открытых пор имеются четыре выхода, а не два.

Результаты этого эксперимента свидетельствуют о том, что свободная вода может оказывать существенное сопротивление раскрытию микротрещин за счет поверхностного натяжения. На начальных этапах эти силы значительны и обусловлены силами натяжения в "мостиках" открытых и закрытых каналов. При дальнейшем раскрытии тре-

щин это сопротивление ослабевает вначале за счет выключения "мостиков" открытых, а затем закрытых капилляров, а далее — вследствие увеличения расстояния между поверхностями, определяющими границы капли (сила притяжения обратно пропорциональна этому расстоянию).

Повышение внутренней относительной влажности также ведет к ослаблению сопротивления, способствуя адсорбированию влаги из капилляров на поверхностях трещины или при очень слабом взаимодействии их друг с другом, что характерно для составов с высоким В/Ц.

Реальная структура пор и капилляров хаотична, поэтому распределение гравитационных

сил может отличаться от существовавшего в опытах. Однако, на наш взгляд, полученные данные являются достаточной основой для первоначальной оценки указанного фактора.

Резюмируя, можно констатировать, что влияние влаги на процесс деформирования цементного камня, раствора и бетона связано с двумя различными механизмами: 1 — выдавливания межслоевой воды из гидратированного геля с последующими локальными микроразрушениями твердой фазы; 2 — явлениями поверхностного натяжения при взаимодействии микротрещин с

капиллярами, заполненными водой.

Первый механизм определяет необратимую ползучесть, динамическое упрочнение и может инспирировать зоны образования микротрещин. Вязкий элемент, включенный в модель деформирования бетона [1], отражает именно эту сторону поведения материалов.

Второй механизм должен быть включен в модель как самостоятельный нелинейный или кусочно-линейный элемент в комбинации с одной из пружин. Можно предположить, что его влияние наиболее существенно

скажется на второй стадии деформирования.

### Библиографический список

1. Забегаев А.В. К построению общей модели деформирования бетона // Бетон и железобетон. — № 6. — 1984.
2. Рамачандра В., Фельдман Р., Бодуэн Д. Наука о бетоне. — М., Стройиздат, 1986. — 279 с.
3. Ventura A., Milestone N., Young J.F. Cement and Concrete Research. 8., 171 (1978).
4. Harris D., Windsor C.G. Lowrence C.D. Mag. of Concrete Research. 1974, 26, pp. 65.
5. Winslow D. and Cohen M. Percolation and Pore Structure in Mortars and Concrete. Cement and Concrete Research. V. 24, 1984, pp. 25—37.

---

---

## В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ

---

---

В.П. СИЗОВ, д-р техн. наук

### О методах испытания морозостойкости бетона\*

Статья д-ра техн. наук А.М. Подвального посвящена весьма важной проблеме (которая в течение более 40 лет не решается) и является актуальной и своевременной. В этой статье [1] освещается состояние вопроса, анализируются стандарты по испытанию бетона на морозостойкость и отмечаются недостатки основного метода ее оценки с привлечением теории вероятности и математической статистики.

Действительно, стандарты на испытание бетона на морозостойкость имеют существенные недостатки, что не способствует повышению качества строительно-монтажных работ. Эти документы часто пересматриваются и переиздаются, но не улучшаются. Для подтверждения этого вспомним, как это происходило

и к чему это приводило и приводит.

Метод замораживания и оттаивания в водной среде впервые был включен в ГОСТ 4800—49 на гидротехнический бетон. В этом же стандарте были установлены и марки бетона по морозостойкости. Гидростроители его строго соблюдали и тем самым обеспечивали высокое качество бетона. В последующем метод замораживания и оттаивания был введен в ГОСТ 10060—62 на бетон тяжелый, применяемый в промышленном, жилищном, сельскохозяйственном строительстве.

Позднее в ГОСТ 10060—76, 10060—87, 10060—96 метод замораживания и оттаивания уточнялся и изменялся. Существование этих изменений в основном касалось эквивалентного возраста испытания контрольных образцов, критерия снижения прочности образцов, подвергавшихся замораживанию, а также продолжительности замораживания и оттаивания бетонных образцов.

Например, в ГОСТ 4800—49, 10060—62 критерии снижения прочности образцов, подвергавшихся замораживанию и оттаиванию, по сравнению с прочностью контрольных образцов (в эквивалентном возрасте), был установлен в размере 25%, в ГОСТ 10060—76 — 15% (в эквивалентном возрасте), в ГОСТ 10060—87 — 5% (в этом стандарте контрольные образцы испытывались в 28-суточном возрасте). Чем руководствовались составители этих документов, вводя указанные изменения, установить сейчас невозможно. Однако упомянутые изменения не всегда улучшали ГОСТ и основной метод испытания бетона на морозостойкость. Например, установленное 5%-ное снижение прочности образцов, подвергавшихся замораживанию, по сравнению с прочностью контрольных, по моему мнению, является ошибочным.

В ГОСТ 4800—49, 10060—62 ускоренные методы прогнозирования морозостойкости бетона

---

\*Отклик на статью А.М. Подвального "Об испытании бетона на морозостойкость". — Бетон и железобетон. — 1996. — № 4, 5.

не были предусмотрены. В ГОСТ 10060—76, кроме основного метода, были включены три ускоренных (по накоплению остаточных деформаций, по замораживанию бетонных образцов при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ , по компенсационному фактору). Ускоренные методы были включены в стандарт по предложению их авторов без какой-либо проверки. Они не коррелировались между собой и с основным методом. Подробно анализ и недостатки ускоренных методов и предложения по уточнению ГОСТа изложены в [2, 3]. К сожалению, меры по уточнению стандарта и ускоренных методов принятые не были.

При пересмотре ГОСТа 10060—76 в новый ГОСТ 10060—87, кроме основного метода, были включены уже два других ускоренных метода (испытание в 5%-ном растворе хлористого натрия при температуре  $-15$  и  $50^{\circ}\text{C}$ ). Как показала проверка, методы имели существенные недостатки. Они не коррелировались между собой и с основным методом. Анализ методов и их недостатки подробно освещены в [4]. Меры по уточнению нового стандарта также не были приняты. При переиздании ГОСТов приходилось переиздавать нормативную документацию, уточнять формулы, отвлекать ученых от проведения исследований. Отрасль несла убытки.

В настоящее время ГОСТ 10060—87 пересмотрен. К сожалению, критические замечания и предложения не учтены. В новый ГОСТ 10060—96 включен основной метод и два новых ускоренных метода (дилатометрический и структурно-механический). Такая неразбериха с пересмотром и переизданием нормативных документов по морозостойкости окончательно запутала строителей и привела к тому, что они вообще перестали испытывать бетон по основному методу, а в достоверности данных, полученных по ускоренным методам, сомневаются.

Теперь после введения ГОСТ 10060—96 морозостойкость будет определяться по одному из четырех ускоренных методов, который для строителей

будет наиболее выгоден. К сожалению, ускоренные методы включены в стандарт без тщательной их проверки и сопоставления с основным методом. С введением ГОСТ 10060—96 проблема испытания бетона на морозостойкость решена не будет, а наоборот еще более усложнится. Как и ранее, состав бетона будут выдавать на производство, не ожидая результатов его испытания на морозостойкость, а затем задним числом строители будут подтверждать марку бетона по морозостойкости. К этому времени объект может быть сдан в эксплуатацию, и результаты уже будут не нужны. Хорошо, когда марка бетона по морозостойкости подтверждается результатами испытания, но имели место случаи, когда действительная морозостойкость бетона оказывалась ниже требуемой. В этих случаях строители были вынуждены представлять заказчику фиктивные данные. Из-за низкого качества бетон преждевременно разрушался, но составителей нормативных документов это, видимо, не очень волновало. Например, в исполнителях ГОСТ 10060-87 числится 30 человек, а стандарт вышел с существенными недостатками.

Сложилась тупиковая ситуация. Выходить из нее нужно и как можно скорее, но вопросы надо решать не келейно, а с привлечением широкого круга специалистов, начальников лабораторий и ученых страны. Правда, не со всеми предложениями и замечаниями, высказанными в [1], можно согласиться.

К сожалению, автор статьи [1] не остановился на недостатках ускоренных методов, включенных в ГОСТы на морозостойкость бетона, и ограничился критикой основного метода. По мнению автора статьи [1], последний имеет существенные недостатки, и внедрение ускоренных методов сдерживается необходимостью их увязки с ним. Такие утверждения необъективны. Надежность ускоренных методов должна увязываться с основным методом, который позволяет устанавливать истинную морозостойкость бетона. Поэтому он должен быть принят за основу и служить как бы этало-

ном при оценке ускоренного метода.

Автор статьи [1] не предлагает своего ускоренного метода испытания бетона на морозостойкость. Такого надежного метода, который можно было бы сразу рекомендовать, он не знает. Однако он считает, что ускоренные методы нужны. В них показателем морозостойкости может служить деформация замороженных образцов (или изменение структуры материала), т.е. привлекаются косвенные показатели, а не циклы замораживания. С этим предложением согласиться трудно. По моему мнению, ускоренные методы должны увязываться с основным методом, который позволяет определять истинную морозостойкость бетона.

Критика основного метода не всегда обоснована. Действительно, метод замораживания и оттаивания трудоемок, испытания длительны. Но при проведении трех циклов в сутки срок испытания можно сократить вдвое (до 2—3 мес) по сравнению с проведением двух циклов в сутки. Для таких испытаний требуются морозильные камеры, квалифицированные кадры и четкая организация всех работ. Несмотря на это, основной метод нужен. Он позволяет устанавливать истинную морозостойкость, предотвращать низкое качество бетона и преждевременное его разрушение. Основной метод надежен, но его недостатки обусловлены проведением одного цикла в сутки, введением необоснованного критерия снижения прочности бетона, подвергавшегося замораживанию, возрастом испытания контрольных образцов (то в эквивалентном, то 28-суточном). Все изменения в ГОСТ 10060 проводились без каких-либо обоснований и тщательной проверки.

Основной метод испытания бетона на морозостойкость найдет применение в НИИ и вузах при изучении морозостойкости бетона, в крупных строительных лабораториях, а также в тех случаях, когда позволяют сроки и необходимо установление марки бетона по морозостойкости. Так ранее поступали гидростроители. Они за год до начала строительства проводили все необходимые

испытания бетона, в том числе и на морозостойкость.

Указанные недостатки основного метода вынуждают строителей прибегать к ускоренным методам прогнозирования морозостойкости бетона на стадии подбора его состава, а также для контроля этого показателя в процессе строительства. Такой метод крайне необходим. Наличие его будет гарантировать получение бетона высокой морозостойкости. Ускоренные методы, основанные на косвенных показателях, не всегда будут устраивать строителей по срокам испытаний и точности.

В статье [1] предлагается объявить конкурс на лучший ускоренный метод и выделить фонд стимулирования для решения проблемы. Однако подобные разработки потребуют обширных и глубоких исследований, сопоставления ускоренных методов с основным и выделения крупных бюджетных ассигнований. Поэтому, на мой взгляд, проведением конкурса проблема решена не будет.

Для обоснования своих критических замечаний, высказанных по основному методу испытания бетона на морозостойкость, автор статьи [1] привлекает теорию вероятности и математическую статистику. Однако некоторые доводы малоубедительны. Приведенные формулы (1, 2, 3, 4) понять трудно. Например, в ф-ле (4) (№ 4) фигурирует  $\Phi$ . Значение его не указано, как получен результат, равный 0,3081, пояснений нет. В тексте только сказано, что  $\Phi$  — нормальная функция распределения (интеграл вероятности), а как его определять, не ясно.

Далее автор [1], основываясь на критериях снижения прочности бетона, приписывает недостатки основному методу. Например, при критерии снижения прочности 5% морозостойкость равна 250 циклам, тогда как при критерии 15% — 750 циклов. Для одного и того же состава бетона такой разницы в циклах быть не должно. Реальная морозостойкость будет практически одной и той же (при критерии 15% по ГОСТ 10060—76 будет немного больше, чем при критерии 5% по ГОСТ 10060-87). От

принятой методики расчета она не зависит. Если приводить такого рода расчеты, то необходимо было давать подробные пояснения. Рассмотренный пример показывает, что в технологии бетона не всегда можно опираться на теорию вероятности и статистику (например, принятие трех образцов в серии выходит за пределы теории вероятности).

В табл. 1 автор [1] приводит результаты испытания бетона на морозостойкость, полученные в ЦЛК НИИЖБ. Эти данные действительно показывают, что при испытании на морозостойкость по ГОСТ 10060—87 мы имеем неустойчивые результаты. В получении таких результатов автор [1] усмотрел недостатки основного метода испытания бетона на морозостойкость. Однако неустойчивые результаты испытаний обусловлены не основным методом, а гетерогентностью и конгломератностью бетона (присущим ему большим разбросом прочностных показателей).

В достоверности данных, приведенных в табл. 1, автор [1] не усомнился, тогда как анализ этих данных показывает, что во многих случаях они вызывают сомнение. Например, бетон прочностью 54 МПа выдержал всего только 75 циклов (снизил прочность на 5%, см. табл. 1, п. 1). Более подробно рассматривать [1] невозможно, так как в там не приведены составы бетонов, В/Ц, осадка конуса, данные по качеству исходных материалов.

Учитывая потребность в быстром определении морозостойкости бетона, автор настоящей статьи в 1992 г. разработал ускоренный метод прогнозирования морозостойкости бетона на стадии его подбора. В основу метода положены В/Ц, расход воды, качество исходных материалов, свойства бетонных смесей и бетона. Точность метода  $\pm(5-7\%)$ . Предлагаемый метод по точности корреспондируется с определением морозостойкости по основному методу. Разработанный ускоренный метод является первой попыткой прогнозирования морозостойкости на стадии подбора состава бетона. В дальнейшем при необходимости и по мере накопления данных метод и пред-

ложенная формула для определения морозостойкости бетона будут уточняться. Так было ранее с формулой определения прочности бетона, которая неоднократно уточнялась и продолжает совершенствоваться в настоящее время. Предлагаемый нами метод опубликован в статьях [5, 6].

Для решения затронутой проблемы необходимо:

1. Уточнить основной метод испытания бетона на морозостойкость, регламентировать в нем непрерывное испытание бетонных образцов, 15%-ное снижение прочности образцов, подвергавшихся замораживанию, и уточнить, в каком возрасте следует испытывать контрольные образцы (в эквивалентном или в 28-суточном).

2. Разработать надежный ускоренный метод прогнозирования морозостойкости бетона.

3. Рассмотреть возможность принятия предложенного ускоренного метода прогнозирования морозостойкости на стадии подбора состава бетона.

4. Приостановить введение ГОСТ 10060—96 до уточнения основного и ускоренного методов.

5. Изыскать средства на проведение работ по уточнению основного и ускоренных методов испытания бетона на морозостойкость.

6. Установить единую классификацию марок бетонов по морозостойкости по основному методу.

#### Библиографический список

1. Подвальный А.М. Об испытании бетона на морозостойкость//Бетон и железобетон. — 1996. — № 4, 5.
2. Сизов В.П. Об испытании бетона на морозостойкость//Бетон и железобетон. — 1979. — № 10. — С. 34—35.
3. Сизов В.П. О необходимости пересмотра требований ГОСТов и СНиП по испытанию бетона на морозостойкость//Бетон и железобетон. — 1974. — № 3. — С. 28—29.
4. Сизов В.П., Подгорнов Н.И., Башлыков Н.Ф. Оценка методик на проведение испытаний бетона на воздействие климатических температур//Бетон и железобетон. — 1990. — № 7. — С. 33—35.
5. Сизов В.П. Прогнозирование морозостойкости бетона//Бетон и железобетон. — 1992. — № 6. — С. 25—27.
6. Сизов В.П. К вопросу прогнозирования морозостойкости бетона//Бетон и железобетон. — 1994. — № 4. — С. 26—27.

## Строительно-технические свойства высокопрочного товарного бетона

На протяжении ряда лет американской ассоциацией (РСА) проводились исследования [1] с целью оценки качественных и количественных показателей бетонов, приготовленных на различных видах цементов, применяемых в США и ряде стран, где эта типизация цементов принята в соответствии с договорами. Исследования проводили с различными составами бетонной смеси и в разных условиях твердения. Полученные таким образом бетоны применяли в ответственных сооружениях.

Большая серия испытаний была посвящена выявлению показателей прочности на сжатие и растяжение, модуля упругости, а также характеристик деформаций усадки и ползучести при одноосном сжатии. Считается, что эти показатели являются ключевыми, характеризующими прочность и долговечность конструкций и обеспечивающими их эксплуатационную пригодность.

Работы по высокопрочным бетонам ведутся давно, за это время впервые в Японии был получен бетон прочностью на сжатие 103 МПа. В 1973 г. был изготовлен товарный бетон прочностью на сжатие 90 МПа, а в лабораторных условиях была достигнута прочность бетона 193 МПа. Такой бетон получен на специальных заполнителях и по технологии с обеспечением твердения при высоких давлениях и температуре. Вместе с тем считают, что вполне возможно получать товарные бетоны прочностью на сжатие 448—

500 МПа. По этому вопросу подготовлено достаточно много публикаций и отчетов, один из которых опубликован J. Морепо (1990 г.) на основе опытов использования высокопрочных бетонов при строительстве высотных зданий в Чикаго.

Заказчики этих объектов очень заинтересованы в товарном высокопрочном бетоне и в этом плане тесно сотрудничают с его производителями. Основой для получения высокопрочных бетонов прочностью на сжатие выше 60 МПа является ограничение водоцементного отношения при истинном водовязущем отношении от 0,22 до 0,32. Бетонная смесь должна содержать минеральные добавки или только микрокремнезем, либо одновременно

добавки золы-уноса (сухого отбора) и микрокремнезема при соответствующей проверке их в лабораторных условиях. При этом высокопрочные бетоны должны отвечать определенным требованиям по показателям прочности на сжатие, модулю упругости, прочности на осевое растяжение, термическому расширению, усадке при высыхании, долговечности, ползучести и водопоглощению. Кроме того, могут устанавливаться требования по скорости проницаемости хлоридов, сопротивляемости коррозионным воздействиям, а также к петрографическому составу компонентов. Как правило, все испытания проводят на образцах цилиндрической формы или по соответствующей программе, как

Таблица 1

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup>	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Цемент, тип I, кг	564	475	478	564	475	327
Микрокремнезем, кг	—	24	47	89	74	27
Зола-унос, кг	—	59	—	—	104	87
Заполнитель <sup>1</sup> , кг	1068	1068	1068	1068	1068	1121
Отборный заполнитель <sup>2</sup> , кг	647	659	676	593	593	742
Добавки водопонижающие:						
Тип F, л	8,87	8,87	8,58	15,38	12,57	4,82
Тип G, л	—	—	—	—	—	2,48
Тип D, л	0,86	0,80	0,74	1,12	1,15	—
Вода <sup>3</sup> , кг	158	160	155	144	151	141
В/Ц, по массе	0,281	0,338	0,320	0,255	0,318	0,432
В/вязущее, по массе <sup>4</sup>	0,281	0,287	0,291	0,220	0,231	0,320

Примечания: 1. Максимальный размер заполнителя: составы 1...5—9,5 мм; состав 6—25 мм; 2. Натуральный песок с модулем крупности 2,74 в количестве 60% и молотый известняк (40%) в составах 1...5. В составе 6—натуральный песок с  $M_k = 2,6$  в количестве 85% и 15% молотый гранитный или гравийный заполнитель; 3. Количество воды включает влагу, содержащуюся в заполнителях; 4. В состав вяжущего включена масса цемента, микрокремнезема и золы-уноса.

Таблица 2

Возраст бетона, сут	Номера составов											
	1			2			4			5		
	показатели											
	$R_b$	$E_b$	$\epsilon_{sr}$	$R_b$	$E_b$	$\epsilon_{sr}$	$R_b$	$E_b$	$\epsilon_{sr}$	$R_b$	$E_b$	$\epsilon_{sr}$
28	78,6	43,2	40	88,5	44,5	28,7	118	50,8	20,3	107	48,3	23,3
	—	—	23,5	—	—	15,8	—	—	14,2	—	—	16,3
91	86,5	45,8	57,3	100	47	44,7	132	51,4	32	119	48,5	34
	90,3	45,7	38,3	105	45,5	25,7	131	51,9	23,2	120	47,4	24,3
426	105	47	69	117	48	59	130	53,5	46	123	50	47,7
	94	45,7	56	102	44	43	124	52,7	33	118	48	38,8

Примечания: 1. Прочность  $R_b$ : над чертой приведены данные для влажного хранения, под чертой — для воздушного хранения; 2. Модуль упругости  $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа; 3. Деформация усадки при высыхании  $\epsilon_{sr} \cdot 10^4$  на призмах размером 76x76x286 мм (над чертой) и на цилиндрах размером 152x302 мм (под чертой), при  $T = 23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ,  $\psi = 50 \pm 2\%$ . Образцы в течение 28 сут твердели во влажных условиях.

Таблица 3

Условия хранения	$R_b$ , МПа	Примечания
Влажное	6,4	Влажное — 100%-ная относительная влажность воздуха, $T = 23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ , ASTM C192
Воздушное	3,1	
Влажное	5,9	Воздушное — относительная влажность воздуха $50 \pm 6\%$ , $T = 22 \pm 2^\circ\text{C}$
Воздушное	4,3	
Влажное	5,0	Воздушное
Воздушное	4,9	
Влажное	7,2	Воздушное
Воздушное	6,5	
Влажное	6,6	Воздушное
Воздушное	4,6	

Таблица 4

Характеристика ползучести	Предельное значение меры ползучести, $10^{-3}$ МПа <sup>-1</sup>	Временные показатели	
		$\tau/t$	d, сут
3,27	9,3	0,52	10
1,77	4,6	0,62	14
1,58	3,6	0,52	12
1,35	3,5	0,55	12

это сделано при исследовании экзотермии смеси. В этом случае применяли образцы-кубы с размером ребра 1220 мм, в которые закладывали специальные хромель-алюмелевые термопары, а также изготавливали контрольные образцы-цилиндры размером 6x12 дюймов.

В последующем из этого куба были высверлены образцы для определения прочности на сжатие и растяжение по ASTM C42. Методы испытаний соответствовали требованиям ASTM C39, C469. В табл. 1 приведены составы бетонной смеси.

В табл. 2 приведены обобщенные данные о прочности бетонов на сжатие, модуле упругости и усадке высокопрочных

бетонов (их составы показаны в табл.1), полученные по результатам испытаний образцов-цилиндров размером  $d \times h = 152 \times 302$  мм

Прочность бетонов на растяжение (ASTM C39) приведена в табл. 3.

Ползучесть бетона определена согласно ASTM C512 в условиях высыхания бетона под постоянной нагрузкой в течение 30 сут на образцах-цилиндрах размером 152x302 мм при уровне нагрузки 0,39 от разрушающей при сжатии. Образцы перед нагружением в течение 6 недель находились в воздушной среде и еще 4 недели во влажных условиях.

В табл. 4 приведены основные показатели ползучести и данные их аппроксимации.

Аппроксимацию кривых ползучести производили по выражению

$$V_t = t^w V_n / (d + t^w),$$

где  $V_t$  — характеристика ползучести;  $V_n$  — предельное значение характеристики ползучести;  $t$  — время наблюдения, сут;  $w = \tau/t$  (берется из табл. 4);  $d$  — время (условный показатель), сут (см. табл. 4).

Значения показателей ползучести соответствуют документу ACI 209. На основании анализа результатов испытаний авторы рекомендуют для практического использования товарные высокопрочные бетоны с показателями, удовлетворяющими требованиям нормативных документов.

В работах отечественных исследователей [2] показано, что применение микрокремнема, суперпластификатора С-3 и рядовых портландцементов позволяет подобрать составы высокопрочных бетонов с показателями, соответствующими требованиям нормативных документов и обладающих высокой долговечностью.

#### Библиографический список

1. R.G. Burg, B.W. Ost. Engineering Properties of Commercially Available High-Strength Concretes. Portland Cement Association. Bulletin RD1D4T S N1914, 1992, p.p. 56.
2. Каприелов С.С. Научные основы модифицирования бетонов ультрадисперсными материалами. Автореф. на соискание докт. дисс., М., 1995 г., с. 41.

Серых Р.Л.,  
д-р техн. наук, проф.

Ю.И. ОРЛОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. (Государственный ун-т "Львовская политехника")

## IV Международный симпозиум по применению полимеров в бетоне

В Бледе (Словения) с 10 по 12 сентября 1996 г. проходил IV Международный симпозиум по применению полимеров в бетоне стран Центральной Европы в рамках ICPC (International Congress Polymers in Concrete).

Традиция проведения таких симпозиумов восходит к сентябрю 1991 г., когда в Сан-Франциско состоялся первый симпозиум стран Северной Америки. Второй симпозиум стран Южной Америки состоялся в октябре 1993 г. в Сальвадоре (Бразилия) и третий (стран Азии) проходил в 1994 г. в Цхунчене (Корея).

Организацию и издание трудов IV симпозиума принял на себя Словенский институт исследований и применения материалов (IRMA, Любляна). Председателем оргкомитета являлся проф. Андрей Заяц. Симпозиум проходил в фестивальном дворце Бледа, где присутствовало свыше 100 делегатов, представляющих 14 стран Европы (Австрию, Бельгию, Великобританию, Германию, Италию, Нидерланды, Польшу, Румынию, Словению, Украину, Францию, Хорватию, Швейцарию, Югославию), а также США, Южную Корею и Японию.

Основные темы симпозиума следующие: полимерные бетоны; бетоны, модифицированные полимерами; промышленное применение; ремонт и восстановление бетона. Были заслушаны и обсуждены доклады по этим темам, проведены сессии, на кото-

рых каждый участник симпозиума имел возможность представить свои результаты и принять участие в дискуссии. Язык работы симпозиума английский (без синхронного перевода),

На генеральной сессии были заслушаны следующие доклады. Проф. И. Охама (Университет Нихон, Япония) сделал доклад на тему "Последние достижения в создании полимербетонных композиций в Японии". Докладчик отметил, что в Японии в последние годы проведена значительная работа по классификации и стандартизации растворов и бетонов, модифицированных полимерами. Разработано 16 документов государственного уровня, нормирующих методы испытаний, технологию изготовления и применение полимербетонных композиций.

Д-р Д. Фовлер (Техасский университет в Остине, США) выступил с докладом "Применение бетонов, модифицированных полимерами, и полимербетонов в США и в мире". Следует отметить, что закрепились следующие термины: "Polymer modified concrete" (PMC) — бетоны, модифицированные полимерами; "Polymer concrete" (PC) — полимерные бетоны; "Polymer impregnated concrete" (PIC) — бетоны, пропитанные полимерами. В таблице приведены данные по основным свойствам рассмотренных композиционных материалов, модифицированных полимерами, в сравнении

с бетоном на обычном портландцементе. В этом докладе было уделено внимание бетонам, модифицированным серой, — "Sulphur modified concrete" (SMC). Отмечена их высокая стойкость в агрессивных средах и приведены примеры практического применения в строительстве США и Канады.

Проф. А. Заяц (Институт исследований и применения материалов, Любляна, Словения) в докладе "Применение полимерных и модифицированных полимерами бетонов в Центральной Европе" осветил основные направления использования этих материалов в странах региона. Это прежде всего материал для ремонтно-восстановительных работ, устройства покрытий проезжей части мостов и путепроводов, изготовления сантехнических и декоративных изделий, фундаментов и станин станков.

На сессиях был заслушан ряд докладов, посвященных свойствам и технологии изготовления полимерных бетонов и цементных бетонов, модифицированных полимерами. Среди них доклады Д. Фовлера "Материалы для полимерных бетонов, свойства и применение", Г. Депои (США) "Бетоны, модифицированные полимерами. Свойства и применение", Я. Шуштерича (Словения) "Полимеры в высокопрочных бетонах". Особый интерес вызвал доклад Р. Крайса "Оборудование для производства полимербетонов и растворов", представляю-

Свойства	Товарный портландцементный бетон	РПС	РС
Прочность:			
при сжатии	1	3...5	1,5...3
при растяжении	1	4...5	3...6
Модуль упругости	1	1,5...2	0,05...2
Водопоглощение	1	0,05...0,1	0,05...0,2
Морозостойкость, число циклов/ % потери массы	700/25	2000...4000	1500/0...1
Кислотостойкость	1	5...10	8...10
Стойкость к истиранию	1	2...5	5...10

Примечание. РПС — бетон, пропитанный полимерами; РС — полимерный бетон

щего немецкую фирму "Респекта". Фирма является мировым поставщиком оборудования для изготовления полимербетонных изделий на их основе. Господин Рейнер Крайс, известный у нас как соавтор изданной в Москве Стройиздатом в 1989 г. книги "Полимербетонные конструкции на их основе" (авторы К.В. Михайлов, В.В. Патуроев, Р. Крайс), является неизменным участником всех последних конгрессов и симпозиумов по бетону с применением полимеров и активным пропагандистом этих материалов.

Доклад д-ра П. Зейлера (Германия) "Промышленная пропитка настилов и ремонт бетона" был посвящен проблеме ремонта бетонных горизонтальных поверхностей методом пропитки мономерами с последующей полимеризацией.

Большой интерес вызвал доклад Р. Прусинского (США) "Потенциальные области применения полимербетона для захоронения радиоактивных отходов". В последнее время в мире появилась всевозрастающая потребность в разработке надежных контейнеров для складирования средне- и низкорadioактивных отходов атомных электростанций, а также радиоактивных веществ, используемых в медицине, при научных исследованиях. В США раз-

работан состав полимерного бетона для изготовления контейнеров для захоронения таких отходов.

В докладе Б. Стайнса (Великобритания) "Ремонт бетона, подверженного коррозии" рассмотрены вопросы ремонта железобетонных конструкций, поврежденных хлоридной коррозией, полимерцементными растворами.

В докладе И. Лесковара (Словения) "Применение модифицированных полимерами и полимерных бетонов для ремонта некоторых бетонных сооружений в Словении" приведены примеры из практики использования полимербетонных при ремонтно-восстановительных работах (дымовой трубы высотой 360 м электростанции в Требовле, моста через р. Идрица в Идрии, градирен электростанции в Шоштани, где полимербетоном было защищено около 130 тыс.м<sup>2</sup> бетонных поверхностей).

Труды IV симпозиума в Бледде изданы в двух томах на английском языке. Первый том содержит 20 докладов, во втором опубликованы тезисы и доклады, поступившие на симпозиум с опозданием. В числе последних — материалы российских и украинских ученых из Москвы, Волгограда, Воронежа, Липецка, Киева, Кременчуга и Одессы. К сожалению, авторы докладов в

работе симпозиума участия не принимали.

Изучая материалы прошедшего симпозиума, можно констатировать, что исследования научных школ России и Украины не только соответствуют основным тенденциям развития проблемы применения полимеров в бетонах, но и являются приоритетными. Очень важно сохранить такие позиции на современном переломном этапе в экономике наших государств и не нарушить сложившееся научное сотрудничество.

Автор данного сообщения принимал участие в работе симпозиума и располагает всеми материалами, в том числе почтовыми реквизитами участвовавших в нем организаций, фирм и частных лиц.

В заключение следует сказать, что следующий симпозиум по применению полимеров в бетонах стран Азии состоится 11—13 мая 1997 г. в Японии (г. Корияма). Его организатором является Инженерный колледж Нихонского университета, председателем оргкомитета — проф. университета Иошико Охама.

Проф. Франко Сандролли (Италия) пригласил участников симпозиума принять участие в очередном IX Международном конгрессе по применению полимеров в бетонах ICPIC-98, который состоится в сентябре 1998 г. в Болонье, Италия. Основные темы симпозиума: новые материалы, новые изделия и технологии, фазовые взаимодействия, структура и свойства, моделирование полимербетонных композиций, полимербетонные композиционные материалы для реставрации и консервации памятников и архитектурных элементов, дисперсно-армированные структуры, совершенствование методов испытаний, новые области применения.

УДК 691.327:620.17

*И.Б. УДАЧКИН д-р техн. наук, акад. Международной инженерной академии, вице-президент Корпорации стройматериалов; Г.К. ХАЛПАХЧИ, зав. отделом исследований концерна "Силикат", С.В. ХАЛПАХЧИ, зав. отделом неразрушающих методов контроля; В.Ф. АФАНАСЬЕВА, канд. техн. наук, зав. лабораторией Ростокинского ЗЖБК; Л.Ф. ЛИПСКАЯ, зав. лабораторией МС НПО "Бакерон"; Л.А. ГУСЬКОВА, зав. лабораторией Бескудниковского КСМ*

### Неразрушающие методы контроля прочности и однородности бетона

Ультразвуковой метод контроля, являясь более информативным по сравнению с другими стандартными видами контроля прочности бетона (кубиковым, упругого отскока, местных разрушений и др.), признан самым эффективным методом неразрушающего контроля. Он дает возможность получать максимально достоверную информацию о прочности и однородности изделий, наличии и размерах дефектов. Его можно применять на поверхности любой шероховатости.

Ультразвуковой метод позволяет оперативно выполнять требования ГОСТ 18105—86: принимать бетонные изделия с учетом характеристик однородности на основании контроля непосредственно в конструкциях, решать вопросы корректировки состава бетона и сокращения расхода цемента.

Коллективом специалистов Корпорации стройматериалов России, Украинского национального научно-производственного концерна "Силикат" внедрен ультразвуковой контроль прочности бетона по ГОСТ 17624—0-87 с использованием портативных приборов ультразвукового контроля УК-14П(М) на Ростокинском ЗЖБК, ЗЖБИ-3, ЗЖБИ-2, ДСК-1, ЗЖБИ-18, КСМ-24, Бескудниковском КСМ, МС НПО "Бакерон" и на других

предприятиях строительной индустрии Москвы.

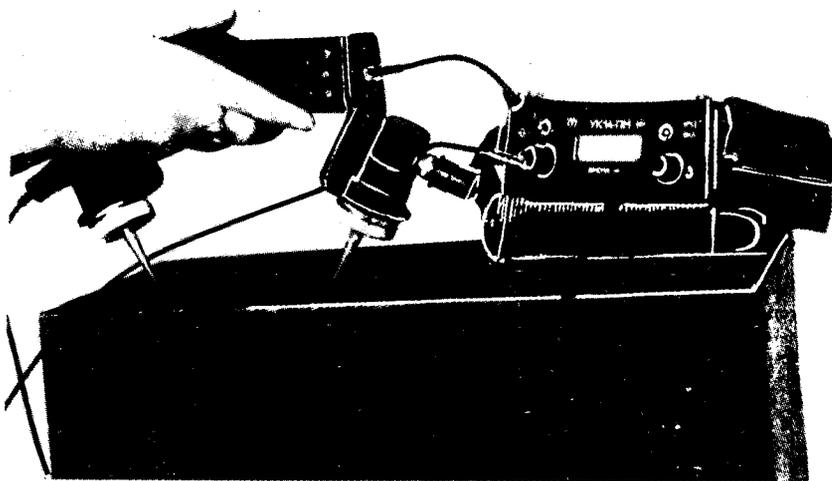
В соответствии с указанным стандартом для конкретных технологических условий установлены градуировочные зависимости "время—прочность" для контроля прочности железобетонных изделий.

В результате перехода на ультразвуковой контроль испытания образцов-кубов на отпускную прочность не проводят (ГОСТ 18105-86), прочность и однородность бетона оценивают по установленным градуировочным зависимостям (таблицам) и

соответствующим методическим рекомендациям.

Ультразвуковой прибор УК-14П(М) предназначен для работы в заводских условиях, а также для оценки прочности конструкций реконструируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений.

В комплект с прибором входит устройство поверхностного прозвучивания (УППР), обеспечивающее точечный контакт с поверхностью бетона (авт. свид. № 4222230/28). Конструкция устройства (см. рисунок) позволяет проводить измерения без



Прибор с устройством для поверхностного прозвучивания бетона

нанесения вязких смазок для создания акустического контакта. Электрическое питание прибора с УППР обеспечивается шестью (тремя) гальваническими элементами типа "Крона" и А343 или заменяющими их аккумуляторами.

Для контроля напряжений стержневой и проволочной арматуры по ГОСТ 22362-77 предлагается микропроцессорный частотный прибор с прямым отсчетом напряжения в натянутой арматуре АП-23 (АП-48). Его можно использовать для производственного операционного и инспекционного контроля арматуры всех видов. Прибор позволяет оперативно контролировать напряжения в арматуре, натянутой механическим, электротермическим и электромеханическим способами; и является по-

лезным инструментом при отработке и корректировке режимов натяжения арматуры.

Для экономии энергоносителей полезным и эффективным является ультразвуковой контроль процессов твердения бетона. Для реализации метода используются серийные ультразвуковые приборы УК-10ПМ, УК-10ПМС, УК-14П в комплекте со специальными тепловлагодостойкими электроакустическими преобразователями. По результатам контроля обеспечивается возможность оптимизации температурно-временных режимов твердения и получения сигнала о достижении заданного значения прочности бетона.

Для определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры в железобетонных конструкциях в условиях

предприятий стройиндустрии, строительных площадок, а также в эксплуатируемых сооружениях используется магнитный прибор ИЗН-10Н.

Более подробную информацию о рассмотренных методах можно получить у Халпахчи Галины Константиновны и Халпахчи Сергея Владимировича (тел. в Москве (095) 360-68-97, тел. в Киеве (044) 213-47-94).

Базовые предприятия в Москве: Ростокинский ЗЖБК, зав. лабораторией — Афанасьева Валентина Федоровна, тел. 180-25-54 (по тяжелому бетону); МС НПО "Бекерон", зав. лабораторией Липская Лидия Федоровна, тел. 485-75-67 (по легкому бетону); БКСМ, зав. лабораторией — Гуськова Людмила Александровна, тел. 406-13-58 (по керамзитобетону).

---

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

*Оригинал-макет изготовлен в Стройиздате  
с использованием настольной издательской системы на основе ПЭВМ*

Корректор *Н.Я. Шатерникова*

Подписано в печать 23.01.97. Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.  
Усл.печ.л. 4,00. Уч.-изд.л. 5,2. Заказ № 78

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

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



## 5-я Московская международная строительная выставка-ярмарка "СТРОЙТЕХ-97"

С 21 по 26 апреля 1997 г. в Сокольниках пройдет международная специализированная выставка-ярмарка "СТРОЙТЕХ-97", организованная Министерством строительства Российской Федерации и Культурно-выставочным центром "Сокольники".

В пятый раз крупнейший строительный форум России соберет в Сокольниках ведущие научно-исследовательские и проектные организации, предприятия малого и среднего бизнеса, производителей и продавцов строительной продукции, представителей известных зарубежных фирм для того, чтобы продемонстрировать новые технологии, экологически чистые строительные материалы, современные машины и механизмы, инженерное оборудование и инструмент для жилищного строительства, в том числе для малоэтажного и коттеджного.

Тематика выставки-ярмарки "СТРОЙТЕХ-97" охватывает практически все сферы строительной отрасли, хотя приоритет отдан ряду наиболее актуальных направлений, среди которых "Энергосбережение", "Новые строительные технологии", "Стройэкология", "Реставрация и реконструкция", "Машины и механизмы", "Сантехника и отопление", "Окна и двери".

В выставке-ярмарке ежегодно участвует более 500 фирм, организаций и предприятий из России, ближнего и дальнего зарубежья. Весенняя ярмарка в Сокольниках — это не только крупнейшая выставка, но и традиционное место встречи специалистов-строителей из разных регионов России, а также центр обмена современной научно-технической информацией по различным областям строительного комплекса.

В рамках выставки-ярмарки "СТРОЙТЕХ-97" пройдут семинары с участием ведущих специалистов России и ряда экспертов строительного рынка из зарубежных стран, а также руководителей и ведущих специалистов Минстроя России, Минэкономики, Минюста, Минфина.

**Желаем Вам успехов и будем рады видеть Вас на выставке-ярмарке  
"СТРОЙТЕХ-97".**

*Наш адрес: Москва, Сокольнический вал. 1. Павильон № 4.*

*Телефоны для справок: (095) 268-07-09, 268-63-23.*

*Факс: (095) 268-08-91, 268-76-03*

*Телекс: 412802.*

*Телетайп: 207927 АТ.*

130

Индекс 70050

**МАЛОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ВНИР"**  
**ПРЕДЛАГАЕТ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
 ЛАБОРАТОРИЙ**

**Оборудование и приборы для определения механических свойств материалов:** пресса и разрывные машины испытательные, приборы для определения твердости, динамометры растяжения от 100 кг до 20 т.

**Термическое оборудование:** Электроды типа СНОЛ, бани комбинированные и водяные лабораторные, пропарочные камеры.

**Приборы и устройства для испытания вяжущих, заполнителей, бетонов, растворов:** формы для бетонных образцов, для формования асфальтобетонных образцов, для испытания щебня (гравия) на дробимость, приборы для определения активности цемента и густоты растворов, вискозиметры Суттарда, сита КСИ, СЦ, СПП и КСВ, воронки ЛОВ для стандартного метода определения насыпного веса песка, бетоносмесители на 25 и 50л, объеммеры для определения объема вовлеченного воздуха в бетонную смесь, мерная металлическая посуда (1, 2, 3, 5, 10л), вибростолы, мешалки для приготовления цементного теста в лабораторных условиях, лабораторные круги истирания АКИ-3.

**Приборы для неразрушающего контроля качества:** склерометры, молотки Кашкарова, ультразвуковые приборы для контроля прочности и морозостойкости бетона, а также для определения предварительных напряжений в арматуре, приборы КЭМ-4 для экспресс-контроля содержания пылевидных и глинистых частиц в щебне, гравии и песке, приборы ИЗС-10Н для измерения защитного слоя бетона и расположения арматуры, виброметры, дозиметры, искатели трубопроводов ИТ-5 для обнаружения подземных коммуникаций, ультразвуковые течейскатели для определения мест негерметичности объектов под избыточным давлением газов, комплекты приборов для определения объемного содержания газов в дымовых и газовых смесях.

**Весы, гири, разновесы.**

**Ареометры.**

**Измерители времени:** секундомеры, часы песочные.

**Измерители влажности и температуры:** психрометры, термометры спиртовые, ртутные, электронные с выносным датчиком, измерители влажности древесины, комбинированные электронные измерители влажности и температуры.

**Химическая и лабораторная посуда:** приборы для определения плотности цемента и заполнителей, эксикаторы, мензурки 500 мл, мерные цилиндры от 25 до 2000 мл, мерные колбы от 25 до 1000 мл, пробирки от 5 до 50 мл, стеклянные воронки, бюретки на 50 мл, пикнометры от 5 до 50 мл.

**Инструменты, приспособления:** линейки металлические 500 мм, лупы измерительные 10-кратные, наборы щупов измерительных, преобразователи напряжения ПР-1000 для электропитания высокочастотного инструмента, штативы лабораторные, уровни строительные (в т.ч. лазерные).

**Сборники нормативно-технических документов (ГОСТов и СНиПов) по строительству.**

**ПРЕДПРИЯТИЕ ПРОИЗВОДИТ РЕМОНТ, МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ПОВЕРКУ  
 ПРИБОРА "АГАМА-2Р" И ДРУГИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ,  
 ОСУЩЕСТВЛЯЕТ УСЛУГИ ПО СЕРТИФИКАЦИИ.**

Заявки с указанием контактных телефонов направлять по адресу:  
 117602, Москва, а/я 282, Малое предприятие "ВНИР" или  
 по телефонам/факсам: (095)413-90-97, 437-22-66, 430-29-47.

ISSN 0005-9889 Бетон и железобетон. — 1997. № 1. 1-32