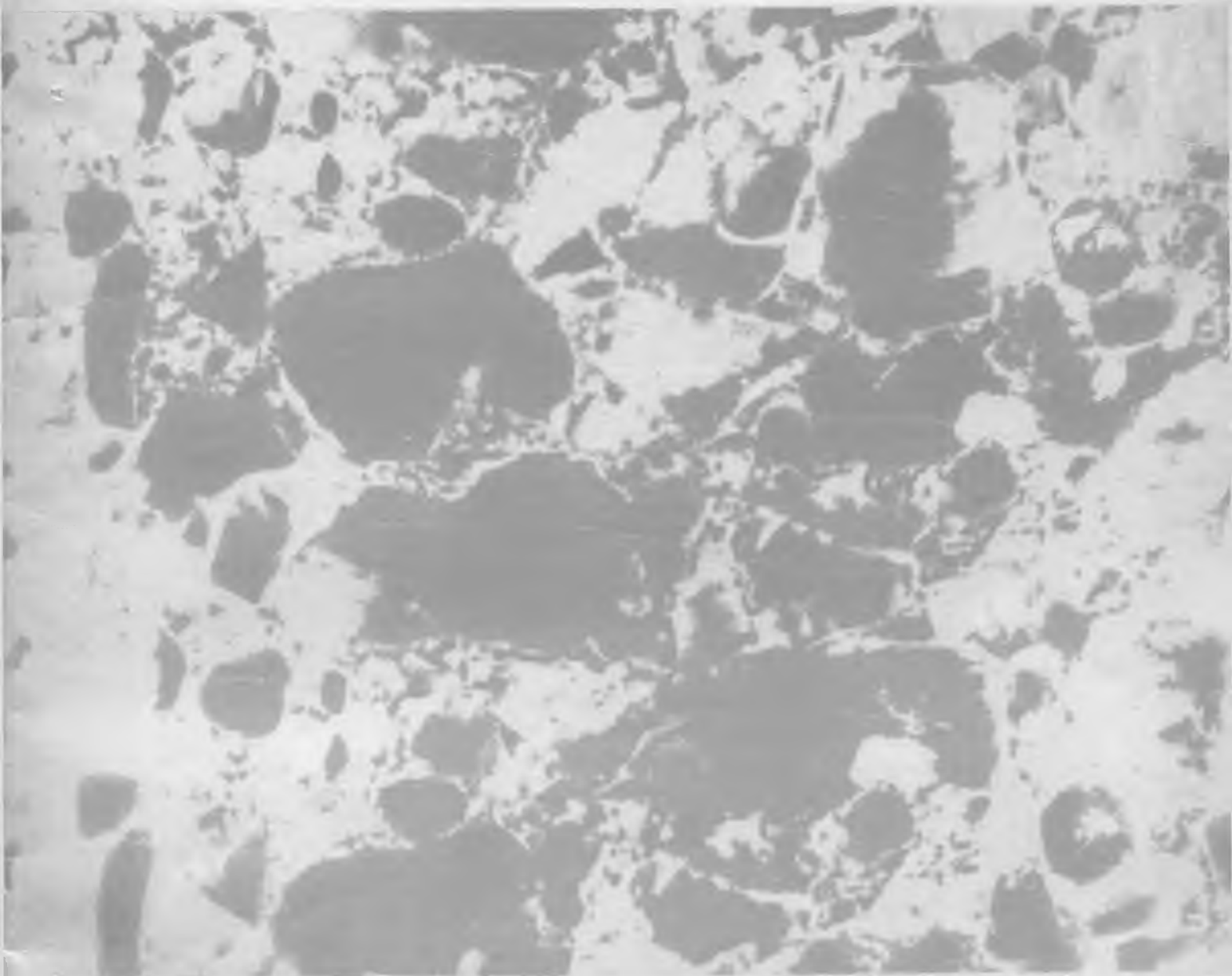


# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

8

1993



## ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОЙИНДУСТРИИ!

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

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

● **передать рекомендации по дуговой резке стержневой напрягаемой арматуры с помощью новых высокопроизводительных электродов марки ОЗР-2 и обеспечить их поставку в требуемом объеме (стоимость 1 т электродов 31 тыс. р).**

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

● **изготовить и поставить высокопроизводительные устройства для сварки под флюсом закладных деталей для жилищного и гражданского строительства.**

**Производительность — 400 сварок/ч, диаметр привариваемых анкеров — 8...14 мм.**

● **поставить новый сварочный флюс, обеспечивающий снижение на 15...20 % металлоемкости закладных деталей для жилищного и гражданского строительства за счет уменьшения толщины плоского элемента.**

**Для анкеров диаметром 10...12 мм обеспечивается возможность использования листового металлопроката толщиной 6 мм.**

**Заявки на выполнение работ направлять по адресу:  
109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, НИИЖБ, сектор сварки.  
Телефоны для справок: 174-81-02, 174-80-26.**

## СОДЕРЖАНИЕ

### Вопросы экологии

*Серых Р. Л., Мамедов Т. И., Волков Ю. С.* Железобетон и защита окружающей среды 2

### Конструкции

*Айрапетов Г. А., Харченко И. Я., Панченко А. И., Березутская Т. Г., Несветаев Г. В., Черемисин В. В.* Обеспечение надежности беснокровных крыш 6  
*Кривов О. Л., Ашкинадзе К. Г.* Расчет пролетной арматуры перекрестных балок-стен 8

### Бетоны

*Булгаков А. В., Чернявский В. Л.* Влияние длительных вибрационных воздействий на свойства бетона 10  
*Мокрушин А. Н.* Влияние минералогического состава на активность клинкера и интенсивность твердения цемента при ТВО 12  
*Аронов Б. Л., Кун П. П., Кузнецова А. Е.* Прогнозирование характера и эффективности действия добавок — ускорителей и замедлителей твердения цемента 13

### Арматура

*Шапиро И. С., Сидлин З. А.* Повышение эффективности арматурно-сварочных работ 15

### Строительное производство

*Топильский Г. В., Бочаров В. В., Баранов В. П., Артман М. М., Шейнин А. М., Эккель С. В.* Эффективный и экологически чистый пленкообразующий состав для ухода за бетоном 17

### Для сельского строительства

*Кудрявцев А. А.* Новые конструкции и изделия для строительства сельских домов 21

### В помощь проектировщику

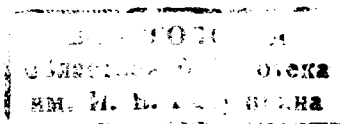
*Ждахин Л. П.* Определение расчетных нагрузок, вызываемых ударами потоков сыпучих материалов по стенкам бункеров 22  
*Роговой С. И., Губий Н. Н., Мартянов В. В.* Расчет несущей способности элементов при косом внецентренном сжатии 23

### В помощь заводским лабораториям

*Власов В. К.* Простой метод определения адсорбционной влажности песка 25

### Теория

*Узун И. А.* Коэффициенты упругопластичности бетона сжатой зоны на всех стадиях работы элементов 26  
*Окунев Г. Н.* Расчет изгибаемых элементов с учетом неупругих свойств бетона 28



Р. Л. СЕРЫХ, Т. И. МАМЕДОВ, д-ра техн. наук, Ю. С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Железобетон и защита окружающей среды

Взаимодействие с окружающей средой обеспечивает собственно жизнедеятельность человека на земном шаре и естественно для любого живого существа. Все зависит от масштабов этого взаимодействия и влияния его на качество жизни.

Рост народонаселения Земли (табл. 1) и экологическая нагрузка на 1 км<sup>2</sup> территории (табл. 2) иллюстрируют возрастающее воздействие человека на окружающую среду [1].

Наиболее тревожно выглядит нагрузка на окружающую среду в малых высокоразвитых странах, но именно там проблемам охраны окружающей среды уделяется наибольшее внимание. В Голландии разработана государственная программа, цель которой к 2010 г. полностью исключить выбросы неочищенных отходов хозяйственной деятельности в окружающую сре-

ду. Программа предусматривает перевод на безотходные технологии всего комплекса промышленных и сельскохозяйственных производств. Отходы, не подлежащие в настоящее время переработке, будут складироваться в специальных отстойниках.

В Голландии количество скота на единицу территории достигло абсолютного максимума, его увеличение свыше трех голов на 1 га запрещено законодательством. Объемы неблагоприятных воздействий на природу таковы, что в настоящее время мы приходим к осознанию того, что человечество разрушает окружающую среду и подрывает собственное будущее. По данным опросов общественного мнения, экологические проблемы в развитых странах стоят впереди социальных. Неблагополучная экологическая среда в той или иной мере отражается на жизни каж-

дого третьего жителя Земли.

Хотя в России средние показатели нагрузки на окружающую среду невелики из-за обширных слабоосвоенных территорий Сибири и северо-восточных районов, в промышленных регионах около 300 городов находятся в зоне экологического бедствия, т. е. около 10 % территории.

Достаточно заметные усилия по охране окружающей среды прикладываются лишь в Западной Европе и США. В США расходы на строительство природоохранных сооружений составляют 20 млрд. долл., или 8 % общего объема строительства (примерно 250 при объеме капложений 440 млрд. долл.— данные за 1991 г.). В странах бывш. СССР капложения на охрану окружающей среды составляли 3,2, или общих затрат 13 млрд. р. (капложения всего 230 млрд. р. по данным за 1990 г.).

Проблема защиты окружающей среды привлекает более пристальное внимание специалистов в области бетона и железобетона. Она носит глобальный характер, и в решении этой задачи бетон и железобетон могут сыграть и играть важную позитивную роль. Загрязнение окружающей среды касается всех трех сред: воздушного бассейна, почвы и водоемов. Лишь защита воздушного бассейна происходит без активного применения железобетона, хотя и здесь существуют возможности переработки улавливаемых выбросов для производства вяжущих. Защита почвы в значительной мере осуществляется путем использования при производстве бетона крупнотоннажных отходов, возведения могильников для токсичных и радиоактивных веществ, а защита водоемов — путем строительства из железобетона коллекторов, отстойников, очистных сооружений и т. п.

В свою очередь, производство бетона и железобетона для традиционных областей применения (промышленное, жилищное строительство и т. п.) ощутимо воздействует на окружающую среду. Так, в период с 1980 по 1990-е гг. производство этих материалов в странах бывш. СССР составило более 2,5 млрд. м<sup>3</sup> (из них на Рос-

Таблица 1

Годы	Численность населения на земном шаре, млн. чел.	Темп роста, %	Период удвоения, гг.
8000 до н. э.	10	0	1000
1 н. э.	300	0	1000
1750	800	0,4	173
1900	1660	0,5	139
1950	2406	0,8	86
1960	3014	1,8	38
1970	3683	2,0	35
1985	4842	1,7	41
2000	6127	1,5	47
2025	8177	0,9	77

Таблица 2

Страна	Потребление энергии, в т нефти	Население, чел.	Автомобили, шт.	Оборудование предприятий, тыс. долл.	Поголовье скота
США	178	23	12	42	12
Франция	307	97	28	174	84
Япония	922	298	47	446	30
Германия	986	248	72	713	145
Бельгия	1348	321	84	593	248
Голландия	1563	334	92	568	334
Россия*	20	8,6	2	6	4

\* Оценки авторов

сию приходится более 60 % указанного объема). Для изготовления этого объема бетона и железобетона было израсходовано 800 млн. т цемента (65 % общего объема производства), 120 млн. т стали (12 % объема), 3,2 млрд. м<sup>3</sup> нерудных материалов (40 % объема), 200 млн. м<sup>3</sup> искусственных пористых заполнителей (60 % объема). Энергетические затраты составили 250 млн. т условного топлива.

Несмотря на столь внушительные цифры положительный эффект от применения железобетона в национальной и мировой экономике ощутимо перевешивает негативные последствия. При использовании иных материалов в объемах, необходимых для народного хозяйства, неблагоприятное воздействие на окружающую среду было бы еще сильнее.

Одним из важнейших показателей экологичности производства строительных материалов является энергетический показатель.

**Расход энергии на производство некоторых строительных материалов, МДж/т (1 МДж=0,341 кг усл. топлива) по данным [2]**

Портландцемент (сухой способ) . . . . .	4046
Шлакопортландцемент . . . . .	3080
Керамзитовый песок . . . . .	885
Пиломатериалы . . . . .	1040
Строительный песок . . . . .	15
Щебень природный . . . . .	99
Товарный бетон класса В25 . . . . .	820
Бетонные блоки . . . . .	1413
Кирпич . . . . .	2610

Монолитный железобетон класса В25 . . . . .	2001
Сборный железобетон . . . . .	2897
Строительная сталь . . . . .	32 292

Цемент — наиболее энергоемкая и экологически наиболее благоприятная компонента бетона. Выше приведены цифры по Германии, в России на производство цемента расходуется 6,5...7,4 гДж/т по мокрому способу и 4,4...5,3 гДж/т — по сухому. В 1950 г. на производство 1 т клинкера в Германии расходовалось 7 гДж, т. е. примерно столько же, сколько сейчас в России. В настоящее время энергетические затраты на производство цементного клинкера в Германии близки к минимально возможному теоретическому значению, равному 2,3 гДж/т. Выбросы цементной пыли в процессе производства,

достигавшие 3,5 % объема производства в 1950 г., в настоящее время практически равны нулю, при этом объем производства цементного клинкера вырос за этот период примерно в 4 раза. Существенно расширилось в Германии и производство смешанных цементов. Там выпускают зольный цемент с содержанием золы до 32,5 %, золошлаковый цемент с содержанием золы и шлака до 35 %, пуццолановый шлакопортландцемент с содержанием шлака до 37,5 % и природного пуццолана до 22,5 %. (По данным [3], на производство 1 т цемента в США расходуется 6,8 МДж.)

Производство бетона ежегодно в мире превышает 2 млрд. т, что намного превосходит производство других видов промышленной продукции, т. е. это безусловно крупнотоннажное производство. В то же время промышленность производит большие объемы отходов, которые также являются крупнотоннажными. Это, прежде всего, вскрышные породы, золы ТЭС, шлаки металлургических производств, объемы образования которых измеряются сотнями миллионов тонн.

Различные виды отходов составляют 4,5 т на одного жителя Земли в год (для развитых стран этот показатель еще выше). Примерно половина этого количества является вскрышными и попутными породами.

Ежегодный объем выхода и переработки отходов топливной и металлургической промышленности в некоторых странах показан в табл. 3 [2].

Таблица 3

Страна	Производство/потребление отходов, млн. т.	
	зола и шлаки ТЭС	металлургический шлак
Великобритания	13,8/1,3	1,5/0,25
Канада	3,3/0,8	2,9/0,2
Франция	5,1/2,0	10,4/1,9
ФРГ	15/10	15/2,8
Швеция	0,1/0,02	0,1/0,03
Япония	3,7/0,5	7,8/2,8
КНР	34	
США	82/20	13/1
СНГ*	120/13	80,5/62
Россия*	80/8	45/35

\* Оценки авторов

Бетон на 80 % объема состоит из щебня и песка, часть которых можно успешно заменить различными отходами. Последние используют как для производ-

ства исходных материалов — цементов, заполнителей, добавок, так и для приготовления собственного бетона. На обозримую перспективу тепловые электростанции в России останутся основными производителями электроэнергии и выбросы шлака в окружающую среду не уменьшатся. Экспериментальные данные показывают, что использование золы ТЭС в бетоне может достигать при использовании добавок-модификаторов 200 кг/м<sup>3</sup>. Иными словами, при содержании в 1 м<sup>3</sup> бетона 150...200 кг золы ее переработка только для производства бетона может составить 22...30 млн. т, или 35...45 % объема ее образования, т. е. возрасти в 10...15 раз.

При этом применение зол ТЭС в производстве изделий из бетонов позволяет сократить расход цемента на 5...15 %, уменьшить среднюю плотность бетона, повысить теплозащитные свойства конструкций. Мировая практика также подтверждает эффективность применения золы в технологии бетона [4].

Так, в Германии за последние годы выпущено более 150 млн. м<sup>3</sup> бетона с добавкой золы. Около 80 % зданий строят из бетона на основе золы и шлаков. Использование золы-уноса в Германии превышает 4 млн. т и составляет 70 % объема ее образования, в Финляндии — 90 %, Японии — 40 %, а выпуск цемента с добавкой золы превышает 20 млн. т (25 %). В США использование золы превышает 20 %; 40 % общего объема производства бетона изготавливают с золой. Однако объемы утилизации золы пока еще невелики по сравнению с объемами ее накопления.

По прогнозу в ближайшие 20 лет объемы переработки золы в России едва ли достигнут 15 %, что объясняется отсутствием производств по подготовке золы при ТЭС, значительными объемами ее производства в отдельных регионах и неэкономичностью транспортирования на большие расстояния. Выход видится в государственном регулировании этого процесса, как составной части природоохранных мероприятий.

Ежегодный объем шлаков черной металлургии в странах СНГ составляет около 80 млн. т, в том числе: доменные — 45, сталеплавильные — 25 и др. Из них сливается в отвалы: доменных шлаков — 3 (6 % общего объема),

сталеплавильных — 13 млн. т в год (54 %). Из общего объема выхода шлаков не используется около 22 % (данные за 1990 г.).

В последние годы разработаны новые виды пористых заполнителей из отходов металлургической промышленности. К ним, в первую очередь, следует отнести гравиеподобные пористые заполнители, производимые из шлаковых расплавов.

Из зарубежного опыта следует упомянуть Австрию, где более 90 % легких бетонов для ограждающих и несущих конструкций зданий изготовляют на основе малознергоемкой шлаковой пемзы. Отвалы доменные шлаки можно использовать и в качестве компонента сырьевой смеси (до 50 %) при производстве керамзита [5].

Всего в общем объеме производимых пористых заполнителей на долю заполнителей из отходов промышленности приходится 12...14 %.

Если доменные шлаки в промышленно развитых странах используют почти полностью, то сталеплавильные шлаки утилизируют в меньших объемах. Тем не менее объем их переработки в мире превышает 40 млн. т в год, в основном в дорожном строительстве (подсыпки оснований и пр.), но есть много примеров успешного их применения для производства цемента и заполнителей. Не велик объем использования отходов цветной металлургии — хвостов обогащения, шлаков, хотя эти материалы применимы в строительстве для самых разнообразных целей, и не в последнюю очередь для производства цемента.

Шламы производства алюминия — нефелиновые шламы — можно использовать для производства цемента, что позволит повысить производительность печей до 30 % и снизить расход топлива до 25 %.

Помимо отходов энергетики и металлургии ежегодно в народном хозяйстве России направляется в отвалы около 1,5 млрд. т вскрышных пород, 150 млн. т шахтных пород, 140 млн. т отходов углеобогащения. Только 5...10 % исходных ресурсов переходит в готовую продукцию, остальные в виде отходов поступают в окружающую среду. В то же время почти 70 % вскрышных и шахтных пород пригодны для получения строительных материалов.

Из отходов углеобогащения, составляющих примерно 0,15 т на 1 т угля, путем обжига получают легкий заполнитель — аглопорит. По данным ВНИИЭСМа, утилизация отходов углеобогащения пока не превышает 12...15 % их выхода.

При разработке пильного камня в карьерах образуется до 50 % отходов, пригодных для переработки в пористые заполнители. Организация производства таких заполнителей, их дробления и фракционирования на базе отвалов каменных карьеров требует незначительных капитальных затрат.

В процессе заготовки и переработки древесного сырья образуется значительное количество отходов. Их ежегодный выход составляет более 200 млн. м<sup>3</sup>. Кроме того, древесные отходы (25 млн. м<sup>3</sup>/год) образуются на городских предприятиях (тара, упаковка, деревянные ограждения), большую часть которых сжигают.

В то же время производство бетона с применением древесных отходов — арболита составляет менее 1 % потенциальных возможностей; это при том, что 1 м<sup>3</sup> древесных отходов, переработанных на арболит, высвобождают 1,5 м<sup>3</sup> пиломатериалов.

Кроме отходов обработки дерева хвойных пород для производства арболита можно использовать отходы древесины лиственных пород, стеблей хлопчатника, рисовой соломы, лузги и других органических заполнителей. При прочности 2,5...5 МПа плотность арболита составляет менее 600 кг/м<sup>3</sup>, т. е. по показателям не уступает ячеистому бетону.

В Австралии компанией «Нейтролазис» разработан способ получения пористого заполнителя с одновременной переработкой бытовых отходов. Смесь в пропорции 1 т мусора, 1 т глины и 300 л жидких бытовых отходов загружают во вращающую печь и обжигают при 1200 °С. На выходе получается 1,3 т пористого заполнителя типа «керамзит».

Для производства бетона и железобетона можно использовать также отходы химической, лесохимической, нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности для приготовления добавок, способных придавать бетону новые свойства.

При реконструкции и сносе морально устаревших дорог, зда-

ний и сооружений образуются отходы бетонного лома, объемы которого достигают в США 60 млн. т ежегодно, в Японии — 12, в странах ЕЭС — 50 млн. т. В США перерабатывается ежегодно более 20 млн. т бетонных отходов. Доказана возможность повторного использования регенерированного заполнителя для получения бетонов прочностью до 40 МПа.

В России ежегодно образуется около 4 млн. т отходов бетона и железобетона. На складах и свалках скопилось около 25 млн. т бетонного лома, вовлечение которого в хозяйственный оборот дало бы значительный объем щебня и 0,8 млн. т металла.

В Германии в 1990 г. переработкой строительных отходов занималось около 300 компаний, общий объем таких отходов оценивается 35...40 млн. т [6]. Примерно треть компаний перерабатывает более 100 тыс. т ежегодно. Сюда не входят отходы при карьерных работах. Примерно половина отходов — это отходы при реконструкции дорог, четверть — при реконструкции зданий и т. д. 96 % всех отходов находит новое применение после переработки на щебень крупностью до 200 мм различных фракций в виде подсыпок под основания второстепенных дорог, дамб и др. Аналогичная картина наблюдается в Великобритании, где объем этих отходов составляет примерно 25 млн. т. Строительные отходы в этих странах относятся к опасным.

В Германии ведется большая работа по регенерации бетона (его составляющих, в том числе воды), теряемого при очистке автобетоносмесителей (объем остатка достигает примерно 70 л на смеситель вместимостью 3...5 м<sup>3</sup>), и возврату его со строительных объектов. Объем этих потерь оценивается 3 % общего объема производства товарного бетона.

В странах СНГ общее количество отходов строительной промышленности составляет около 300 млн. т в год. Их успешная утилизация требует усовершенствования и удешевления технологий по их переработке.

Важнейшую роль играет бетон как основной материал для возведения природоохранных сооружений: отстойников, коллекторов, труб аэротенков, защитных облочек АЭС и др. Отсутствие этих сооружений было бы необратимо катастрофическим.

В рамках международных строительных организаций вопросы охраны окружающей среды заняли заметное место лишь в последнее время. Симпозиум Международной федерации по железобетону (ФИП) в Будапеште в 1992 г. был первым тематическим мероприятием и для этой организации. До этого лишь в рамках комиссии ФИП «Напорные сосуды и защитные оболочки» были подготовлены обзорные документы по применению железобетона для защиты окружающей среды при сооружении АЭС. В настоящее время в мире действует примерно 450 энергоблоков АЭС, из них 26 имеет железобетонные корпуса реакторов, в основном во Франции и Великобритании, в том числе 4 реактора с железобетонными корпусами было построено совсем недавно. Построено также 150 железобетонных защитных оболочек, как с напряжением арматуры, так и без. В рамках Европейского комитета по бетону (ЕКБ) в комиссии IV «Возведение» создана рабочая группа «Экологически безопасное строительство».

В материалах симпозиума ФИП в Будапеште было показано, что концентрация потенциальной энергии во многих инженерных объектах (резервуарах для хранения сжиженного газа, реакторах АЭС) такова, что с помощью чисто строительных средств невозможно возвести защитное сооружение, которое удержало бы продукты аварии в каком-то замкнутом пространстве. Например, потенциальная энергия сжиженного газа, находящегося в резервуаре вместимостью 50 тыс. м<sup>3</sup>, составляет 1,130 ТДж (10<sup>12</sup>), что равно энергии, освобождаемой при взрыве бомбы мощностью 250 кт или более, и в 10 раз больше, чем атомная бомба, сброшенная на Нагасаки [7].

Всего в мире построено более 200 резервуаров для хранения СПГ. Тенденция к увеличению их вместимости пока сохраняется, во всяком случае в Японии проектирован резервуар вместимостью 300 тыс. м<sup>3</sup>. По соображениям безопасности он заглублен в землю. Его днище находится на отметке 75 м, фундамент (стена в грунте) заглублен до отметки 130 м, толщина днища 12 м, стенок 6,6 м.

Статистика показывает, что число промышленных аварий растет из года в год. В 1987 г. в

мире произошло 120 промышленных аварий с числом погибших более 100, около 1000 пострадавших и более 100 тыс. эвакуированных.

Резервуары для хранения взрывоопасных и токсичных сред реагируют на такие внешние воздействия, как землетрясение, ураганы, падение массивных обломков, снарядов и даже самолетов. В реальных авариях зарегистрированы случаи, когда фрагменты оборудования массой до 70 т были отброшены на расстояние до 300 м.

Из крупных природоохранных объектов, возведенных из железобетона, в последние годы следует назвать хранилище для химических отходов, возведенное вблизи Роттердама вместимостью 210 тыс. м<sup>3</sup>. Отходы имеют перспективу переработки в будущем. Расчетный срок эксплуатации 150 лет. При хранилище организованы службы надзоров, включая лабораторию. Стоимость резервуара составила 24 млн. голландских гульденов, или 162 гульдена (100 долл. США) на 1 м<sup>3</sup> складываемых отходов.

Важным качеством бетона, применяемого для природоохранных сооружений, является его непроницаемость. За рубежом для повышения непроницаемости разработаны регенерирующие бетоны, в состав которых вводятся микронаполнители, вступающие в химическую реакцию с материалом хранения в процессе его фильтрации через толщину бетона, результатом которой являются уплотняющие новообразования, повышающие стойкость бетона в данной среде. Аналогичную функцию выполняет фибровое армирование из синтетических волокон с внутренней полостью. Внутри этой полости содержатся клеящие составы, вытекающие при разрыве волокна в случае образования микротрещин в теле бетона. Этот клеящий состав залечивает образовавшийся дефект. Помимо использования бетона в качестве среды для удержания вредных веществ есть разработки, когда собственно вредные вещества при определенных ограниченных концентрациях (фенолы, ароматические гидрокарбонаты и др.) подмешивают в состав бетона, где они надежно изолируются. Для этих целей разработаны специальные модифицированные цементы.

В общей концепции защиты окру-

жающей среды основное внимание уделяется снижению выбросов токсичных веществ, повышенному уровню очистки промышленных отходов, анализу воздействия различных веществ на природные процессы. В то же время в общем экобалансе накопление крупнотоннажных промышленных отходов, прежде всего зол и шлаков, анализируется недостаточно.

Проблема защиты окружающей среды строительными средствами носит глобальный характер, что требует международного сотрудничества в этой области. Важными результатами такого сотрудничества может быть разработка экологической концепции применения бетона и железобетона в строительстве, включая методики оценки ущерба, наносимого окружающей среде от крупнотоннажных отходов, государственное регулирование их переработки.

В общественном сознании сложились определенные стереотипы приоритетов в области научных исследований. Так, традиционно не вызывает сомнений необходимость государственного финансирования космических программ, борьбы со СПИДом. Государственное финансирование исследований по переработке промышленных отходов для производства необходимых строительных материалов, как средства защиты окружающей среды, должно стать столь же значимым, как и упомянутые выше программы.

Помимо широкого финансирования исследовательских работ по переработке отходов (а ущерб здоровью и жизни людей на сегодня от загрязнения окружающей среды неизмеримо выше, чем от СПИДа) следует разработать на международном уровне целый комплекс мер. В области строительства следует организовать международную ассоциацию по этой проблеме под эгидой ООН.

В существующих международных организациях по строительству — ФИП, ЕКБ, РИЛЕМ, АИПК и других необходимо создать специальные технические комиссии и органы координации этой работой, целесообразно издание специального журнала, переводимого на основные языки мира.

Таким образом, актуальны анализ по объемам производства различных отходов и попутных материалов, используемых для производства бетона, главным образом

зол, шлаков, отходов ГОК и других; составление на каждый вид этих материалов экологических карт или паспортов, включающих данные по затратам энергии на их производство; возможности использования для строительных целей; качественная, а в перспективе и количественная, оценка степени защиты и (или) ущерба, наносимого окружающей среде при их использовании или неиспользовании; оценка его природности, включая долговечность получаемых материалов, классификацию попутного сырья, физико-механические свойства строительных материалов с использованием отходов; разработка новых технологий подготовки зол и шлаков для введения в бетон, главным обра-

зом, с применением добавок-модификаторов; разработка критериев экологической надежности железобетонных конструкций природоохранных сооружений и т. п.

Применение зол и шлаков должно стать обязательным условием производства бетонных и железобетонных конструкций, обеспечивающим минимальное потребление природных ресурсов, снижающим энергоемкость бетона, улучшающим его эксплуатационные свойства и способствующим эффективности защиты окружающей среды.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Environment and technology. Directory of Environmental techniques. Ministry of Housing-Planning and the Environment, Netherlands, 1991.— PP. 16—32.
2. G. Wischers, K. Kuhlman. Eco-balance of Gement and Concrete // Betonwerk + Fertigteil—Technik.— N 11.— 1991.— S. 33—40.
3. B. Drake. Fly ash in your future? — Concrete producer news.— March 1990.— P. 40.
4. R. Serykh, Yu. Volkov, T. Bremner. Concrete and the Environment. Proceedings of the World Building Congress, Montreal, Canada.— May 1992.— T. 2.— PP. 292—294.
5. L. Lohaus. Umweltschutz mit Beton // Beton.— N 6.— 1990.— S. 235—239.
6. K. Krass, M. Knauber, H.— H. Wesselborg. Accumulation, processing and utilization of building waste // Baustoff Recycling—Deponietechnik.— 1991.— N Spec.— S. 5—12.
7. Rnvironmental protection and Structural Concrete.— Proceedings of the FIP Simposium, Budapest, May, 1992.

## КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.046.5:69.024

Г. А. АЙРАПЕТОВ, д-р техн. наук, проф., И. Я. ХАРЧЕНКО, А. И. ПАНЧЕНКО, Т. Г. БЕРЕЗУТСКАЯ, Г. В. НЕСВЕТАЕВ, кандидаты техн. наук, В. В. ЧЕРЕМИСИН, инж. (Грозненский нефтяной ин-т)

### Обеспечение надежности беспокровных крыш

Применение железобетонных конструкций, совмещающих несущие, гидро- и теплоизолирующие функции, открывает принципиально новые возможности повышения индустриализации кровельных работ. Беспокровные чердачные крыши отвечают прогрессивным тенденциям развития строительства.

Анализ опыта применения беспокровных крыш показывает, что при создании новых конструктивных решений и нормировании качества кровельного бетона необходимо учитывать комплекс воздействий внешней среды на покрытие в процессе эксплуатации.

В настоящее время отсутствует единая точка зрения о требуемых свойствах, гарантирующих воз-

можность его использования для кровельных изделий. Между тем в последние годы получено достаточно много новых сведений по результатам исследовательских работ и анализу эксплуатации беспокровных крыш [1, 2] и др.

Выполненные ранее исследования позволяют сформировать основные требования к кровельному бетону для III и IV климатических районов: класс прочности на сжатие не ниже В15, морозостойкость не менее F300 и водонепроницаемость не ниже W8. Однако долговечность панелей беспокровных крыш в большой степени определяется их усадочной и температурной трещиностойкостью, зависящей в том числе от конструктивных реше-

ний панелей и крыши в целом.

По данным [1], в 30 % отказов беспокровных крыш причиной являются недостатки конструктивного решения. Существующие методы проектирования панелей беспокровных крыш не учитывают в полном объеме их фактическую работу в условиях циклических изменений температуры и влажности среды. Некоторые исследования показывают, что температурные воздействия вызывают усилия и деформации в конструкциях, сопоставимые с усилиями и деформациями от нагрузки [3...5]. Приведенные работы не содержат рекомендаций по оптимальному проектированию панелей беспокровных крыш и противоречат друг другу по вопросу температурных деформаций.

В частности, в работах [3, 4] указывается на увеличение прогиба в зимний период, в то время как в [5] отмечен обратный процесс. Неясен механизм возникновения растягивающих напряжений на лицевой поверхности панели в зимний период [4]. Вывод о целесообразности использования легких бетонов противоречит предыдущим положениям работы. Кроме того, методика исследований [4] не соот-



Толщина конструкции, мм	Температурный градиент, °С	Пролет, м			
		3	4	5	6
100	10	(-0,03) $\frac{2,70}{6,72}$	(-0,39) $\frac{13,00}{25,74}$	—	—
	20	(0,43) $\frac{1,67}{7,74}$	(-0,06) $\frac{10,60}{28,12}$	—	—
	30	(0,89) $\frac{0,65}{8,77}$	(0,51) $\frac{8,20}{30,55}$	—	—
200	10	(0,19) $\frac{0,42}{1,70}$	(0) $\frac{2,0}{4,63}$	(-0,28) $\frac{7,51}{13,68}$	(-0,6) $\frac{16,77}{27,17}$
	20	(0,62) $\frac{-0,1}{2,2}$	(0,39) $\frac{1,12}{5,55}$	(0,16) $\frac{5,64}{15,54}$	(-0,15) $\frac{14,04}{29,90}$
	30	(1,06) $\frac{-0,61}{2,73}$	(0,86) $\frac{0,20}{6,47}$	(0,60) $\frac{3,77}{17,44}$	(0,23) $\frac{11,4}{32,5}$
300	10	(0,26) $\frac{0,07}{0,83}$	(0,13) $\frac{0,70}{2,15}$	(-0,05) $\frac{2,25}{4,72}$	(-0,26) $\frac{5,27}{9,18}$
	20	(0,71) $\frac{-0,27}{1,18}$	(0,57) $\frac{0,09}{2,76}$	(0,39) $\frac{1,30}{5,67}$	(0,18) $\frac{3,90}{10,56}$
	30	(1,15) $\frac{-0,62}{1,52}$	(1,02) $\frac{-0,52}{3,37}$	(0,83) $\frac{0,34}{6,62}$	(0,62) $\frac{2,52}{11,93}$

Примечания: 1. В скобках даны напряжения, МПа (со знаком «минус» — сжимающие). 2. Над чертой — прогибы, мм, в летний период, под чертой — то же в зимний (со знаком «минус» — выгибы).

ветствует натурным условиям эксплуатации конструкции.

Для определения общего характера работы железобетонных панелей беспокровных крыш в условиях эксплуатации проводили расчетно-теоретические исследования с проверкой основных выводов методом измерений деформаций панелей на эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданиях с чердачной беспокровной крышей. Теоретические исследования включали определение прогибов и напряжений от нагрузки, температуры и усадки в зависимости от пролета и толщины конструкции. Расчеты выполняли по СНиП 2.03.04—84, СНиП 2.03.01—84 для керамзитобетона класса В15 Д1600. Анализ полученных результатов (см. таблицу) показывает, что увеличение температурного градиента приводит к росту растягивающих напряжений на лицевой поверхности панели и снижению суммарного прогиба (вплоть до выгиба) в летний период. В зимний период увеличение температурного градиента повышает суммарный прогиб в зависимости от пролета и толщины конструкции до двух раз, что согласуется с данными [4].

Увеличение толщины конструкции при постоянном пролете приводит к росту растягивающих напряжений на лицевой поверхности в летний период и доли температурных деформаций в их общем объеме. Увеличение пролета при постоянной толщине конструкции способствует снижению растягиваю-

щих напряжений на лицевой поверхности в летний период, увеличению суммарных прогибов и к снижению доли температурных деформаций в их общем объеме.

В настоящее время толщина керамзитобетонных панелей покрытия в зданиях с теплым чердаком назначается на основании теплотехнического расчета с целью обеспечения требуемого термического сопротивления [6]. При выборе оптимального соотношения толщины и пролета конструкции следует учитывать, что увеличение толщины будет повышать температурный градиент и, следовательно, растягивающие напряжения на лицевой поверхности в летний период (для керамзитобетона Д1600 расчетный температурный градиент составит 12,1; 18,8; 25,3° соответственно при толщине панели 100; 200 и 300 мм). Оптимальное соотношение толщины пролета панели будет лимитироваться напряжениями на лицевой поверхности в летний период и суммарным прогибом — в зимний. Необходимая по существующим требованиям I категория трещиностойкости лицевой поверхности конструкции, фактически работающей на выносливость, будет обеспечена при соблюдении усло-

$$\sigma_{bt} \leq \gamma_{b1} \gamma_{bt} R_{bt, ser}$$

где  $\gamma_{b1}=0,6$  — коэффициент условий работы легкого бетона в состоянии естественной влажности при коэффи-

циенте асимметрии цикла 0...0,1 (табл. 16 СНиП 2.03.01—84);  $\gamma_{bt}=0,5$  — коэффициент условий работы бетона при многократно повторяющейся нагрузке с переменным увлажнением (табл. 16 СНиП 2.03.04—84).

Анализ работ, посвященных долговечности керамзитобетонных [7, 8], показывает, что значение  $\gamma_{b1} \gamma_{bt}$  должно составлять 0,2...0,25.

Теоретические выводы подтверждаются результатами экспериментальных исследований по изучению влияния температурного градиента на деформации кровельных панелей из керамзитобетона класса В15 Д1600 толщиной 250 мм на одном из жилых домов с чердачной крышей серии 92С в Грозном. Деформации кровельных плит измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, установленными на специальных приспособлениях; температуру на лицевой и внутренней поверхностях плиты — хромель-копелевыми термопарами. В период наблюдений отмечен максимальный температурный градиент 21 °С. Результаты исследований представлены на рис. 1. Совпадение расчетных и экспериментальных данных подтверждает справедливость полученных выводов о характере работы железобетонных панелей беспокровных крыш.

Анализ полученных данных показывает, что для обеспечения долговечности панелей беспокровных крыш следует изготавливать элементы беспокровной крыши из бетонов, отвечающих не только указанным выше требованиям по морозостойкости (термоморозостойкости) и водонепроницаемости, но и

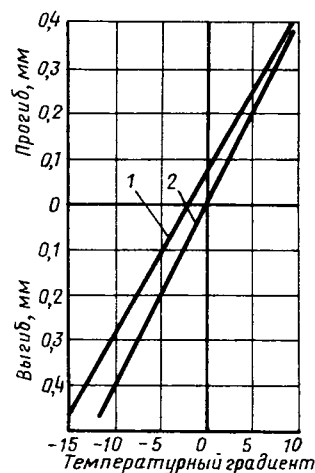


Рис. 1. Температурные деформации панели покрытия  
1 — экспериментальные данные; 2 — расчетные данные при  $\alpha_b=1 \times 10^{-5}$

обладающих повышенной прочностью на растяжение.

Растягивающие напряжения в плите покрытия можно снизить и путем ограничения температурного градиента по сечению. Это можно осуществить двумя способами. Первый — уменьшение термического сопротивления панели покрытия в результате снижения ее толщины либо увеличения плотности бетона. Оба варианта имеют ограничения по применению, связанные с долговечностью материала и режимом работы чердака. При снижении термического сопротивления покрытия возможен переход от теплого чердака к закрытому, система которого нуждается в серьезном исследовании эксплуатационного режима ограждающих конструкций и вытяжной вентиляции в различных климатических условиях [9]. Однако расчеты по методике [6] показали, что при толщине покрытия 100 мм из керамзитобетона в 9-этажных зданиях при температуре наружного воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$  система будет работать в режиме теплого чердака. Второй способ снижения температурного градиента — защита поверхности панели от радиационного нагрева, т. е. отказ от беспокровных крыш.

По результатам проведенных исследований на рис. 2 представле-

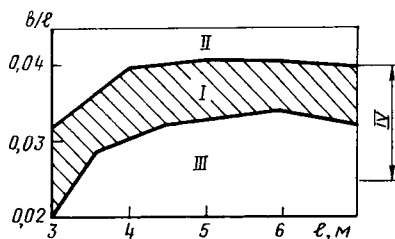


Рис. 2. Рекомендации по выбору оптимальной толщины панели области: I — рекомендуемая для керамзитобетонных панелей беспокровных крыш; II — «опасных» растягивающих напряжений на лицевой поверхности в летний период; III — недопустимых прогибов в зимний период; IV — рекомендуемая для обычных плоских перекрытий

ны оптимальные соотношения толщины и пролета беспокровных панелей из керамзитобетона Д1600, обеспечивающие для здания высотой девять и более этажей режим теплого чердака в III климатической зоне.

Таким образом, долговечность панелей беспокровных крыш можно обеспечить только исходя из учета конкретных условий эксплуатации при конструировании и выборе бетона. Предлагаемый подход к проектированию панелей беспокровных крыш позволяет создать рациональные конструкции и разработать обоснованные нормативные требования к кровельному бетону.

УДК 69.057.12.413:624.92

О. Л. КРИВОВ, канд. техн. наук, К. Г. АШКИНАДЗЕ, инж. (ЦНИПИмонолит)

## Расчет пролетной арматуры перекрестных балок-стенок

Использование монолитного технического этажа над первым, нежилым, в зданиях крупнопанельного и монолитного домостроения позволяет решить архитектурно-планировочные задачи, увеличив свободные площади нежилого этажа. Большая изгибная жесткость перекрестных балок-стенок позволяет освободить пространство нежилого этажа за счет отказа от части пилонов в поперечном направлении здания под одной или несколькими несущими стенами. Таким образом получается «висячая»

балка-стенка, опорами для которой будут служить балки-стенки продольного направления.

Такой принцип был заложен при проектировании первых нежилых этажей из монолитного бетона под жилые здания серии 97—013, разработанные Пермгражданпроектом (рис. 1). Особенностью выбранного решения является наличие нескольких «висячих» точек в плане в местах пересечения балок-стенок продольного и поперечного направлений, а также двух проемов в опорной балке-стенке (ось Б).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомичева О. Г., Дмитриев А. С. Железобетонные покрытия крыш без поверхностной гидроизоляции // Жилищное строительство.— 1989.— № 12.— С. 16—17.
2. Беспокровная крыша с теплым чердаком / Г. А. Айрапетов, А. И. Панченко, Г. В. Несветаев, Н. М. Селезнев // Жилищное строительство.— 1988.— № 9.— С. 3.
3. Киевская Т. Н. Учет эксплуатационных воздействий при проектировании крыш // Жилищное строительство.— 1987.— № 12.— С. 21—23.
4. Стронгин Н. С., Киевская Т. Н. Уточнение расчета легкобетонных панелей покрытий в крышах с теплым чердаком // Бетон и железобетон.— 1987.— № 10.— С. 23—25.
5. Фазылов У., Юсулов Р. Р., Мукумов Т. Деформации кровельных плит безрулонных крыш при эксплуатации // Бетон и железобетон.— 1988.— № 6.— С. 20—22.
6. Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий / НИИстройфизикн.— М.: Стройиздат, 1990.— 233 с.
7. Изменение свойств бетона при переменных воздействиях температуры и увлажнения / А. Ф. Милованов, Л. И. Аргунова, И. Н. Заславский и др. // Бетон и железобетон.— 1987.— № 4.— С. 16—17.
8. Подвальный А. М. Элементы теории стойкости бетона и железобетонных изделий при физических воздействиях среды: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук.— М.: НИИЖБ, 1986.— 41 с.
9. Мазалов А. Н. Типы чердаков в железобетонных крышах // Жилищное строительство.— 1989.— № 11.— С. 16—17.

В поперечном направлении здания в осях 1 и 2 конструкция работает как неразрезная двухпролетная сборно-монолитная система.

Учитывая, что совместная работа перекрестных балок-стенок при двух проемах в одной из них достаточно сложна, в ЦНИПИмонолите изучены особенности деформирования и разрушения такой конструкции на опытном образце, выполненном в масштабе 1:2,5 и нагруженном равномерно распреде-

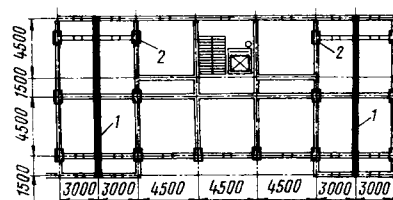


Рис. 1. План технического этажа жилого дома серии 97—013  
1 — висячая стена; 2 — пилоны нежилого этажа

ленной нагрузкой. Образец изготовляли в едином цикле без технологических швов из бетона класса В15. Перемычки запроектированы так, чтобы избежать их преждевременного разрушения.

Внешнюю нагрузку на балку-стенку с проемами передавали по линии контакта перекрестной системы. Однако образовавшиеся за этап до разрушения наклонные трещины в простенке между проемами от действия растягивающих усилий не повлияли на несущую способность образца. Разрушение конструкции началось с текучести пролетной арматуры при нагрузке 320 кН. При этом резко развились наклонные трещины, имеющие начало от внутреннего угла проема в сторону внешней нагрузки. Над их вершинами произошло раздавливание сжатого бетона балки-стенки.

Теоретические исследования выполняли методом конечных элементов в упругой постановке с использованием программного комплекса «Лира». Конструкцию моделировали плосконапряженными прямоугольными и треугольными конечными элементами, пролетную арматуру — стержневыми элементами рамного типа для учета ее возможного изгиба у граней проема.

Для моделирования перемычек, учитывая специфику их работы как высоких балок, применяли специальную рамку из стержневых элементов общего типа (с учетом сдвиговой жесткости), вертикальные стержни которой были абсолютно жесткими, а горизонтальный — содержал информацию о реальной жесткости перемычки. Благодаря этому удается получить информацию об усилиях в перемычке как в обычной балке (т. е. поперечную и продольную силу и изгибающий момент).

Из-за наличия широкого проема ожидалась значительная концентрация напряжений в бетоне и арматуре вблизи его граней. В действительности такой концентрации не происходит, так как сцепление арматуры с бетоном имеет конечную жесткость и пики напряжений сглаживаются. Для того чтобы получить возможно меньшее искажение напряженного состояния, между узлами арматурного стержня и примыкающих бетонных элементов, вводили связевые элементы конечной жесткости. Закон сцепления записывали в виде

$$\tau_c = Kg, \quad (1)$$

где  $g$  — перемещение взаимного сдвига узлов арматуры и бетона;  $\tau_c$  — напряжение сцепления,  $K$  — параметр жесткости связи.

Значение  $K$ , как показали исследования [1], зависят от глубины и шага профилирования арматуры. Поскольку эти параметры не нормируются и обычно неизвестны,  $K$  оценивали косвенным путем.

Дифференциальное уравнение взаимных сдвигов бетона и арматуры при законе сцепления (1), согласно [1], записывается в виде

$$\frac{d^2g}{dx^2} - \frac{4K}{d_s E_s} g = 0, \quad (2)$$

(предполагается, что арматура имеет круглое сечение и ее площадь мала по сравнению с площадью бетонного массива). Ограниченное на бесконечности решение этого уравнения имеет вид

$$g = g_0 e^{-x \sqrt{\frac{4K}{d_s E_s}}}, \quad (3)$$

откуда радиус затухания сдвигов

$$l_{an} = \sqrt{\frac{d_s E_s}{4K}}. \quad (4)$$

Величина  $l_{an}$  является необходимой длиной анкеровки арматуры и согласно СНиП 2.03.01—84 равна:

$$l_{an} = \left(0,7 \frac{R_s}{R_b} + 11\right) d_s, \quad (5)$$

или при арматуре из стали класса А-III и бетоне класса В15 около  $35 d_s$ . Отсюда

$$K = \frac{E_s}{4900 d_s}. \quad (6)$$

Найденную жесткость  $K$  привели к жесткости дискретных связевых элементов умножения на размер шага сетки и на толщину образца.

Распределение напряжений в арматуре по данным теоретического расчета при перемычке, жестко заземленной в простенках (рис. 2), показало, что учет податливости связей сцепления значительно сгладил эпюры напряжений и уменьшил ее максимальную ординату примерно на 40 %.

Сопоставление расчетных и опытных результатов производили по данным о напряжениях в арматуре в месте проема на разных стадиях нагружения. При нагрузке, близкой к разрушающей, напряжения в арматуре  $\sigma_s$  достигли предела текучести.

В то же время в расчете получены значения  $\sigma_s$ , в 2...3 раза меньше экспериментальных, что

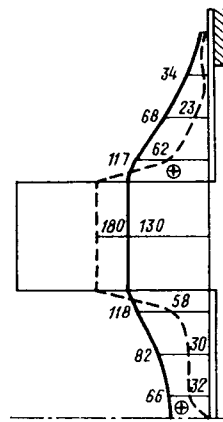


Рис. 2. Эпюры напряжений  $\sigma_s$  в арматуре — при жестких связях; — при податливых связях

свидетельствует о непригодности использованной расчетной схемы, так как при данных соотношениях размеров простенков и перемычки ее нельзя считать жестко заземленной [2].

Для уточнения аппроксимации реальной работы сооружения конечно-элементной моделью выполняли расчет с введением шарнира в узел сопряжения перемычки с наружным простенком, в результате чего напряжения в арматуре увеличились почти в 3 раза и достигли предела текучести. При такой аппроксимации удается найти практически точные значения  $\sigma_s$  (при податливых связях сцепления).

Полученные результаты позволяют дать некоторые рекомендации по расчету пролетной арматуры в балках-стенках с проемами. Можно использовать упругие расчетные схемы метода конечных элементов с введением шарнира в опорный узел перемычки с внешней стороны проема (если ширина наружного простенка менее 2 м) [2] и с учетом податливости связей сцепления арматуры с бетоном.

На первом этапе работы необходимо определить жесткостный коэффициент  $K$ , предварительно задавшись площадью и диаметром арматурных стержней. В первом приближении площадь арматуры можно определить из расчета балки-стенки с проемами, представленной в виде двухшарнирной параболической арки, нагруженной в центре сосредоточенной силой, равной  $\Sigma P/2$  при коэффициенте, учитывающем влияние продольной силы, равном 1 [3].

Если после машинного счета площадь арматуры оказалась недостаточной или подобрана с большим запасом, производится повторный

расчет с откорректированным армированием. Обычно повторное вычисление является окончательным.

Таким образом, используя в расчете метод конечных элементов, учитывающий податливость сцепления арматуры с бетоном и граничные условия перемычки, можно с достаточной точностью определить площадь арматуры по ниже-

му поясу балки-стенки с проемами.

Если вертикальная арматура простенка между проемами предусмотрена в необходимом количестве ( $\mu \geq 0,5\%$ ), то расчет рассмотренной пространственной системы можно свести к расчету плоской балки-стенки с проемами, нагруженной сосредоточенной нагрузкой  $\Sigma P/2$  в середине пролета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холманский М. М. Контакт арматуры с бетоном.— М.: Стройиздат, 1981.— 184 с.
2. Пособие по проектированию жилых зданий (к СНиП 2.08.01—85).— Вып. 3. Конструкции жилых зданий / ЦНИИЭП жилища.— М.: Стройиздат, 1989.— 304 с.
3. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Под ред. А. А. Уманского.— М.: Стройиздат, 1960.— 435 с.

## БЕТОНЫ

УДК 666.97.033.16

А. В. БУЛГАКОВ, В. Л. ЧЕРНЯВСКИЙ, инженеры (Харьковский ПромстройНИИпроект)

### Влияние длительных вибрационных воздействий на свойства бетона

При проведении бетонных работ, связанных с ремонтом и восстановлением строительных конструкций зданий и сооружений на действующих предприятиях, важно сократить сроки остановки технологического оборудования, являющегося источником вибрационных воздействий на твердеющий бетон. Это касается, например, фундаментов и стенчатых конструкций под прокатные станы, дробильных и мельничных установок, подшахтных сооружений объектов металлургической и угольной промышленности.

Имеющиеся сведения о результатах исследований влияния длительных вибрационных воздействий в раннем возрасте на свойства бетона [1...2] относятся к тяжелому бетону, твердеющему в условиях постоянно действующих в течение 3...72 ч гармонических колебаний с частотой 4...41 Гц и амплитудой 0,5...0,6 мм. Влияние указанных воздействий на прочность бетона в возрасте до 60 сут незначительно.

Опыт натурных обследований строительных конструкций промышленных зданий и сооружений,

нормативные документы убеждают в том, что практический интерес представляют вибрационные воздействия с меньшей амплитудой 0,02...0,2 мм (по СНиП 2.02.05—87), влияние которых на свойства бетона с учетом начала приложения и продолжительности воздействия практически не изучалось.

Целью данного исследования было изучение влияния длительных вибрационных воздействий с указанными характеристиками на формирование физико-механических свойств бетона в раннем возрасте.

Для проведения исследований была сконструирована и изготовлена вибрационная установка на упругих элементах, работающая в резонансном режиме, что позволяет обеспечить постоянную амплитуду колебаний на различных частотах.

Установка состоит из вибратора, установочного на металлической платформе, электродвигателя постоянного тока, расположенного на отдельной опоре, автотрансформатора и выпрямителя. Связь двигателя с вибратором выполнена жесткой на кручение и гибкой на

перемещение в вертикальной плоскости, чтобы не препятствовать перемещениям виброплощадки при колебаниях. Амплитудно-частотные характеристики устанавливали и контролировали с помощью виброизмерительного комплекта, состоящего из вибродатчика типа И001 и шлейфового осциллографа Н700.

Исследовали тяжелый бетон класса В20 с маркой по водонепроницаемости W4 в виде кубов с ребром 7,07 см в соответствии с ГОСТ 10180. Для приготовления бетона использовали портландцемент марки 400 Балаклейского цементно-шиферного комбината, кварцевый песок с  $M_k = 1,03$ , гранитный щебень фракций 5...10 мм при соотношении П:Ц:Щ = 2:1:4,2 при В/Ц = 0,62. Первоначальное уплотнение образцов проводили по ГОСТ 10180. Образцы нормального твердения после распалубки, а также подвергавшиеся длительным вибрационным воздействиям, хранили во влажном песке при 18...20 °С, а затем испытывали в возрасте 3; 7 и 28 сут.

Критерияльными характеристиками, по которым оценивали влияние вибрационных воздействий на бетон, были прочность при сжатии, определяемая прессовым методом по ГОСТ 10180, и проницаемость бетона, оцениваемая по ГОСТ 12730.3 в возрасте 28 сут. В качестве контрольных принимали те же характеристики бетона нормального твердения без вибрационного воздействия.

Был реализован план эксперимента типа греко-латинского квад-

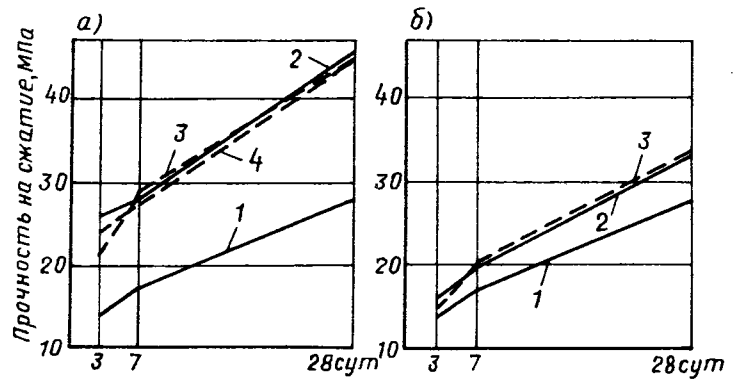
Таблица

Частота колебаний, Гц	Прочность на сжатие, МПа, при амплитуде колебаний, мм			
	0,03	0,1	0,15	0,2
6	29,7 <sub>24</sub> <sup>24*</sup>	28,5 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	29,2 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	28,3 <sub>24</sub> <sup>24</sup>
16	29,9 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	29,3 <sub>24</sub> <sup>24</sup>	29,4 <sub>24</sub> <sup>24</sup>	29,1 <sub>12</sub> <sup>12</sup>
8	28,3 <sub>24</sub> <sup>24</sup>	27,3 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	29,8 <sub>24</sub> <sup>24</sup>	30,4 <sub>12</sub> <sup>12</sup>
25	31 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	28 <sub>12</sub> <sup>12</sup>	29 <sub>3</sub> <sup>3</sup>	41 <sub>24</sub> <sup>24</sup>

\* Верхний индекс — продолжительность предварительного выдерживания, ч; нижний индекс — продолжительность вибрирования, ч

рата, условия которого и результаты испытаний приведены в таблице. В процессе исследования изучали влияние частоты колебаний  $\omega$ , амплитуды  $a$ , времени предварительного выдерживания  $t$  и продолжительности вибрирования  $T$  на физико-механические свойства бетона, а также оценивали, какая из рассматриваемых характеристик является определяющей. Были выбраны следующие диапазоны: для  $\omega$  — 6, 8, 16 и 25 Гц;  $a$  — 0,03; 0,1; 0,15; 0,2 мм;  $t$  — 0, 6, 12 и 24 ч и  $T$  — 3, 8, 12 и 24 ч. Статистический анализ [3] полученных результатов подтвердил правильность выбранной модели эксперимента и показал, что вибрационные воздействия в выбранных диапазонах характеристик ухудшают прочностные свойства бетона. Все факторы, определяющие режим воздействия, в равной степени влияют на показатель прочности.

При испытании бетонных образцов на сжатие в возрасте 3; 7 и 28 сут прочностные показатели практически не отличались или были выше у образцов, подвергавшихся длительной вибрации, по сравнению с контрольными. В то же время продолжительность вибрационного воздействия в течение выбранного диапазона времени (3...24 ч и более) дает практически одинаковый результат, что показано на рисунке.



Изменение прочности бетона нормального твердения (1) и после длительного вибрационного воздействия

2 —  $T=3$  ч; 3 —  $T=12$  ч; 4 —  $T=24$  ч;

а — сразу после изготовления; б — с предварительным выдерживанием 12 ч

Кроме того, предварительное выдерживание в течение 6...24 ч до приложения повторных вибрационных воздействий не снижает показатель прочности бетона, однако полученные результаты уступают на 30 % тем, которые были на образцах, вибрированных сразу после формирования.

Бетонные образцы, которые вибрировали с частотой колебаний 25 Гц и амплитудой 0,2 мм в течение 24 ч без предварительного выдерживания характеризуются резко возросшими прочностными показателями (на 50...60 %) по сравнению с контрольными. Водопоглощение по массе у таких образцов составило 4,6...4,7 %, что соответствует марке по водонепроницаемости W6 по СНиП 2.03.11—85. У образцов нормального твердения водопоглощение колебалось от 5,4 до 5,8 % (марка по водонепроницаемости W4).

### Выводы

Приложение к бетону вибрационных воздействий, характеризующихся частотой колебаний 6...25 Гц и амплитудой 0,02...0,2 мм, при продолжительности вибрирования свыше 3 ч (независимо от времени предварительного выдер-

живания) не ухудшает прочности и водонепроницаемости бетона. Все факторы, определяющие режим воздействия, в равной степени влияют на изменение показателя прочности.

Резкое увеличение прочности (на 50...60 %) образцов, подвергавшихся длительному вибрационному воздействию с частотой 25 Гц и амплитудой 0,2 мм (без предварительного выдерживания), подтверждает, что эти условия входят в область, которая активно влияет на формирование конструктивных свойств бетона.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Десов А. Е., Надольский В. И. Влияние повторного периодического вибрирования твердеющего бетона на его прочность и сцепление с арматурой // Технология и свойства тяжелых бетонов / Тр. НИИЖБ. — Вып. 29. М.: Госстройиздат, 1962. — С. 130—141.
2. Яснобулка Х. Р. Влияние длительной вибрации в начальный период твердения бетона на его физико-механические свойства // Повышение долговечности промышленных зданий. — Киев: Будівельник, 1967. — 102 с.
3. Маркова Е. В., Лисенков А. Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. — М.: Наука, 1973. — 219 с.

А. Н. МОКРУШИН, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Влияние минералогического состава на активность клинкера и интенсивность твердения цемента при ТВО

Выявлению зависимости активности клинкера от его минералогического состава и критериям оценки эффективности цемента при пропаривании посвящено достаточно много работ. Однако полученные разными исследователями результаты не во всем согласуются. Для уточнения известных закономерностей изменения активности клинкера и оценки влияния минералогического состава на кинетику твердения цемента в условиях тепловлажностной обработки (ТВО) проводили статистический анализ данных цементных заводов за 1982—1984, 1986—1988 гг. по активности клинкеров, цементов, цементов при пропаривании, коэффициенту при пропаривании, минералогическому составу и количеству щелочей.

Объем выборки для ПЦ 400 с минеральными добавками составил 107 случаев, при этом активность клинкера исследовали на выборке из 51 случая. Расчеты проводили с использованием методики статистической обработки выборок малого объема\*.

Математическое ожидание и изменчивость активности клинкера, коэффициента при пропаривании, процентного содержания основных клинкерных минералов и щелочей

промышленных цементов приведены в таблице.

При анализе зависимости  $R_{кл} = f(C_3S, C_2S, C_3A, R_2O)$  исходим из того, что, если такая функциональная связь существует, то должны существовать и зависимости  $R_{кл} = f_1(C_3S)$ ,  $R_{кл} = f_2(C_2S)$ ,  $R_{кл} = f_3(C_3A)$ ,  $R_{кл} = f_4(R_2O)$ . В связи с этим при построении регрессии  $R_{кл}$  на указанные величины предварительно проверяли гипотезы о попарной независимости  $R_{кл}$  и каждого из названных факторов. Такой предварительный отсев незначущих факторов позволяет повысить точность вычисления коэффициентов регрессии. Для повышения устойчивости вычислений и достоверности получаемых результатов необходимо также из двух коррелирующих между собой величин составлять одну (из этих соображений был отброшен, например, фактор  $C_3S/C_3A$ , коэффициент корреляции которого с  $C_3A$  составляет 0,88).

В качестве критериев независимости двух случайных величин использовали среднюю квадратическую сопряженность признаков и коэффициент порядковой корреляции. Результаты расчета сопоставляли с квантилями распределения  $\chi^2$  и стандартного нор-

мального распределения. Для заданной выборки ( $n = 51$ ) с доверительной вероятностью  $\beta \geq 0,95$  оказалось, что  $R_{кл}$  зависит от содержания  $C_3S$ ,  $C_3A$ ,  $R_2O$ . Линейная регрессия  $R_{кл}$  на  $[C_3S]$ ,  $[C_3A]$ ,  $[R_2O]$  имеет вид

$$R_{кл} = 49,54 + 0,497 ([C_3S] - 59,76) - 0,395 ([C_3A] - 6,33) - 3,753 ([R_2O] - 0,704) \text{ МПа.} \quad (1)$$

Попарные линейные регрессии после устранения линейных изменений, вызванных влиянием оставшихся величин, имеют вид:

$$R_{кл} = 49,54 + 0,518([C_3S] - 59,76) \text{ МПа;} \quad (2)$$

$$R_{кл} = 49,54 - 0,412 ([C_3A] - 6,33) \text{ МПа;} \quad (3)$$

$$R_{кл} = 49,54 - 3,916([R_2O] - 0,704) \text{ МПа.} \quad (4)$$

Сравнивая коэффициенты в выражениях (2)...(4) с соответствующими значениями в \*, видим, что различие составляет приблизительно 4 %. Таким образом, взаимное влияние величин  $[C_3A]$ ,  $[C_3S]$ ,  $[R_2O]$  незначительно, и регрессию  $R_{кл}$  на  $[C_3S]$ ,  $[C_3A]$ ,  $[R_2O]$  можно рассматривать как суперпозицию регрессии  $R_{кл}$  на  $[C_3S]$ ,  $[C_3A]$ ,  $[R_2O]$ . Этим выводом воспользуемся при построении нелинейной регрессии.

Из-за недостатка данных по вариации  $[C_3S]$  поиск нелинейной зависимости  $R_{кл} = f(C_3S)$  нецелесообразен, поскольку можно априорно утверждать, что коэффициенты аппроксимирующего уравнения регрессии будут определены с большой погрешностью.

В предположении квадратичной зависимости  $R_{кл} - R_2O$  регрессия  $R_{кл}$  на  $[C_3S]$ ,  $[C_3A]$ ,  $[R_2O]$  примет вид

$$R_{кл} = 49,54 + 0,491 ([C_3S] - 59,76) - 0,413 ([C_3A] - 6,33) - 1,453 ([R_2O] - 0,704)^2 - 3,528 ([R_2O] - 0,704) + 0,088 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Для оценки значимости сделанного предположения рассмотрим значения выражений:

$$A = -3,753([R_2O] - 0,704), \\ B = -1,453([R_2O] - 0,704)^2 - 3,528 ([R_2O] - 0,704) + 0,088$$

на заданном интервале изменения величины  $[R_2O]$ . Наибольшая разность  $A - B$ , отнесенная к наибольшему значению  $A$ , не превосходит 10 %. Экстремум выражения  $B$  находится в точке  $[R_2O] \approx$

Характеристика	Пределы изменений	Среднее значение	Коэффициент вариации, %
Клинкер			
Активность, МПа	36,8—59,2	49,5	8,5
Минералогический состав, %:			
$C_3S$	49,0—66,0	59,7	4,6
$C_2S$	12,0—27,0	16,3	15,5
$C_3A$	2,0—10,0	6,3	24,2
$R_2O$	0,29—1,26	0,70	35,0
Цемент			
Активность, МПа	40,8—48,0	43,6	4,3
Активность при пропаривании, МПа	21,0—35,2	28,4	11,2
Коэффициент при пропаривании	0,47—0,81	0,65	10,8
Минералогический состав, %:			
$C_3S$	48,0—69,0	59,7	4,8
$C_2S$	10,0—28,0	16,0	14,6
$C_3A$	2,0—11,0	6,6	22,3
$R_2O$	0,29—1,26	0,77	28,0

\* Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. — М.: Наука, 1977. — 832 с.

≈ -0,5 %, что не имеет физического смысла. Таким образом, зависимость  $R_{кл} - R_2O$  также целесообразно оставить линейной.

В предположении квадратичной зависимости  $R_{кл} - C_3A$  регрессия имеет вид

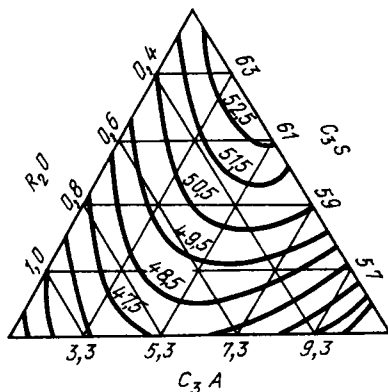
$$R_{кл} = 49,54 + 0,454 ([C_3S] - 59,76) - 0,184 ([C_3A] - 6,33)^2 - 0,516 ([C_3A] - 6,33) + 0,43 - 3,799 ([R_2O] - 0,704) \text{ МПа.} \quad (6)$$

Для оценки данного предположения рассмотрим значения выражений:

$$C = -0,895([C_3A] - 6,33); \\ D = -0,184 ([C_3A] - 6,33)^2 - 0,516 ([C_3A] - 6,33) + 0,43$$

на заданном интервале изменения величины  $[C_3A]$ . Отношение наибольшей разности  $C - D$  к наибольшему значению  $C$  превышает 130 %. Экстремум выражения  $D$  находится в точке  $[C_3A] \approx 4,93$ .

Таким образом, активность клинкера при существующей вариации минералогического состава по заводам линейно возрастает с увеличением процентного содержания  $C_3S$ , линейно уменьшается с увеличением процентного содержания щелочей и имеет оптимальное значение по процентному содержанию  $C_3A$ , составляющее около 5 %. Симплекс-диаграмма полученной математической модели активности промышленных клинкеров приведена на рисунке.



Симплекс-диаграмма линий равной активности промышленных клинкеров

Повышение начальной прочности цементов после пропаривания исследователи связывают с его минералогическим и вещественным составом, структурой и степенью закристаллизованности клинкеров, дисперсностью и гранулометрическим составом, тепловыделением и т. д. Между тем, анализируя литературные данные по содержанию щелочных оксидов в клинкерах цемента, можно предположить, что щелочи играют не последнюю роль в процессах гидратации и ускорения твердения цементов.

Результаты расчетов подтверждают выдвинутую гипотезу. По методике, описанной выше, были проанализированы зависимости активности цемента при пропаривании  $R_{пр}$  и коэффициента эффек-

тивности при пропаривании  $K_{пр}$  от процентного содержания в цементе  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $R_2O$ . Для заданной выборки ( $n = 107$ ) с доверительной вероятностью  $\beta \geq 0,95$  оказалось, что  $R_{пр}$  и  $K_{пр}$  зависят только от содержания  $R_2O$ . Линейные регрессии  $R_{пр}$  и  $K_{пр}$  на  $[R_2O]$  имеют вид:

$$K_{пр} = 0,652 + 0,19 ([R_2O] - 0,769); \quad (7)$$

$$R_{пр} = 28,46 + 8,85 ([R_2O] - 0,769). \quad (8)$$

Отсутствие зависимости  $R_{пр}$  и  $K_{пр}$  от  $[C_3S]$ ,  $[C_2S]$ ,  $[C_3A]$  свидетельствует о том, что среднее содержание этих минералов в клинкерах цементных заводов близко к некоторым оптимальным значениям и их вариации не существенны для изменчивости  $R_{пр}$  и  $K_{пр}$ .

Была предпринята также попытка статистического анализа зависимости активности цемента в возрасте 28 сут от процентного содержания в цементе  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $R_2O$ . Однако достоверных регрессий ( $\beta \geq 0,95$ ) на основании имеющейся выборки построить не удалось. Это свидетельствует о том, что минералогический состав клинкеров цементных заводов близок к оптимальному по отношению к активности цементов, определяемой в возрасте 28 сут.

УДК 666.97

Б. Л. АРОНОВ, канд. техн. наук, П. П. КУН, канд. хим. наук, А. Е. КУЗНЕЦОВА, инж. (НИИ дисперсных материалов «Рапид»)

## Прогнозирование характера и эффективности действия добавок — ускорителей и замедлителей твердения цемента

Более 80 % цементных бетонов изготавливается с использованием разнообразных по составу добавок, обладающих свойствами ускорителей или замедлителей твердения. Кроме традиционных химических добавок в последнее время для модификации бетонов и решения экологических проблем все чаще

применяют отходы многочисленных промышленных производств, нередко сложного и непостоянного состава. В связи с этим появилась необходимость оперативно определять характер и эффективность действия добавок на твердение бетонов.

Существующие способы исследо-

вания влияния добавок основаны на фиксировании качественных и количественных изменений прочностных характеристик испытываемых образцов относительно бездобавочных (контрольных) партий [1]. В этом случае получить результаты можно не ранее, чем через сутки сразу после формирования структуры, обладающей механической прочностью, и образцы можно подвергать испытанию при сжатии.

Широко распространившийся в последнее время экспрессный метод «Рапид», позволяющий в течение 15...20 мин прогнозировать характеристики дисперсных и композиционных строительных материалов, в частности прочность бетона, базируется на том, что механическая прочность цементного камня, адсорбционная способность цемента

и электрофизические характеристики цементного теста взаимосвязаны и формируются одинаковым комплексом факторов [2]. Введение добавок изменяет влияние этих факторов.

Целью настоящей работы являлось использование адсорбционно-дифференциального комплекса метода «Рapid» для прогнозирования характера и эффективности действия добавок — ускорителей и замедлителей твердения цементного камня. Методика проведения экспериментов состояла в следующем. Из Чернореченского портландцемента марки 400 готовили цементное тесто, вводя растворимые добавки с водой затворения, а нерастворимые — непосредственно в цемент-порошок. Часть пробы помещали в измерительную ячейку и резистивно разогревали в режиме со стабилизированной мощностью, измеряя продолжительность разогрева от 30 до 70 °С [2], из другой части теста по методике ЦНИПС-2 формовали образцы-кубы с ребром 20 мм. Контрольные испытания выполняли на исходном цементе. В качестве химических добавок использовали известные ускорители и замедлители твердения [3, 4]: активаторы  $K_2CrO_4$ ,  $NaCl$ ,  $NiCl_2$ ,  $KClO_3$ ; замедлители  $CuCl_2$ ,  $ZnCl_2$ ,  $SnCl_2$ ,  $Pb(OAc)_2$ .

Результаты выполненных экспериментов показали (рис. 1), что время резистивного разогрева цементного теста в неизменном диапазоне температур зависит от типа и концентрации добавки [2]. Активаторы твердения увеличивают продолжительность разогрева цементного теста, а замедлители не изменяют либо уменьшают ее. Некоторые добавки в зависимости от концентрации позволяют получать противоположные эффекты. Например,  $CuCl_2$  в количестве до 1 % уменьшает, а при большей дозировке увеличивает продолжительность разогрева теста.

Действие добавок на прочность при сжатии образцов из цементного камня в суточном возрасте после тепловлажной обработки показано на рис. 2. Как следует из полученных результатов, активаторами твердения являются  $K_2CrO_4$ ,  $NaCl$ ,  $NiCl_2$ ,  $KClO_3$ , а замедлителями —  $ZnCl_2$ ,  $Pb(OAc)_2$  и  $CuCl_2$  практически во всем исследованном интервале концентраций. Добавка  $SnCl_2$  проявляет двойственный характер действия: до концентрации 1,5 % несколько увеличивает прочность образцов, а вы-

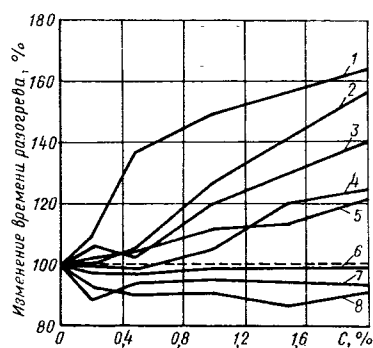


Рис. 1. Относительное изменение времени резистивного разогрева цементного теста с  $B/C=0,3$  в зависимости от концентрации добавки  
1 —  $K_2CrO_4$ ; 2 —  $NaCl$ ; 3 —  $NiCl_2$ ; 4 —  $CuCl_2$ ; 5 —  $KClO_3$ ; 6 —  $ZnCl_2$ ; 7 —  $SnCl_2$ ; 8 —  $Pb(OAc)_2$

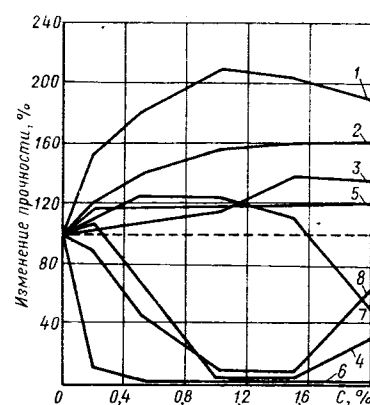


Рис. 2. Относительное изменение прочности цементных образцов в возрасте 1 сут после ТВО в зависимости от концентрации добавки (обозначения см. рис. 1).

Добавки	Коэффициенты			F-отношение
	A	B	корреляции	
$NaCl$	10,3/277,2	1,1/—1,6	0,836/0,863	6,9/8,8
$K_2CrO_4$	—77,7/394,6	1,9/—2,9	0,967/0,974	28,9/37,5
$KClO_3$	—46,3/356,4	1,5/—2,5	0,845/0,949	7,5/17,9
$Pb(OAc)_2$	—541/694,0	6,5/—5,8	0,884/0,891	7,1/7,7
$CuCl_2$	2552/2691	—252,5/—26,0	0,855/0,961	2,7/12,0
$NiCl_2$	—45,7/276,2	1,4/—1,8	0,930/0,912	19,3/14,7
$SnCl_2$	185,6/46,4	—0,76/0,64	0,354/0,328	0,29/0,24

Примечание. Перед чертой — коэффициенты для времени, после черты — для скорости разогрева.

ше — уменьшает. С изменением концентрации добавок в цементном тесте от 0 до 2 % эффективность их действия стабилизируется или проходит через экстремум — максимум для активаторов и минимум для замедлителей твердения. При этом наибольший эффект обычно достигается при введении 1...1,5 % добавки от массы цемента. Применение 0,2 %  $CuCl_2$  незначительно повышает прочность, но при увеличении дозировки прочность образцов снижается. При использовании  $ZnCl_2$  образцы обладают очень низкой прочностью при любой концентрации.

Сопоставление полученных результатов показывает, что изменение времени (скорости) разогрева цементного теста и механической прочности образцов из цементного камня в интервале концентраций добавок от 0 до 1...1,5 %, т. е. до экстремума прочности (см. рис. 2), происходит симбатно. В связи с этим исследовали линейные зависимости вида  $Y=A+BX$  между относительным изменением времени (скорости) разогрева цементного теста (X) и относительным изменением прочности образцов (Y) (см. таблицу). Вычисленные коэффициенты парной корреляции свидетельствуют о значимой статисти-

ческой зависимости между изученными параметрами для всех добавок, кроме  $SnCl_2$ , причем прочность образцов лучше коррелирует с изменением скорости, чем со временем резистивного разогрева цементного теста, хотя это взаимосвязанные характеристики.

Однако не для всех добавок линейные зависимости оптимальны: при введении  $NiCl_2$ , например, лучшими являются зависимости вида  $Y=1/(A+BX)$  как для скорости (коэффициент парной корреляции r при одностороннем критерии для вероятности результата 95 % равен 0,937, значение критерия Фишера F составляет 21,5), так и для времени разогрева теста ( $r=0,949$ ;  $F=28,5$ ).

Подобные приведенные в таблице зависимости можно использовать в качестве градуировочных для определения характера и эффективности действия добавок на используемый цемент в конкретных производственных условиях: консистенции бетонной смеси, удельном расходе исходных компонентов и т. д.

По предложенной методике можно также прогнозировать характер действия любой новой добавки и эффективность ее ускоряющего (замедляющего) твердение дей-



ствия в сравнении с другими известными добавками. Для этого необходимо использовать универсальную зависимость изменения прочности образцов от изменения продолжительности или скорости разогрева цементного теста. Для Чернореченского портландцемента универсальные зависимости описываются следующими линейными уравнениями:

для продолжительности разогрева  $t$

$$\Delta R = 1,85\Delta t = 78,0;$$

$$r = 0,831; F = 42,4;$$

для скорости разогрева

$$\Delta R = 343,2 - 2,35\Delta U;$$

$$r = 0,816; F = 37,9,$$

где  $\Delta R$ ,  $\Delta t$ ,  $\Delta U$  — относительное изменение соответственно прочности образцов в суточном возрасте после тепло-влажностной обработки, времени и скорости разогрева цементного теста.

Преимуществом разработанного метода прогнозирования влияния добавок — ускорителей и замедлителей на твердение цементного камня являются экспрессность, простота и надежность. По результатам выполненных исследований составлены «Рекомендации по определению кондиции, количества, эффективности и характера действия добавок в бетон методом «Рapid», которые самостоятельно или с помощью серийно выпускаемых приборов семейства «Рapid» можно использовать на строительных и других предприятиях.

За дополнительной информацией обращайтесь по адресу: 630008, Новосибирск, а/я 47. Тел. (383-2) 66-16-64.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Справочник работника строительной лаборатории завода ЖБИ* / Под ред. М. Ю. Лешинского. — Киев: Будивельник, 1975. — 248 с.
2. Бердов Г. И., Аронов Б. Л. *Экспрессный контроль и управление качеством цементных материалов*. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. — 252 с.
3. Сватовская Л. Б., Сычев М. М. *Активированное твердение цемента*. — Л.: Стройиздат, 1983. — 160 с.
4. *Добавки в бетон. Справочное пособие* / Под ред. В. С. Рамачандрана. — М.: Стройиздат, 1988. — 571 с.

## АРМАТУРА

УДК 693.554

И. С. ШАПИРО, канд. техн. наук (НИИЖБ), З. А. СИДЛИН, канд. техн. наук (МОСЗ)

### Повышение эффективности арматурно-сварочных работ

НИИЖБом совместно с Московским опытным сварочным заводом (МОСЗ) разработан способ восстановления изношенных электродов контактных машин посредством специальной износостойкой наплавки [1, 2]. Показатели использования таких электродов контактных машин, определяемые расходом медного металлопроката на их изготовление и штучных электродов для формирования слоя наплавленного металла на медных заготовках, изменяются обратно пропорционально значению межремонтного цикла  $T_{ц}$ , представляющего собой гарантированную длительность эксплуатации электрода для контактной сварки между двумя его ремонтами. Это свидетельствует о необходимости обеспечения максимально возможной износостойкости наплавленного слоя

металла, формирующего рабочий участок электрода для контактной сварки. Разработанные для восстановления электродов контактных машин штучные электроды марки

ОЗБ-3 позволили повысить износостойкость электродов по сравнению с соответствующими из технической меди до 8...10 раз при сварке проволочной арматуры и до 4...6 раз — стержневой.

Предложенная технология позволяет восстанавливать электроды с практически любым размером цилиндрического рабочего участка  $D$  (рис. 1). Сравнительные показатели на 1 тыс. т арматуры, обеспечиваемые при эксплуатации электродов контактных машин для точечной сварки из технической меди и восстанавливаемых наплавкой, приведены в табл. 1.

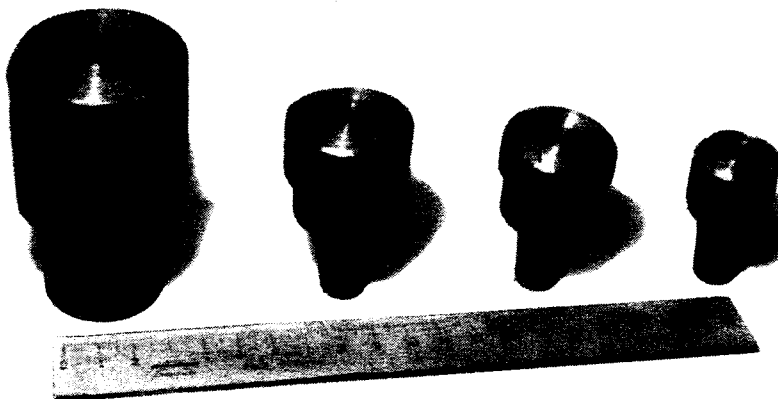


Рис. 1. Электроды для точечной сварки арматуры диаметрами 50...25 мм, восстановленные с помощью наплавки

Таблица 1

Свариваемая арматура	Масса медного металлопроката, необходимого для изготовления электродов, кг	Потери времени на смену электродов при эксплуатации оборудования, %	Масса штучных электродов*, необходимых для восстановления электродов, кг
Проволочная Ø 4-5 В-1 и Вр-1	120—160	1,0—1,2	26—30
	6—8	0,11—0,15	
Стержневая Ø 10-12 А-III	240—360	1,8—2,2	60—70
	16—20	0,4—0,6	

Примечание. Над чертой для электродов контактных машин из технической меди, под чертой — с наплавленным рабочим слоем.

\* С наплавленным рабочим слоем.

Более высокая эффективность использования предложенных электродов при сварке проволочной арматуры обусловлена особенностью реализуемых режимов сварки, определяемых менее интенсивным нагревом при пропуске сварочного тока, а также меньшими усилиями сжатия по сравнению с соответствующими значениями при сварке стержневой арматуры. Использование новых штучных электродов марки ОЗБ-3 позволяет уменьшить потребление медного металлопроката, что обусловлено возможностью многократного восстановления электродов контактных машин и повышением износостойкости рабочего слоя металла, которое определяется прочностными характеристиками наплавленного слоя металла в области повышения температур (500...700 °С).

Обеспечиваемый комплекс эксплуатационных свойств наплавленного металла достигается его химическим составом в результате легирования покрытия штучных электродов, а также предложенной технологической схемой восстановления электродов, гарантирующей направленный характер кристаллизации, который обеспечивает различие в размерах зерен наплавленного металла в продольном и поперечном направлениях.

Сопоставление износостойкости наплавленного слоя металла, обеспечиваемого штучными электродами марки ОЗБ-3, с износостойкостью широко используемой для изготовления электродов контак-

ных машин специальной жаропрочной хромовой бронзы марки БрХ показало, что последняя имеет в 1,5...2 раза более низкую износостойкость.

Процесс восстановления электродов контактных машин обеспечивает формирование слоя наплавленного металла высотой до 30...35 мм и гарантирует отсутствие дефектов в многопроходной наплавке.

Основным фактором, определяющим производительность выполнения работ по восстановлению электродов контактных машин, является значение  $D$ , пропорциональное массе металла, которую необходимо наплавить на электроды. Примерные показатели восстановления 100 шт. электродов контактных машин различного диаметра приведены в табл. 2.

Возможность восстановления одним электросварщиком за смену более 100 электродов для сварки арматурных сеток и каркасов из проволочной арматуры свидетельствует о высокой производительности наплавочных работ.

Экономический эффект при этом определяется уменьшением в 15...20 раз расхода потребляемого медного металлопроката и в 6...8 раз расхода потребляемого металла. Снижаются также затраты времени на замену электродов в процессе их эксплуатации, что способствует повышению выработки сварочного оборудования.

С помощью штучных электродов марки ОЗБ-3 можно также восстановить электрододержатели к мно-

гоэлектродным машинам МТМК 3×100, электрододержатели в некоторых типах сварочных клещей, токоподводящие вкладыши в машинах СМЖ-128А и т. д., т. е. такие детали и узлы оборудования для производства арматурно-сварочных работ, восстановление которых ранее было невозможно. Восстановление всех посадочных мест в этих деталях после износа связано с необходимостью заварки посадочных отверстий и последующей расточки до требуемого размера. Опыт успешной эксплуатации в течение более 2 лет деталей, восстановленных по такой схеме, подтвердил рациональность ее использования для изнашиваемых узлов сварочного оборудования.

Использование штучных электродов марки ОЗБ-3 в отдельных случаях позволяет полностью отказаться от потребления предприятиями стройиндустрии медного металлопроката, используемого в качестве электродов контактных машин, за счет их замены электродами из хромовой бронзы, изготовленными методом штамповки. Имеющие диаметр цилиндрического участка 16 и 20 мм, они предназначены для точечной сварки листового металла в машиностроении. Из-за небольшого диаметра использовать их для сварки арматуры нельзя. Однако унифицированные размеры хвостовиков (посадочных мест) электродов (рис. 2) позволяют формировать на них рабочий (цилиндрический) участок необходимого диаметра полностью наплавленным металлом.

Разработанный НИИЖБом процесс позволяет также восстанавливать изношенные электроды, используемые для сварки каркасов

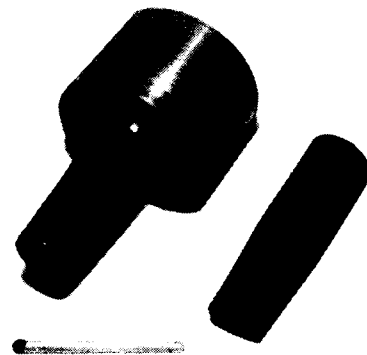


Рис. 2. Электрод для точечной сварки диаметром 40 мм, изготовленный путем формирования рабочего участка наплавленным металлом из электрода диаметром 16 мм

Таблица 2

$D$ , мм	Расход на наплавку		
	штучных электродов, кг	электроэнергии, кВт·ч	трудозатрат, чел·ч
25	9,5—10,0	23,0—26,0	6,2—7,5
32	10,5—21,5	48,5—55,6	9,3—10,5
40	45,0—46,5	106,0—123,0	15,0—18,0

Примечание. Данные приведены на 100 шт. электродов контактных машин.

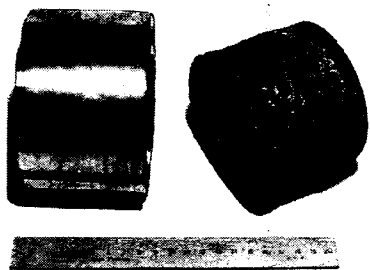


Рис. 3. Электроды, используемые в сваривочных машинах ( $D=117$  мм) после восстановления наплавкой первоначального размера и после износа, определяемого выработкой ресурса эксплуатации

свай и свай-оболочек в форме роликов. Износ в процессе эксплуатации таких электродов (при выработке ими ресурса эксплуатации, определяемого уменьшением рабочей поверхности электрода на 80 % первоначального значения) обуславливает значительные отходы дорогостоящей меди, составляющие по массе для электродов различного диаметра 60...85 %. Предложенная технология реставрации таких электродов обеспечивает восстановление первоначального размера наружного и внутреннего (посадочного) размеров ролика, который также изнашивается в процессе эксплуатации. С наружной поверхности электрода, выработавшего ресурс эксплуатации (рис. 3), следует механически снять поверхностный слой металла, после чего выполнить наплавку

Таблица 3

Конструкция	Расход штучных электродов на 1 м <sup>3</sup> железобетона, кг
Сваи	0,04—0,045
Элементы каркаса, в том числе балки, ригели, подкрановые балки, фермы	0,22—0,25
Плиты покрытия и перекрытия, в том числе многопустотные, плоские, ребристые	0,08—0,12
Спецконструкции, в том числе напорные трубы, шпалы, спецплиты (дорожные и аэродромные), опоры ЛЭП, связи, освещения, виноградные стойки	0,1—0,13

наружного диаметра с учетом припуска на последующую механическую обработку наплавленного металла.

После такой обработки наружной поверхности ролика следует произвести наплавку и расточку его внутренней (посадочной) поверхности. Общая трудоемкость выполнения наплавочных работ для наращивания требуемого слоя металла для роликов 99...117 мм составляет около 2...2,5 ч.

При изготовлении преднапряженных конструкций определенный технико-экономический эффект можно достигнуть за счет использования специализированных штучных электродов марки ОЗР-2, предназначенных для резки напряженной арматуры [3]. Использование на большинстве предприятий стройиндустрии сварочных электродов связано с неудовлетворительными санитарно-гигиениче-

скими условиями труда и характеризуется повышенным объемом потребления и их высокой стоимостью.

Особенностью электродов ОЗР-2 является возможность выполнения ими резки при больших значениях тока, что обеспечивается повышенной термостойкостью покрытия. В табл. 3 приведен удельный расход электродов марки ОЗР-2 при изготовлении различных преднапряженных конструкций.

Обеспечиваемое уменьшение объема потребления электродов марки ОЗР-2 по сравнению со сварочными электродами (до 2 раз) для выполнения идентичного объема резательных работ, а также более низкая их себестоимость (на 20...30 %) позволяют снизить затраты на их выполнение в 2...2,5 раза. Дополнительный экономический эффект при использовании электродов марки ОЗР-2 обеспечивается уменьшением на 60...80 % расхода электроэнергии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шапиро И. С., Сидлин З. А., Куликов Г. А. **Повышение эффективности использования электродов контактных машин // Бетон и железобетон.**— 1990.— № 9.— С. 13—15.
2. Шапиро И. С., Сидлин З. А., Куликов Г. А. **Изготовление и восстановление электродов для контактной сварки дуговой наплавкой // Сварочное производство.**— 1990.— № 8.— С. 21—22.
3. Шапиро И. С., Вишняков В. Ю., Сидлин З. А. **Совершенствование процесса резки арматурных сталей // Сварочное производство.**— 1989.— № 8.— С. 5—7.

## СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 666.97:691.327[213]:625.84.847

Г. В. ТОПИЛЬСКИЙ, канд. техн. наук (ВНИИЖелезобетон); В. В. БОЧАРОВ, акад. (НПО «Синтез ПАВ»); В. П. БАРАНОВ, М. М. АРТМАН, инженеры (АО «Центродорстрой»); А. М. ШЕЙНИН, С. В. ЭККЕЛЬ, кандидаты техн. наук (СоюздорНИИ)

### Эффективный и экологически чистый пленкообразующий состав для ухода за бетоном

Создание отечественного пленкообразующего материала, отвечающего лучшим мировым образцам-аналогам, связано с возросшей потребностью промышленности сборного железобетона в энерго- и ресурсосберегающих технологиях, вызванной резким повышением цен на энергоносители,

а также отсутствием в России дешевого, экологически безопасно пленкообразующего материала для ухода за свежесухоуложенным цементобетонным покрытием автомобильных дорог и аэродромов, облицовок оросительных каналов и т. д. Например, широко применяющийся в дорожном строитель-

стве помароль в настоящее время малодоступен, поскольку его производят в ограниченном количестве в Литве. При этом до 70 % массы помароля составляют органические растворители (сольвент и уайт-спирит), что не позволяет использовать его без специальных мер защиты (противогазы и т. д.). Латексные, нефтеполимерные и соолигомерные материалы (ВПМ, ВЭП, ЭКЧ-47, ПЗС ИХН и др.) являются или дорогими, или содержат токсичные органические растворители. Зарубежные пленкообразующие материалы имеют высокую стоимость — от 1700 \$/т, США до 3000 долл. США

(Concur Alum-90, Англия) за 1 т. Испытания материала Concur-WB на водной основе, используемого АО «Центродорстрой» при реконструкции взлетно-посадочной полосы международного аэропорта Шереметьево показали, что он удовлетворительно защищает бетон от обезвоживания после нанесения на подсушенную поверхность свежееуложенного бетона. Этот материал неморозостоек и при замораживании теряет свои свойства. Во ВНИИЖелезобетоне на основе парафиносодержащего сырья и отходов нефтехимических производств разработаны вододисперсные пленкообразующие составы (ВПС) для ухода за бетоном [1...4]. Они выгодно отличаются от известных пленкообразующих материалов низкой стоимостью, экологической чистотой, пожаро- и взрывобезопасностью.

Централизованное производство ВПС было организовано на опытном участке Шебекинского химического завода в 1988 г. Вначале ВПС выпускали в виде 50 %-ного концентрата, который перед употреблением доводили до рабочих концентраций ( $C = 30...35\%$ ) и вязкости ( $\eta \leq 25$  с) с разбавлением водой. Концентрат ВПС на основе жидких парафинов по ТУ 38—50760 применяли для ухода за монолитным железобетоном в условиях сухого-жаркого климата, при гелиотермообработке и кондуктивном прогреве в термоформах изделий из сборного железобетона [5]. Однако этот состав удовлетворительно защищал бетон от обезвоживания при температуре до 65 °С.

Концентрат ВПС-Ш на основе жидких и твердых парафинов по ТУ 458К-Х06-02 применили в 1991 г. для ухода за участком цементобетонного покрытия автомобильной дороги МКАД — Кашира, а также при тепловой обработке в термоформах мостовых железобетонных конструкций на Исетском заводе МЖБК [6]. Опыт применения его в строительных организациях выявил недостатки, связанные с некачественным разбавлением концентрата водой, приводящей к его разложению, и с резким возрастанием вязкости концентрата при пониженных (5...10 °С) температурах, затрудняющих его транспортирование и использование.

Поэтому разработали новый, нетиксотропный, вододисперсный пленкообразующий состав ВПС-Д

с вязкостью по вискозиметру ВЗ-4 не более 25 с, пригодной для нанесения машинами-распределителями дорожно-строительных организаций ДС-105. При разработке ВПС-Д синтезировали и испытали более 150 рецептур, изменили технологию изготовления состава и соотношение компонентов в парафиносодержащей составляющей, ввели антистиксотропные, разжижающие, пленкообразующие и другие специальные присадки. Несмотря на высокую концентрацию ( $C = 30...45\%$ ) состав ВПС-Д сохраняет требуемую вязкость как при нормальной, так и при пониженных температурах, а также обладает высокой влагозащитной способностью при нанесении на влажную и подсушенную поверхность свежееуложенного бетона при низких нормах расхода (100...300 г/м<sup>2</sup>). Благодаря добавке антифриза ВПС-Д полностью сохраняет свойства, в том числе и реологические, после замораживания и оттаивания. Введением в ВПС-Д водной дисперсии пигмента (TiO<sub>2</sub>) достигается повышенная светоотражающая способность покрытий, что необходимо для защиты дорожного бетона. На основе ВПС-Д получен однофазовый (без пигмента) светоотражающий состав с кремнийорганической присадкой, обеспечивающей вследствие обменных реакций формирование на бетоне белоснежного покрытия. Следует отметить, что низкоплавкие компоненты ВПС-Д кольматируют поверхностные слои защищенного бетона, повышая водоудерживающую способность пленочного покрытия и коррозионную стойкость железобетонных изделий. Согласно ТУ 21-33—199 последние подразделяются на три вида: ВПС-Д общего назначения, ВПС-Д-С — светоотражающие для дорожного бетона и ВПС-Д-К — кольматирующие для антикоррозионной защиты железобетонных изделий. Гарантийный срок хранения ВПС-Д — 12 мес; рекомендуемый расход 200...300 г/м<sup>2</sup>, причем при переливе состава на бетон (до 400...600 г/м<sup>2</sup>) не ухудшается качество изделий; рН = 7...9.

ВПС-Д, синтезированный из мягких и твердых парафинов, характеризуется низкой скоростью формирования на бетоне защитной пленки, стойкой к механическим воздействиям. На скорость формирования пленки влияют температура-влажность условия среды

и расход состава. При нормальной температуре желеобразное пленочное покрытие, стойкое к атмосферным воздействиям, формируется на свежееуложенном бетоне за несколько часов после нанесения состава, а стойкое к механическим воздействиям — от 12...18 ч до нескольких суток. Это вызвано не только медленным испарением воды из пленкообразующего состава, но и наличием в нем низкоплавких компонентов, замедляющих твердение пленочного покрытия. Кольматация бетона указанными компонентами позволяет через сутки после нанесения состава полностью сохранить защитные свойства пленочного покрытия при механическом нарушении его сплошности (при нарезке деформационных швов, движении построенного транспорта и т. д.).

Для кольматирующих ВПС-Д-К низкая скорость пленкообразования является важным фактором, обеспечивающим оптимальную степень импрегнации поверхностных слоев бетона низкоплавкими компонентами и эффективность его кольматации. Для дорожных ВПС-Д и ВПС-С, наоборот, быстрое пленкообразование позволяет свести к минимуму негативное воздействие атмосферных осадков на свежееуложенный бетон с несформировавшимся пленочным покрытием. Разработанная для этих целей специальная рецептура ВПС-Д на водоорганическом растворителе и высокоплавких парафинах обеспечивает формирование пленочного покрытия на подсушенной поверхности бетона за 1...1,5 ч и на влажной поверхности за 2...3 ч после нанесения состава. Примерно таким же временем пленкообразования на бетоне характеризуется английский состав Concur WB.

Результаты сравнительных испытаний лабораторных и опытно-промышленных партий ВПС-Д и других пленкообразующих материалов, приведены в табл. 1, 2. Водоудерживающую способность цементно-песчаного бетона (Ц:П = 1:3, В/Ц = 0,4), защищенного ВПС-Д, определяли по ASTM C-156 прогревом образцов-плиток с  $M_n = 20$  м<sup>-1</sup> в климатической камере в течение 72 ч при 40 °С, относительной влажности воздуха  $\phi = 30\%$  и скорости его движения  $V = 5...7$  м/с. Допустимые влаготери бетона  $\Delta W$  по ASTM C-156  $< 0,055$  г/см<sup>2</sup>. Морозостойкость бетона исследовали по методике СоюздорНИИ при замо-

Таблица 1

Пленкообразующий материал	С. %	п. с	Расход ПМ, г/м <sup>2</sup>	$\Delta W_3$ г/см <sup>2</sup>	$W_{28}^{\text{п}}$ %
Бетон без покрытия	—	—	—	0,290	3,9
ВПС-Д	35	18	500	0,000	—
(ТМ-5)	35	18	300	0,000	1,3
ВПС-Д	38	16	500	0,005	—
(ТМБ)	38	16	400	0,005	—
	38	16	300	0,013	0,8
	38	16	200	0,018	—
ВПС-Д (промышленная партия)	32	15	500	0,003	0,4
	32	15	300	0,009	0,6
	32	15	200	0,012	—
	32	15	150	0,016	—
	32	15	100	0,017	—
Помароль	30	16	500	0,022	—
	30	16	300	0,039	—
Сопсиг WB	32	14	500	0,066	—
	32	14	300	0,088	—
	32	14	300	0,027	2,6

Таблица 2

Пленкообразующий материал	Расход ПМ, г/м <sup>2</sup>	Прочность бетона, МПа	Масса образца, %, через N циклов замораживания и оттаивания			
			50	100	200	450
Бетон без покрытия	—	16,6/18,5	99,4	—	90,0	—
		3,3/3,5				
ВПС-Д (ТМ-5)	500	23,0/38,3	—	—	—	—
		4,5/5,9				
		26,3/32,5				
ВПС-Д (ТМБ)	300	5,2/5,8	100,5	100,9	100,6	100,3
		27,0/30,9				
		5,4/5,8				
ВПС-Д (промышленная партия)	500	23,4/33,3	100,5	100,8	100,7	100,5
		4,9/5,6				
		23,7/33,6				
Помароль	300	4,6/5,8	100,5	100,8	100,6	100,3
		—				
Сопсиг WB	500	—	101,3	101,5	101,5	100,5
		—				
	300	—	100,9	98,5	97,6	94,9

Примечания: 1. Перед чертой — в возрасте 3. после черты — 28 сут. 2. Над чертой —  $R_{сж}$ , под чертой —  $R_{и}$ . 3. Прочность бетона нормального хранения  $R_{сж}^{28} = 30,2$ ,  $R_{и}^{28} = 5,2$  МПа.

Таблица 3

Часть зерна	Пористость бетона, %			Показатель		Масса образца, %, через 100 циклов замораживания и оттаивания в 5 %-ном растворе NaCl
	общая	открытая	условно-замкнутая	размера открытых пор $\lambda$	однородности размеров пор $\alpha$	
Верхняя	14,1	11,7	2,4	0,70	0,75	101,0
Средняя	15,8	10,9	4,9	0,92	0,48	101,7
Верхняя	16,6	12,4	4,2	0,60	0,50	101,4
Нижняя	13,7	10,5	3,2	0,66	0,90	101,1

раживании и оттаивании образцов в 5 %-ном водном растворе хлорида натрия.

Опытно-промышленную партию ВПС-Д (130 т) поставили в 1992 г. в АО «Центродорстрой»

и другие строительные организации для ухода за цементобетонным покрытием автомобильных дорог и аэродромов. Часть ее использовали на Краснополянском керамическом заводе для защиты

от обезвоживания цементно-песчаной черепицы при естественном твердении и при воздушно-сухом прогреве в туннельной камере при 38 °С и относительной влажности 30 %. Испытания показали, что цементно-песчаная черепица, защищенная ВПС-Д, имела в 2... 2,4 раза большую прочность на изгиб, чем твердевшая без ухода.

По данным СоюздорНИИ бетонные керны, выбуренные из двухслойного бетонного грузового перрона аэропорта Домодедово, твердевшего под пленкой ВПС-Д, характеризуются типичными для дорожного бетона параметрами поровой структуры и значениями морозостойкости (табл. 3).

Испытания шероховатости цементобетонного покрытия, проведенные СоюздорНИИ методом песчаного пятна, показали, что ВПС-Д не ухудшает характеристики искусственной поверхности бетона. Глубина впадины (бороздки) на бетонной поверхности в среднем составляла 0,51 мм при норме 0,5 мм. Скользящая цементобетонного покрытия, влияющая на сцепление колеса транспортного средства с поверхностью бетона, по данным испытаний образцов на маятниковом приборе МП-3, в целом не превышала для всех исследуемых пленкообразующих материалов традиционных значений. Применение ВПС-Д в дорожно-строительных организациях обеспечивает получение экономического эффекта благодаря более низкой стоимости и расходу состава, а также меньшим затратам на его нанесение по сравнению с другими пленкообразующими материалами.

Использование ВПС-Д в производстве сборного железобетона обеспечивает получение экономического эффекта также вследствие замены пропаривания изделий более экономичным воздушно-сухим прогревом горячим воздухом, продуктами сгорания природного газа, утилизированными дымовыми газами или глухим паром, а также гелиотермообработкой, низкотемпературной (40...50 °С) ТВО или безобогревным твердением. Кроме того, при тепловой обработке поверхностный слой бетона пропитывается низкоплавкими компонентами ВПС-Д и приобретает свойства гидрофобности, что важно, например, для таких изделий, как цементно-песчаная черепица, железобетонные трубы, фундаментные блоки, колодцы, тьюбинги, мелио-

Пленкообразующий материал	Дисперсионная среда, растворитель	Расход, г/м <sup>2</sup>	Поверхность бетона при обработке ПМ	Характеристика пленочного покрытия		Морозостойкость
				цвет	k <sub>d</sub> , %	
ВПС-Д	Вода или водоорганический растворитель Сольвент и уайт-спирит	100—300	Влажная или подсушенная	Бесцветный	29—32	Морозоустойчив
ВПС-Д-С				Белый	55—75	
Помароль				Светлокоричневый	32—38	
ПМ-86; ПМ-86Б; ПМ-100А; ПМ-100АМ	Вода	400—600	Подсушенная	То же с серебристым оттенком	42—45	»
ВПМ				Белый	52—58	Замораживанию не подлежит
ПЗС ИХН	Водоорганический растворитель	400	То же	Желтый	55—59	Морозоустойчив
Concur WB	То же	200—300	Подсушенный	Бесцветный	28—32	Замораживанию не подлежит

Примечание. k<sub>d</sub> — коэффициент диффузного светоотражения покрытий по блескомеру ФБ-2

ративные лотки и т. д.

Несмотря на постоянно растущую стоимость нефти и продукции нефтехимии, состав ВПС-Д по сравнению с другими пленкообразующими материалами наиболее экономически выгоден вследствие высокой влагозащитной способности при минимальной норме расхода (табл. 4). Однако в дорожно-строительных организациях существующее распылительное оборудование не позволяет наносить пленкообразующие материалы на бетон при расходе менее 300 г/м<sup>2</sup>.

По техническим, экономическим и экологическим характеристикам разработанные составы ВПС-Д можно отнести к пленкообразующим материалам пятого поколения. При этом к материалам первого поколения относятся битумные эмульсии и композиции на их основе (ЭГИК, ЭБА, ЭБК и др.), второго поколения — материалы на органических растворителях (лак этиноль, помароль, Concur Alum-90, разжиженный битум, Betokem MH и др.), третьего поколения — водные дисперсии каучуков (латексы), соолигомеров и их композиции (ЭКЧ-47, ВПМ, ТИНБ, ПЗС, ИХН, ЛБК и др.), четвертого поколения — водные дисперсии нефтенолимерных и парафиносодержащих продуктов и их смесевые композиции с латексами, смолами и т. д. (ВЭП-1, ВЭП-2, ВПС, Betokem OM LI-13, Concur WB, WR-2, WRS-2 и др.)

На основании проведенных исследований разработаны техниче-

ские условия на ВПС-Д и технологический регламент их производства, рекомендации по применению этих материалов для ухода за цементобетонным покрытием дорог и аэродромов, мостовыми железобетонными конструкциями при кондуктивном прогреве в термоформах, изделиями из сборного железобетона при гелиотермообработке, воздушно-сухом прогреве в камерах, безобогревом твердения. В проекте ГОСТа учтены последние зарубежные достижения по стандартизации пленкообразующих материалов, нашедшие отражение в американских (ASTM C-156, ASTM C-309), британских (BS 8110; BS 7542) и других стандартах.

Новый пленкообразующий материал ВПС-Д рекомендован для ухода за монолитным и сборным железобетоном. Его поставляют в железнодорожных и автомобильных цистернах. ВНИИЖелезобетон, СоюздорНИИ и АО «Центродорстрой» оказывают заказчикам научно-техническую помощь во внедрении, включающую внеочередную поставку ВПС-Д в необходимом количестве, передачу нормативно-технической документации, изготовление опытной партии железобетонных изделий или участков автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов, облицовок оросительных каналов и т. д., инструктаж и обучение технического персонала. Справки по телефонам в Москве: 306-34-11; 306-33-46, 521-18-38 и 928-51-52.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Топильский Г. В. Ресурсосберегающая технология изготовления железобетонных изделий с ВПС // Промышленность сборного железобетона. — М.: ВНИИЭСМ, 1989. — Сер. 3. — Вып. 4. — С. 21—26.
2. Применение вододисперсных составов для ухода за свежеложенным цементобетоном покрытий автомобильных дорог / Л. С. Малицкий, М. В. Хохлов, Г. Ф. Полетаева, Г. В. Топильский // Дорожные одежды и материалы. — М.: РосдорНИИ, 1990. — Вып. 3. — С. 86—93.
3. Топильский Г. В., Маслова Л. Н., Турукова Л. М. Новые вододисперсные противоиsparяющие составы для бетона на синтетических жирных кислотах и отходах производства // Новые технологические разработки в производстве сборного железобетона. — М.: ВНИИЖелезобетон, 1990. — Вып. 2. — С. 75—87.
4. Топильский Г. В., Коряжкина М. Н., Егоров А. Р. Вододисперсные противоиsparяющие составы (ВПС) для строительного и аграрного комплексов страны // Всесоюз. конф. Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии: Тез. докл. — Белгород, 1991. — Ч. II. — С. 119—126.
5. Вододисперсные пленкообразующие составы для бетона в условиях сухого жаркого климата / Б. А. Крылов, Л. Г. Чукаселидзе, Г. В. Топильский и др. // Бетон и железобетон. — 1992. — № 6. — С. 15—17.
6. Применение вододисперсных пленкообразующих составов при обработке изделий в термоформах / Г. В. Топильский, М. Н. Коряжкина, И. В. Филатов, М. Г. Елистратов // Бетон и железобетон. — 1992. — № 8. — С. 6—8.

УДК 624.012.45:631.2

А. А. КУДРЯВЦЕВ, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Новые конструкции и изделия для строительства сельских домов

В НИИЖБе разработаны изделия и конструкции для усадебных и дачных домов из бетона различных видов. Исследования составов бетона для производства стеновых камней проводили на различных заполнителях: керамзите, золе ТЭС, шлаке, песке, древесных отходах, дробленом кирпиче и др. На них получали бетоны классов В1,5...В5, пригодные для стеновых материалов. В таблице приведены основные характеристики бетонов.

Опыты показали, что лучшие свойства имеют бетоны на легких заполнителях с применением золы ТЭС. Они хорошо формуются, блоки сохраняют форму и габариты при раннем распалубивании. Применение золы ТЭС способствует также снижению расхода цемента. Зола-унос ТЭС можно использовать вместо цемента или с очень малым его расходом 50...80 кг/м<sup>3</sup> в керамзитобетоне. В таком случае можно получить блоки прочностью до 5 МПа, т. е. для 1...2-этажных домов.

При выборе материалов для организации производства бетонных камней следует учитывать местные возможности: наличие золы ТЭС, отходов древесины, керамзита и др.

Для индивидуального строительства разработаны следующие типы

изделий: стены — из бетонных камней размером 20×20×40 см с пустотами (ГОСТ 6133) и без них, плиты перекрытий — плоские элементы сечением 15×120 см длиной 3,2...4,5 м и плиты типа «Т» для крыш (см. рисунок).

Для производства стеновых камней в отечественной и зарубежной практике применяют различные типы машин и станков, принцип работы которых основан на вибропрессовании бетонной смеси и немедленным распалубиванием камней. Имеется положительный опыт работы малых передвижных станков типа ВС-01 производительностью 60 камней в час и стационарных машин Одесского завода «Строммаш» (300 камней в час).

Большой опыт производства бетонных камней имеют зарубежные фирмы. Хорошо себя зарекомендовали машины Германии: «Multimat» «Hydromat» и передвижная машина фирмы «Кпауег». Они имеют высокую производительность (600...1000 камней в час). При указанных размерах камня объем бетона на один камень составляет 10...12 л и масса 15...18 кг (на 1 м<sup>2</sup> стены укладывается 25 камней).

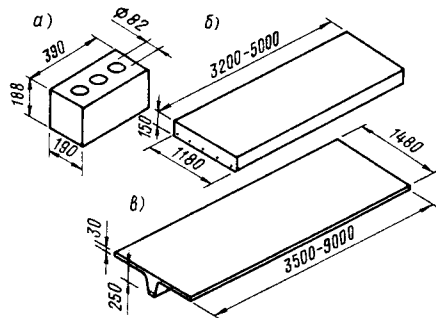
Наиболее экономична с точки зрения расхода материалов наружная стена в виде каменной кладки

со средним утепляющим слоем. В качестве утеплителя следует применять шлак, керамзит, шлаковойлок и т. п. Толщину засыпки необходимо принимать по теплотехническому расчету, она может составлять 5...10 см. При использовании утепляющего слоя стеновые камни можно изготавливать без щелевых пустот, с круглыми или квадратными пустотами различных размеров.

Плиты перекрытий рекомендуется изготавливать в виде плоских армированных элементов (см. рисунок). Ширину такой плиты можно принять по аналогии с многопустотными плитами равной 120 см, а толщину при пролете плит 3,2...4,5 м — 15 см, при пролете 5...6 м — 18 см. Изготовление плит перекрытий можно организовать в цехе (на полигонах) по производству стеновых камней или непосредственно на месте строительства жилых домов. В последнем случае при изготовлении плит можно использовать деревянную опалубку. После твердения бетона (7...10 сут) плиты автомобильным краном укладывают в перекрытие дома в проектное положение. Масса такой плиты составит 1...1,5 т.

Элементы крыши сельского дома предлагается изготавливать из лег-

Вид заполнителей	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Класс бетона	Плотность бетона Усух., кг/м <sup>3</sup>
Зола+песок	120—160	В5	1800
Зола (унос)+зола отвалов	100—150	В3,5	1550
Зола+древесная стружка	220—290	В2,5	950
Зола+керамзит	120—160	В5	1300
Кварцевый песок+керамзит	170—200	В5	1400
Кварцевый песок+древесная стружка	300—340	В3,5	1200
Кварцевый песок+пенополистирол	320—400	В2,5	800
Зола+пенополистирол	300—380	В2,5	750
Кварцевый песок+дробленый кирпич	100—150	В5	1900
Шлак+зола	120—180	В5	1800
Арболит	280—320	В2	700
Грунтобетон	220—300	В1	1900



Детали сельских домов из легких бетонов а — стеновой камень; б — плита перекрытия; в — элемент крыши

кого бетона в виде плит типа «Г». Ширину плиты для крыши можно принять равной 1,5 м, масса такого элемента составит 0,6...1,5 т. После монтажа крыши дома из Г-образных элементов для обеспечения водонепроницаемости поверх полки плиты наносят покрытие из мастики. Для этих целей можно также

применять черепицу, рубероид и др. Для закрепления шифера, кровельного железа или черепицы целесообразно использовать болты диаметром 5...6 мм. Для этого в полке плиты засверливают отверстия.

Элементы крыши сельского дома можно изготовлять в тех же условиях, что и плиты перекрытий, и

укладывать на крыши автокраном.

По всем вопросам, касающимся составов бетона, технологии производства изделий, а также проектирования домов, просим обращаться в НИИЖБ (109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6, лаб. № 5

Тел.: 174-85-96).

## В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

УДК 624.953.042:581.3

Л. П. ЖДАХИН, д-р техн. наук, проф. (Уральский политехнический ин-т)

### Определение расчетных нагрузок, вызываемых ударами потоков сыпучих материалов по стенкам бункеров

Импульсивное действие на стенки потоков сыпучих тел материалов, представляющих при падении разреженную среду, отличную от насыпной плотности при покое, несопоставимо с импульсивным действием машин, наделенных источниками импульсов внезапно и чаще сосредоточенно падающих грузов и др. Однако для случая расчета ударов больших масс потоков сыпучих материалов в разреженном состоянии при распределенном мягком импульсе по стенке и возможной малой продолжительности действия частиц песка на стенку каких-либо сведений нет. Мягкий удар рассматривали с момента встречи первых в потоке частиц после отскока от стенки с еще не коснувшимися стенками. При этом удары последующих частиц по стенке окажутся ниже ударов первых частиц, если они соприкасаются в пространстве.

Известна несопоставимость масс падающих частиц сыпучего материала с крупностью граней до 5 мм и железобетонных стенок. Поэтому в расчетах сил ударов и продолжительности взаимодействия двух соударяемых тел введены допущения: удар частиц песка по стенкам принимают абсолютными упругими; перемещения масс

стенок, вызванными ударами падающих частиц и местными деформациями бетона, пренебрегают; плотность песка, разреженного в свободно падающем потоке, считают адекватной плотности ливневого дождя.

Аналитический подход к определению сил и продолжительности ударов частиц и потоков песка по стенкам бункера изложен в источнике [1]. Там же приведено численное решение по выяснению сил и продолжительности косоугольного удара частиц и потока песка по стенке пирамидального железобетонного бункера.

В исследованиях использовали среднюю продолжительность действий распределенного мгновенного импульса (разреженных частиц в свободно падающем потоке) песка по наклонным стенкам симметричного пирамидального бункера в заданных точках пролетного сечения.

Сила удара разреженного потока песка по стенке [1]

$$F_{str} = \frac{m_{part} n_{lay}}{\Delta t \sin \alpha_1} \sqrt{g(1 - \cos \gamma)} B,$$

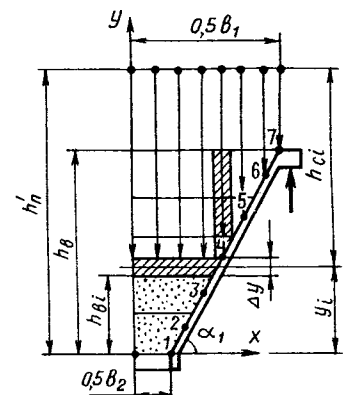
где  $m_{part}$  — масса одной частицы песка;  $n_{lay}$  — число частиц в элементарном слое высотой  $dz$  единичной площади;

$$n_{lay} = 3 \sqrt{\frac{n_{act, part}}{V_{part} T_{part} A_{area}}};$$

$\Delta t$  — средняя продолжительность мгновенного импульса потока песка по наклонной стенке симметричного пирамидального бункера, покоящегося на квадратном плане:  $\Delta t \approx 0,2 \cdot 10^{-5}$  с;  $\alpha_1$  — угол наклона стенки к горизонтали;  $\gamma = 180^\circ - 2\alpha_1$ ;  $B$  характеризует геометрические размеры бункера и описывает количественное изменение сыпучего материала в бункере через  $h_{bi}$  и  $y_i$  (см. рисунок), его значение вычисляют для каждой точки пролетного сечения бункера:

$$B = \frac{b_2}{3} [\sqrt{(h'_n - y_i)^3} - \sqrt{(h'_n - h_b)^3}] + \frac{2}{15 \operatorname{tg} \alpha_1} \times \\ \times [(2h'_n + 3y_i) \sqrt{(h'_n - y_i)^3} - (2h'_n + 3h_b) \sqrt{(h'_n - h_b)^3}];$$

$n_{act, part}$  — среднее число частиц в свободно падающем разреженном потоке песка;  $V_{part}$  — средняя скорость свободно падающей частицы;  $V_{part} = 0,5 \sqrt{2gh_{ci}}$ ;  $t_{part}$  — среднее время па-



Геометрические размеры пирамидального бункера, покоящегося на квадратном плане, и точки в пролетном сечении стенки, соответствующие ординатам эмпор расчетных нагрузок  $F_{str}$ , вызванных импульсами потоков сыпучих сред



дения частицы с высоты  $h_{ci}$ :  $t_{part} = \sqrt{2h_{ci}/g}$ ;  $A_{area}$  — площадь выпускного отверстия емкости, заполненной песком, расположенной над бункером, равная площади верхнего основания бункера.

Для точек 2, 3 и 4 пролетного сечения (см. рисунок) пирамидального бункера использовали опытные коэффициенты динамичности 1,1; 1,2 и 1,34. Анализ показал, что в этих точках увеличение силы удара большой массы потока песка по стенке приводит к снижению продолжительности его действия, при этом  $k_d \approx 1,2$ . В заданных точках пролетного сечения стенки установлено нарастание  $k_d$  снизу вверх. Сила ударов в этих точках увеличивалась, а продолжительность действия ударов уменьшалась.

До настоящего времени в расчетную нагрузку как один из множителей вводили коэффициент динамичности, который конструкторам-проектировщикам произвольно задавали технологи. Однако, установлена возможность расчета сте-

нок без привлечения произвольных коэффициентов  $k_d$  при условии, если известно время взаимодействия сыпучих сред (песков) в разреженном состоянии при распределенном мягком импульсе по стенке. В этом случае расчетную нагрузку (силу косоуго удар) в точках пролетного сечения пирамидального бункера  $F_{str}$  рекомендуется вычислять по приведенной формуле. Силу прямого удара разреженного потока песка по горизонтальной плоскости (днищу) бункера предлагается подсчитывать по зависимости (8) [1]. Следовательно, учет влияния динамических воздействий сыпучих материалов на стенки в результате математического анализа должен стать заботой исследователей и инженеров-конструкторов.

Если кривизна эпюры расчетной нагрузки, вызываемой ударами потоков сыпучих материалов, окажется пологой, то по длине наклонной стенки ее можно допустить изменяющейся по линейному закону. При высокой кривизне

эпюры расчетной нагрузки расчет необходимо вести методом конечных элементов, используя схему разбивания нагрузки на стенку пирамидального бункера и последовательность расчета, приведенные в источнике [2].

Следовательно, располагая средним значением продолжительности мгновенного импульса разреженного потока песка по наклонной стенке можно без применения произвольных  $k_d$  вычислять ординаты эпюр расчетных нагрузок во всех точках пролетного сечения стенки пирамидального бункера.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ждахин Л. П. К определению сил и продолжительности ударов сыпучих по стенкам железобетонных бункеров // Строительная механика и расчет сооружений. — 1991. — № 6. — С. 54—61.
2. Ждахин Л. П., Шакиров К. А., Валинецкий А. В. К расчету пространственно-комбинированных систем из двух совместно работающих физических сред // Строительная механика и расчет сооружений. — 1987. — № 2. — С. 24—27.

УДК 624.012.41

С. И. РОГОВОЙ, Н. Н. ГУБИЙ, кандидаты техн. наук, В. В. МАРТЬЯНОВ, инж. (Полтавский инженерно-строительный ин-т)

## Расчет несущей способности элементов при косом внецентренном сжатии

Методика общего случая расчета сжатых железобетонных элементов по СНиП 2.03.01—84 позволяет проверять несущую способность нормальных сечений при косом внецентренном сжатии. Такая задача реализуется достаточно сложно и трудоемко способом последовательных приближений. Однако эта методика не обеспечивает прямого подсчета несущей способности элемента и позволяет установить случай работы (больших  $\xi \leq \xi_R$  или малых  $\xi > \xi_R$  эксцентриситетов) и характер напряженно-деформированного состояния такого элемента.

По нижеприведенной методике можно определять несущую способность нормальных сечений сжатых элементов в общем случае расчета с учетом требований СНиП

2.03.01—84. При этом в процессе прямого расчета несущей способности можно установить случай работы внецентренно сжатых элементов, характер их напряженно-деформированного состояния. При определении расчетной высоты сжатой зоны сечения учитывается влияние различных параметров: эксцентриситета  $e_0$  и угла наклона силовой плотности к оси симметрии сечения, размеров сечения, прочностных и деформативных характеристик бетона и арматуры.

Для оценки напряженно-деформированного состояния нормального сечения сжатого элемента определяется эксцентриситет  $e_{o2}$ , при котором напряжения в наиболее удаленной от оси действия нагрузки арматуры равны нулю (см. рисунок):

$$e_{o2} = \frac{e_0^2 e_{o2}^2 \sqrt{1 + \tan^2 \beta}}{e_0^2 \tan \beta + e_{o2}^2}, \quad (1)$$

где  $\beta$  — угол наклона силовой плоскости к оси симметрии сечения;  $e_{o2}^2$  — эксцентриситет в плоскости, параллельной размеру  $h$ ;  $e_0^2$  — то же в плоскости, параллельной размеру  $b$ .

При таких эксцентриситетах напряжение в арматуре  $S$  равно нулю, их можно определить из уравнений равновесия  $\Sigma M = 0$  соответствующего напряженно-деформированного состояния:

$$e_{o2}^2 = 0,5h - a' - \frac{R_b h x_o^2 (0,5 x_o^2 - a')}{R_b b x_o^2 + R_{sc} A_s'}, \quad (2)$$

$$e_{o2}^2 = 0,5b - a' - \frac{R_b h x_o^2 (0,5 x_o^2 - a')}{R_b h x_o^2 + R_{sc} A_s'}, \quad (3)$$

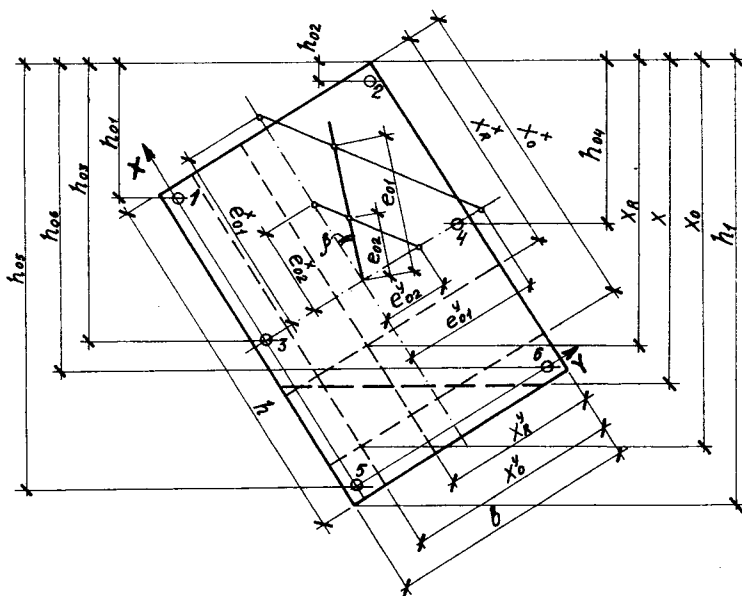


Схема нормального к продольной оси элемента сечения при расчете по прочности на косое внецентренное сжатие

В этих формулах расчетную высоту сжатой зоны  $x_0^y$ , соответствующую эксцентриситету  $e_{o2}^y$ , можно получить из эмпирической зависимости (39) СНиП 2.03.01—84; приравнивая  $\sigma_s=0$ ,

$$x_0^y = 0,5 h_o (\xi_R + 1). \quad (4)$$

Аналогично определяется высота  $x_0^x$ , соответствующая эксцентриситету  $e_{o2}^x$

$$x_0^x = 0,5 b_o (\xi_R + 1). \quad (5)$$

Все другие параметры, входящие в эти и последующие формулы, приняты в соответствии со СНиП 2.03.01—84.

Если эксцентриситет внешней нагрузки  $e_o \leq e_{o2}$ , дальнейший расчет ведется с учетом того, что вся арматура испытывает сжатие. Расчетную высоту сжатой зоны бетона в этом случае можно определять по интерполяции, как промежуточное значение между точками с известными координатами:  $x=h_1$  при  $e_o=0$ ;  $x=x_o$  при  $e_o=e_{o2}$ , аналогично формуле

$$x = h_1 - e_o (h_1 - x_o) / e_{o2}, \quad (6)$$

где параметры  $h_1$  и  $x_o$  (см. рисунок) вычисляются по формулам:

$$h_1 = h \cos \theta + b \sin \theta; \quad (7)$$

$$x_o = x_0^x \cos \theta + x_0^y \sin \theta. \quad (8)$$

Угол  $\theta$  между осью  $y$ , параллельной размеру  $b$ , и прямой, ограничивающей сжатую зону, принимается, как при расчете упругого тела на косое внецентренное сжатие

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{M_y}{M_x} \frac{I_x}{I_y} = \frac{M_y}{M_x} \left(\frac{h}{b}\right)^2; \quad (9)$$

здесь:  $M_x, M_y$  — изгибающие моменты от внешней нагрузки в плоскости, параллельной размерам  $h, b$ .

Для случаев  $e_o > e_{o2}$ , дальнейший расчет реализуется в следующей последовательности. По аналогии с формулой (1) вычисляется эксцентриситет  $e_{o1}$  (см. рисунок), при котором напряжение в наиболее удаленной от оси действия нагрузки растянутой арматуре достигает предельных значений

$$e_{o1} = \frac{e_{o1}^x e_{o1}^y \sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + 1}}{e_{o1}^x \operatorname{tg} \beta + e_{o1}^y}. \quad (10)$$

Эксцентриситет  $e_{o1}^x$  в плоскости, параллельной размеру  $h$ , и  $e_{o1}^y$  в плоскости, параллельной размеру  $b$ , при которых напряжение в растянутой арматуре  $S$  достигает предельных значений, определяется по аналогии с формулами (2) и (3):

$$e_{o1}^x = 0,5 h - a' - \frac{R_b b x_R^x (0,5 x_R^x - a') - R_s A_s (h_o - a')}{R_b b x_R^x + R_{sc} A_s' - R_s A_s}; \quad (11)$$

$$e_{o1}^y = 0,5 b - a' - \frac{R_b h x_R^y (0,5 x_R^y - a') - R_s A_s (h_o - a')}{R_b h x_R^y + R_{sc} A_s' - R_s A_s}, \quad (12)$$

где  $x_R^x$  и  $x_R^y$  — граничные высоты сжатой зоны соответственно по направлению размеров сечения  $h$  и  $b$ , определяются по СНиП 2.03.01—84.

При  $e_{o2} < e_o \leq e_{o1}$  высота сжатой зоны находится по интерполяции, как промежуточное значение между точками с известными координатами:  $x=x_o$  при  $e_o=e_{o2}$ ;  $x=x_R$  при  $e_o=e_{o1}$ , аналогично формуле (13)\*

$$x = \frac{x_R (e_o - e_{o2}) - x_o (e_o - e_{o1})}{e_{o1} - e_{o2}}. \quad (13)$$

Здесь  $x_R$  (см. рисунок) определяется по формуле

$$x_R = x_R^x \cos \theta + x_R^y \sin \theta. \quad (14)$$

Дальнейший расчет выполняется в соответствии с указаниями п. 3.28 СНиП 2.03.01—84. Для каждого из продольных стержней вычисляется отношение  $\xi_i = x/h_{oi}$ , напряжение в этих стержнях находится по формуле (67)

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc, u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \left( \frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right). \quad (15)$$

Несущую способность нормального сечения элемента можно определять по формуле (66) СНиП 2.03.01—84

$$N = R_b A_b - \sum \sigma_{si} A_{si}. \quad (16)$$

Разработанная методика приемлема в области любых (больших и малых) эксцентриситетов, как для плоского, так и косоугольного внецентренного сжатия. Сравнение опытных разрушающих нагрузок для колонн, испытанных на плоское и косое внецентренное сжатие различными авторами, и теоретических, полученных по разработанной методике, дает удовлетворительную сходимость. Это позволяет рекомендовать настоящую методику расчета для практического применения.

\* Роговой С. И., Губий Н. Н. К расчету внецентренно сжатых железобетонных элементов // Изв. вузов / Сер.: Стр-во и арх-ра.— 1988.— № 9.— С. 6—8.

Дук 691.327:551.571

В. К. ВЛАСОВ, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Простой метод определения адсорбционной влажности песка

При построении моделей бетонной смеси и бетона часто используют адсорбционную влажность заполнителя  $V_a$ . Однако методическая сложность определения  $V_a$  снижает прикладное значение моделирования в бетоноведении и технологии бетона.

В НИИЖБе разработана упрощенная методика определения влажности плотного прироста песка, соответствующей его адсорбционной способности. В основу методики положена известная закономерность изменения объемной насыпной массы песка  $\rho_n$  с изменением его влажности.

Построение зависимости  $\rho_n$  от влажности песка производят следующим образом. Навеску сухого песка массой 2 кг последовательно увлажняют водой и при каждом значении влажности трижды определяют  $\rho_n$ . Для этого пробу песка засыпают мастерком в сосуд с подвижным дном по его верхней кромке. После этого выдвигают дно, песок пересыпают в измерительный литровый сосуд, металлической линейкой удаляют излишки песка и взвешивают сосуд. Среднее значение коэффициента вариации всех определений составило 1,5 % при максимальном значении 4 %.

На рис. 1 приведены полученные зависимости для песков, зерновые составы которых представлены в таблице. С ростом влажности песка  $\rho_n$  уменьшается до минимального значения, а затем возрастает. Механизмы, лежащие в основе этого явления, подробно рассмотрены в работе [1].

Влажность песка, при которой получено минимальное значение  $\rho_n$ , предлагается принять в качестве величины адсорбционной влажности песка  $V_a$ . Для сравнения полученных данных использовали результаты расчета  $V_a$  через значения  $V_a$  отдельных фракций песка. В достаточном для анализа объеме данные для этого приведены в [2].

Как видно из таблицы, значения  $V_a$ , полученные по предлагаемой методике, близки к расчетным. Дробление интервала влажности при определении  $V_a$  менее 1 % нецелесообразно.

Таким образом,  $V_a$  песка можно определять расчетом при наличии данных о зерновом составе песка, а также опытным путем по предлагаемой методике. Последнее позволяет использовать полученную зависимость « $\rho_n$  — влажность» для последующего контроля влажности песка.

Вид песка	Средние остатки на стандартных ситах						Модуль крупности	Адсорбционная влажность, %
	Адсорбционная влажность фракций по [2], %							
	2,5	1,25	0,63	0,31	0,16	<0,16		
Люберецкий овражный	—	—	0,20	7,00	90,5	2,30	1,04	6,85/6
			2,65	3,98	6,9	13,80		
Москворецкий речной	1,500	2,60	13,80	32,20	39,3	9,60	1,65	5,06/4
	1,914	2,07	2,30	3,46	6,0	12,01		
Певекский речной	23,230	30,30	25,30	13,00	6,0	2,00	3,47	2,71/3
	1,914	2,07	2,30	3,46	6,0	12,01		
Вольский кварцевый	—	—	55,20	44,80	—	—	1,55	1,92 (1,33)*1
			1,32	2,65				

\* По данным проф. И. А. Кириенко.

Примечание. Перед чертой — расчетная по [2], после черты — по предлагаемому методу.

Определение  $V_a$  тех же песков методом электрических измерений [3] показало сложность идентификации точки перелома или излома на кривой зависимости электропроводности песка с ростом его влажности (рис. 2). Для песков с

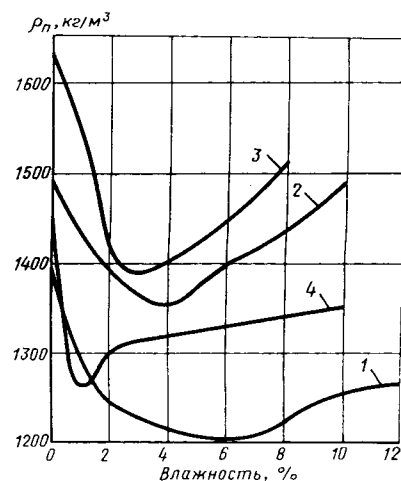


Рис. 1. Зависимость объемной насыпной массы песка от его влажности. Пески: 1 — Люберецкий; 2 — Москворецкий; 3 — Певекский; 4 — Вольский

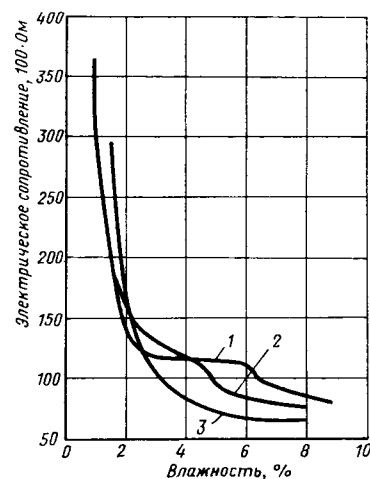


Рис. 2. Зависимость электропроводности песка от его влажности. Пески: 1 — Люберецкий; 2 — Москворецкий; 3 — Певекский

$V_a$  менее 4 % эта точка практически не выявляется из-за крутизны получаемой кривой.

Использовать предлагаемую методику для определения  $V_a$  крупного заполнителя невозможно. По [2] для гранитного щебня фракций 5...10 мм общее водопоглощение порами и поверхностью 1,21 %, для фракций 10...20 мм — 0,92 %. Смесь этих фракций в отношении

соответственно 30:70 будет иметь  $V_a = 0,3 \times 1,21 + 0,7 \times 0,92 = 1$  %.

Определение естественной влажности  $V$  гранитного щебня, ранее высушенного и длительно хранившегося в цехе, показало, что для фракций 5...10 мм  $V_e = 0,116$  %, для фракций 10...20 мм  $V_e = 0,103$  %. Таким образом, ориентировочно для гранитного щебня можно принять  $V_e = 0,1 \times V_a$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эркенов М. М. Влияние влажности песка на его насыпную плотность // Строительные материалы.— 1991.— № 2.— С. 23—24.
2. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона.— М.: Стройиздат, 1981.— 464 с.
3. Луцковский Д. М. Определение оптимального водоцементного отношения для бетона методом электрических измерений // Бетон и железобетон.— 1959.— № 7.— С. 303—307.

## ТЕОРИЯ

УДК 691.32

И. А. УЗУН, канд. техн. наук, доц. (Одесский инженерно-строительный ин-т)

### Коэффициенты упругопластичности бетона сжатой зоны на всех стадиях работы элементов

Коэффициенты упругопластичности бетона сжатой зоны определяли с использованием равновесных диаграмм  $\sigma_b - \epsilon_b$  с нисходящими ветвями  $\sigma_b/R_{b,ser} = 0,1...0,85$ . Диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$  [1, 2] позволяют по  $R_{b,ser}$ ,  $E_b$ ,  $\epsilon_R$ ,  $\epsilon_k$  найти коэффициенты упругости  $\nu_b$ , полноты эпюры напряжений  $\omega$  и упругопластичности  $\nu = \nu_b \omega$  ( $\epsilon_R$  — деформация сжатия на вершине диаграммы;  $\epsilon_k$  — то же на нисходящей ветви при  $\sigma_b/R_{b,ser} = 0,85$ ,  $\epsilon_k = 2,7...3,6$  [3]).

На вершине диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$

$$\nu_b = \nu_R = \frac{R_{b,ser}}{E_b \epsilon_R}, \quad (1)$$

где  $R_{b,ser}$ ,  $E_b$  находят по СНиП 2.03.01—84, а  $\epsilon_k$  по источнику [3];  $\epsilon_R = 2 \cdot 10^{-3}$ .

По нормам [3]  $\epsilon_R = 2,2 \cdot 10^{-3}$ . Эксперименты [2] показали, что для бетона класса В15  $\epsilon_R = 1,6$ , а класса В60 — 2,3, для других классов бетона  $\epsilon_R = 1,7...2,2 \cdot 10^{-3}$  [2].

На восходящей ветви при  $\sigma_b/R_{b,ser} = 0...1$  [1]

$$\nu_b = \nu_R^{(1)} + (\nu_b^{(1)} - \nu_R) \times \sqrt{1 - e_1^{(1)} \eta - e_2^{(1)} \eta^2}, \quad (2)$$

где  $\nu_b^{(1)} = 1$ ;  $e_1^{(1)} = 1,4 - 0,175 \frac{R_{b,ser}}{R_0} \leq 2$ ;  
 $e_2 = 1 - e_1^{(1)}$ ;  $R_0 = 10$  МПа.

На нисходящей ветви

$$\nu_b = \nu_R - (\nu_b^{(2)} - \nu_R) \times \sqrt{1 - e_1^{(2)} \eta - e_2^{(2)} \eta^2}, \quad (3)$$

где  $\nu_b^{(2)} = 2,05 \nu_R$ ;  $e_1^{(2)} = 0,2 + 0,188 \times \frac{R_{b,ser}}{R_0} \leq 2$ ;  $e_2^{(2)} = 1 - e_1^{(2)}$ .

Расчетные и экспериментальные значения  $\nu_b$  в зависимости от  $\sigma_b/R_{b,ser}$  для бетона классов В15... В60 приведены на рис. 1. Коэффи-

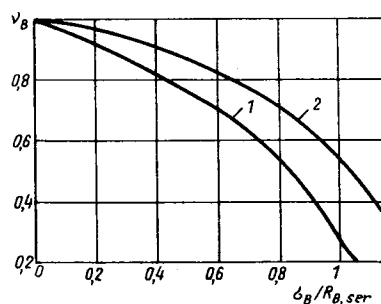


Рис. 1. Зависимость  $\nu_b$  от  $\sigma_b/R_{b,ser}$  для бетонов классов В15 (1) и В60 (2)

циенты полноты эпюры напряжений в стадиях, близких к разрушению [ $\sigma_b = (1...0,85)R_{b,ser}$ ], определенные по СНиП 2.03.01—84 для бетона класса В15, равны 0,79, а для бетона класса В60 — 0,59. При  $\sigma_b = (0...0,85)R_{b,ser}$

на восходящей ветви

$$y_1 = \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} = 2 \frac{\epsilon_b}{\epsilon_R} - \left(\frac{\epsilon_b}{\epsilon_R}\right)^2, \quad (4)$$

на нисходящей ветви

$$y_2 = 1 - 0,15 \frac{\epsilon_b - \epsilon_R}{\epsilon_k - \epsilon_R} \quad (5)$$

и формулу трапеций

$$\int_0^x y dx = \frac{h}{2} (y'_0 + 2y'_1 + 2y'_2 + \dots + 2y'_{i-1}), \quad (6)$$

где  $y'_0, y'_1...y'_{i-1}$  — интегрируемые функции;  $x$  — высота сжатой зоны.

Например, при  $\epsilon_b/\epsilon_R = 0,1$  для бетона класса В15  $\omega = 0,51$ , а для бетона класса В60  $\omega = 0,5$ . При  $\epsilon_b/\epsilon_R = 0,5$  с  $\omega = 0,5$  и 0,52, при 0,85  $\sigma_b/R_{b,ser}$   $\omega = 0,79$  и 0,59.

Произведения коэффициентов  $\nu_b \omega$ , равные коэффициентам упругопластичности  $\nu$ , приведены на рис. 2. Значения  $\nu$  на восходящей ветви уменьшаются для бетона класса В60 с 0,5 до 0,29 при  $\sigma_b/R_{b,ser} = 1$ , и на нисходящей ветви при  $\sigma_b/R_{b,ser} = 1...0,85$  с 0,29 до 0,18. Для бетона класса В15 на восходящем участке  $\nu = 0,5...0,16$ , и на нисходящем  $\nu = 0,16...0,07$ . При  $\sigma_b/R_{b,ser} = 1...0,85$  для других классов  $\nu = 0,29...0,07$ .

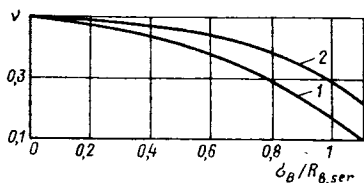


Рис. 2. Зависимость коэффициентов упрочности  $\nu_b$  от  $\sigma_b/R_{b,ser}$  для бетонов классов В15 (1) и В60 (2)

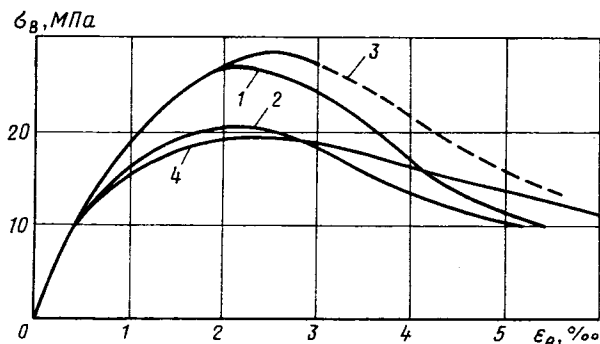


Рис. 3. Влияние скорости деформирования на параметрические точки диаграмм  $\epsilon_k, \epsilon_k$   
1 — при скорости деформирования 1%/ч (опыты автора); 2 — то же 1%/30 мин [1];  
3 — то же 1%/10 ч (опыты автора); 4 — то же 1%/15 ч [1]

Следует отметить, что коэффициенты  $\nu_b$ ,  $\omega$  и  $\nu$  получены по результатам испытания бетонных призм с постоянной скоростью деформирования  $(1,5...2,5) \cdot 10^{-5} \text{ мин}^{-1}$ . Коэффициенты  $\omega$  соответствуют стадиям, близким к разрушению как сжатых бетонных призм, так и изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов. По экспериментальным диаграммам  $\sigma_b - \epsilon_b$  [2]  $\omega$  выше. Приведенные значения  $\nu$  зависят от степени реализации нисходящего участка диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$ , величин деформаций  $\epsilon_R, \epsilon_k, R_b, ser, E_b$ , достигнутого напряженно-деформированного состояния как в сжатых бетонных призмах, так и в изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементах. При этом важно установить напряжение в бетоне  $\sigma_b \geq R_{b,ser}$  или  $\sigma_b < R_{b,ser}$  в предельной стадии (при  $M = M_{max}$ ). Неоднородное напряженно-деформированное состояние изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, высота сжатой зоны  $x$ , коэффициенты армирования, диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b, \sigma_s - \epsilon_s$ , эксцентриситет, длительность действия нагрузки, циклические разгрузки и другие факторы оказывают значительное влияние на коэффициенты упрочности. В некоторых случаях это влияние положительное, т. е. коэффициенты  $\nu$  повышаются, в других случаях (особенно при больших гибкостях и эксцентриситетах) — отрицательное.

Проанализировали влияние скорости деформирования, отличные

от принятых в испытании. По экспериментальным данным  $R_{a, sch}$ , приведенным в источнике [1], при уменьшении скорости деформирования в 30 раз  $\epsilon_R$  возросла с 2,1 до  $2,7^0/00$  при снижении прочности  $R_b^{exp}$  на вершине диаграммы на 9%. В экспериментах при уменьшении скорости деформирования в 10 раз  $\epsilon_R$  возросла с 2 до  $2,4^0/00$  при незначительном повышении прочности на 7%, связанном с разгрузками после каждого 5-часового этапа нагружения (рис. 3). Более пологая нисходящая ветвь приводит к большей конечной деформации  $\epsilon_k$  на каждом уровне напряжений и, следовательно, к большей величине  $\omega$ , зависящей от  $\epsilon_k/\epsilon_R$ . Коэффициенты упругости снижаются и на вершине диаграммы составляют  $(0,9...0,65) \nu$  при эталонном режиме деформирования  $1^0/00$ . Однако на нисходящем участке его снижение замедляется (при скорости деформирования  $1^0/00/15 \text{ ч}$ ). Параметрические точки  $\epsilon_R, \epsilon_k$  и коэффициенты  $\nu_b, \omega, \nu$ , зависящие от скорости деформирования и других факторов, переменны. Их значения можно получить по источнику [1].

По данным работы [4], в изгибаемых конструкциях с низкой прочностью бетона и высокими коэффициентами армирования рано проявляются неупругие деформации бетона и задолго до предельного состояния  $\nu$  уменьшаются до 0,2. В изгибаемых элементах с прочностью бетона 40...20 МПа,  $\mu = 0,77...0,9$  и  $R_s = 575...842 \text{ МПа}$  при  $\sigma_b/R_{b,ser} = 1$   $\nu = 0,32...0,28$ .

Следовательно, и в изгибаемых, и внецентренно сжатых элементах реализуются такие же коэффициенты  $\nu$ , какие получены при центральном сжатии бетонных призм с постоянной скоростью деформирования [2].

В работе [5] коэффициенты упрочности

$$\nu = 0,5 - 0,26 \left( \frac{\sigma_b}{R_b} - 0,3 \right) \quad (7)$$

как предпосылки и допущения при их выводе не точны: полученные в источнике [5]  $\omega = 0,5...0,64$  ниже, чем по формуле СНиП 2.03.01—84,  $\nu_b$  с начала нагружения уменьшаются с 1 до  $\nu_R$ , поэтому при  $\sigma_b/R_{b,ser} \leq 0,3$ ,  $\nu_b \neq 1$ , произведение неточных коэффициентов  $\nu_b \omega$  дало неточные (завышенные) коэффициенты упрочности бетонов сжатой зоны —  $0,5...0,32$ .

## Выводы

С помощью эталонных равновесных диаграмм сжатия обычного тяжелого бетона  $\sigma_b - \epsilon_b$  определены значения  $\nu$  на всех стадиях работы изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов. Для бетонов классов В15...В60 на всех стадиях работы изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов  $\nu = 0,5...0,7$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Карпенко Н. И., Мухамедиев Т. А., Петров А. Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1986. — С. 7—25.
- Узун И. А. Напряжения в сжатой зоне бетона // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. — 1987. — № 3. — С. 8—13.
- Кодекс-образец ЕКБ—ФИП. Для норм по ЖБК. Т. II. Евро-международный комитет по бетону. — М.: Стройиздат, 1984. — 263 с.
- Коковин О. А. Деформации изгибаемых и внецентренно сжатых элементов при кратковременно действующей нагрузке в стадиях, близких к разрушению // Прочность и жесткость железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1968. — С. 104—125.
- Осинов В. К., Акопов В. Г. Определение коэффициента упрочности бетона сжатой зоны // Бетон и железобетон. 1988. — № 4. — С. 36—37.

## Расчет изгибаемых элементов с учетом неупругих свойств бетона

Теория изгиба железобетонных элементов с учетом неупругих свойств бетона при действии длительных нагрузок достаточно подробно изучена [1...4]. Наиболее известные и часто применяемые решения исходят из предпосылок, позволяющих записать и решить интегральные уравнения задачи или их систем. Например, в [1, 2] записываются уравнения для определения четырех неизвестных:  $X_{(t)}$ ,  $X_{cp(t)}$ ,  $\sigma_s(t)$ ,  $\sigma_b(t)$  (соответственно для высоты и средней высоты сжатой зоны бетона, текущих напряжений в арматуре и бетоне). Приближенное решение разыскивается из предположения  $X_{(t)} = X_{cp(t)}$ ;  $\psi_b(t) = 1$ . Задача сводится к решению нелинейного интегрального уравнения. Метод решения состоит в разделении интервала времени на несколько отрезков и в последовательном определении неизвестного  $X_{cp(t)}$  в конце каждого отрезка, напряжений и прогибов. Однако процесс определения прогибов железобетонных балок достаточно трудоемок даже с применением ЭВМ. Поставленную задачу можно решить менее сложным путем, записав основное уравнение непосредственно относительно кривизны с последующим определением при необходимости всех сопутствующих величин. Основными предпосылками, используемыми при выводе уравнений задачи, приняты:

эпюра напряжений в сжатой зоне бетона прямоугольная (используемые эпюры напряжений других видов, например криволинейной или трапециевидальной, только усложняют трудоемкость вычислений и не уточняют их [1...3]);

зависимость между высотой сжатой зоны в сечении с трещиной и средней высотой сжатой зоны оценивается параметром  $\varphi_{(t)}$ ;

работа растянутого бетона над трещиной не учитывается;

средние сечения в зоне чистого изгиба между трещинами, испытывающие симметричные воз-

действия, остаются плоскими после деформации;

упругопластическая работа бетона сжатой зоны и неравномерность по длине элемента ее деформаций оценивается соответственно параметрами  $\nu_{b(t)}$  и  $\Psi_{b(t)}$ ;

после появления трещин влияние растянутой зоны бетона на жесткость изгибаемого элемента оценивается параметром  $\psi_{s(t)}$ . Весь процесс трещинообразования в растянутой зоне полностью заканчивается при действии постоянной кратковременной нагрузки.

Запишем условие равновесия внешних и внутренних сил в сечении с трещиной в соответствии с рис. 1:

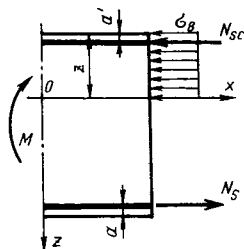


Рис. 1. Расчет изгибаемого элемента

$$\Sigma X = 0; \sigma_s A_s - \sigma'_s A'_s - \sigma_b b z = 0; \quad (1)$$

$$\Sigma M_0 = 0; M_x = 0,5 b z^2 \sigma_b + \sigma'_s A'_s \times (z - a') + \sigma_s A_s (h_0 - z). \quad (2)$$

Кривизну элемента для сечения между трещинами через средние деформации бетона и арматуры выразим в известной форме

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{sc}}{h_0 - z_{cp}} = \frac{\psi_s \sigma_s}{(h_0 - z_{cp}) E_s} = - \frac{\varepsilon_{bc}}{z_{cp}} = - \frac{\psi_b \sigma_b}{\nu_b E_b z_{cp}}. \quad (3)$$

Используя условие совместности деформаций бетона и арматуры сжатой зоны для получения напряжений в бетоне, а также, учитывая что вышеприведенные выражения справедливы для любого фиксированного момента времени  $t$ , окончательно получим формулу для кривизны изгибаемого элемен-

$$\frac{1}{\rho(t)} = M_{(x,t)} A_{o(t)} - \frac{1}{\rho(t)} [B_{o1(t)} + B_{o2(t)}] + \int_{\tau_1}^t [M_{(x,\tau)} A_{o(\tau)} - \frac{B_{o1(\tau)} + B_{o2(\tau)}}{\rho(\tau)}] K_{(t-\tau)} d\tau + \int_{\tau_1}^t \{M_{(x,\tau)} A_{o(\tau)} - \frac{1}{\rho(\tau)} [B_{o1(\tau)} + B_{o2(\tau)}]\} f [M_{(x,\tau)} A_{o(\tau)} - \frac{B_{o1(\tau)} + B_{o2(\tau)}}{\rho(\tau)}] K_{H(t-\tau)} d\tau \dots \quad (4)$$

где

$$A_{o(t)} = \frac{\psi_b(t)}{0,5 b z_{cp}^2 \nu_b(t) E_b};$$

$$B_{o1(t)} = \frac{E_s A_s [h_0 - z(t)] [h_0 - z_{cp(t)}] \psi_b(t)}{0,5 b z_{cp}^2 \nu_b(t) \psi_s(t) E_b};$$

$$B_{o2(t)} = \frac{E_s A'_s [z(t) - a'] [z_{cp} - a']}{0,5 b z_{cp}^2 \nu_b(t) E_b}.$$

Далее примем  $\nu_b(t) = \nu_b(\tau_1) = \nu_b = \text{const.}$  (5)

Для решения линейной части уравнения (4) введем новую функцию

$$U_{(x,t)} = M_{(x,t)} A_{o(t)} - \frac{B_{o(t)}}{\rho(t)}, \quad (6)$$

где  $B_{o(t)} = B_{o1(t)} + B_{o2(t)}$ .

С учетом (6) из (4) получаем

$$U_{(x,t)} = \frac{M_{(x,t)} A_{o(t)}}{1 + B_{o(t)}} - \int_{\tau_1}^t U_{(x,\tau)} \times K_{1(t,\tau)} d\tau - \int_{\tau_1}^t U_{(x,\tau)} f [U_{(x,\tau)}] \times K_{1H(t,\tau)} d\tau. \quad (7)$$

где

$$K_{1(t,\tau)} = \frac{B_{o(\tau)}}{1 + B_{o(\tau)}} K_{(t-\tau)};$$

$$K_{1H(t,\tau)} = \frac{B_{o(\tau)}}{1 + B_{o(\tau)}} K_{H(t-\tau)}.$$

Таким образом, последние выражения можно рассматривать соответственно как линейной и нелинейное ядра интегрального уравнения (7) при изгибе. Решение его линейной части

$$U_{(x,t)} = \frac{M_{(x,t)} A_{o(t)}}{1 + B_{o(t)}} - \int_{\tau_1}^t \frac{M_{(x,\tau)} A_{o(\tau)}}{1 + B_{o(\tau)}} R_{1(t,\tau)} d\tau, \quad (8)$$

где  $R_{1(t,\tau)}$  — резольвента ядра  $K_{1(t,\tau)}$ . Далее, исследуя правую часть выраже-

ния (8), приходим к выводу, что если процесс трещинообразования закончился при кратковременной нагрузке [4], то значения  $\psi_b(t)$ ,  $\psi_s(\tau)$ ,  $\xi(t)$ ,  $\varphi(t)$  изменяются в небольших пределах. В связи с этим для приближенных расчетов отношение этих величин можно принять постоянным и равным значениям указанных функций при кратковременной нагрузке:

$$\frac{A_{o(t)}}{1+B_{o(t)}} = \frac{A_{o(\tau)}}{1+B_{o(\tau)}} = \frac{A_o}{1+B_o} = \text{const};$$

$$\frac{B_{o(t)}}{1+B_{o(t)}} = \frac{B_{o(\tau)}}{1+B_{o(\tau)}} = \frac{B_o}{1+B_o} = \text{const}. \quad (9)$$

Поведение величины  $v_{b(t)}$ , наиболее существенно изменяющейся в опытах при длительно действующих нагрузках, будем учитывать интегральными членами уравнения (7), как и погрешности, вносимые условием (9).

Приняв  $M_{(x,t)} = M_{(x)} = \text{const}$ , из (8) получаем

$$U_{1(x,t)} = \frac{M_{(x)}A_o}{1+B_o} \left[ 1 - \int_{\tau_1}^t R_{1(t-\tau)} d\tau \right]. \quad (10)$$

тогда значение кривизны можно получить из линейного интегрального уравнения

$$\frac{1}{\rho(t)} = \frac{M_{(x)}A_o}{1+B_o} \left[ 1 + \frac{\beta}{B_o} \int_{\tau_1}^t R_{1(t-\tau)} d\tau \right] \quad (11)$$

или с учетом нелинейной ползучести бетона из уравнения вида

$$\frac{1}{\rho_2(t)} = \frac{1}{\rho_1(t)} + \frac{\beta}{B_o} \int_{\tau_1}^t U_{(x,\tau)} f \times \\ \times [U_{(x,\tau)}] R_{1(t-\tau)} d\tau, \quad (12)$$

где

$$f[U_{(x,\tau)}] = \left[ \frac{U_{(n-1)(x,\tau)}}{U_o} \right]^m;$$

$U_o$  — предельное значение функции при разрушении изгибаемого элемента при действии кратковременной нагрузки в возрасте  $\tau$ ;  $\beta$  — коэффициент пропорциональности ядер линейной и нелинейной ползучести;  $m$  — показатель нелинейности бетона.

Далее производили проверку нелинейных интегральных уравнений (12) с приближенным решением его линейной части (см. таблицу  $f_1$ ) и с точным решением

его линейной части ( $f_2$ ), а также линейного интегрального уравнения (11) с точным его решением и учетом условия пропорциональности ядер. Расчетные данные сравнивали с опытными, полученными автором на изгибаемых элементах с одиночной и двойной арматурой при разных уровнях загрузки и различных видах бетонов. В таблице приводятся результаты расчетов по одной из серии балок из бетона класса В22,5 на безобжиговом зольном гравии с одиночной арматурой 2Ø14А-III при  $\eta=0,66$ . Показатель нелинейности материала балок  $m=3$ . Как видно из этих данных, расчетные прогибы при действии длительной нагрузки при всех вышеприведенных способах решения интегральных уравнений задачи и формах их записи дают вполне удовлетворительное совпадение с опытными  $f^{\text{оп}}$ . Если учесть погрешность в расчетном упругом прогибе и внести ее в расчетные прогибы при длительной нагрузке, то наиболее близкими к опытным  $f^{\text{оп}}$  будут расчетные прогибы  $f_3$ . Учитывая трудоемкость вычислений, предпочтение следует отдать расчетным прогибам  $f_3$ .

Плоская задача термползучести возникает при оценке термонапряженного состояния кольцевых элементов (конструкции радиационно-теплового экрана, биологической защиты, корпуса высокого давления из напряженного железобетона и др.). Односторонний нагрев или радиационный разогрев бетона при эксплуатации ядерного реактора приводит к появлению температурных моментов. Таким образом, для решения задачи можно использовать данные, полученные автором для изгибаемых элементов при длительных нагрузках.

Приведем вариант решения плоской задачи термползучести в напряжениях. При ее решении должны быть выполнены условия равновесия, граничные условия и удовлетворено условие совместности деформаций, справедливые также для любого фиксированного момен-

та времени  $t$  и имеющие вид для осесимметричной задачи:

$$r \frac{d\sigma_{r(r,t)}}{dr} + \sigma_{r(r,t)} - \sigma_{\theta(r,t)} = 0;$$

$$\varepsilon_{r(r,t)} - \varepsilon_{\theta(r,t)} - r \frac{d\varepsilon_{\theta(r,t)}}{dr} = 0, \quad (13)$$

где  $d$  — частная производная;  $\sigma_{r(r,t)}$ ,  $\sigma_{\theta(r,t)}$  — радиальные и кольцевые напряжения;  $\varepsilon_{r(r,t)}$ ,  $\varepsilon_{\theta(r,t)}$  — соответствующие им деформации;  $r$  — текущий радиус. Значения составляющих вынужденных деформаций обозначим через  $\varepsilon_{r(r,t)}^0$ ,  $\varepsilon_{\theta(r,t)}^0$  и равные  $\alpha\Phi_{(r,t)}$ .

Примем

$$\Phi_{(r,t)} = \psi(t) T_r, \quad (14)$$

$\Phi_{(r,t)}$  — функция температуры сложного нагрева;  $T_r$  — закон распределения температуры по сечению элемента;  $\psi(t)$  — функция времени, учитывающая скорость нагрева;  $\alpha$  — коэффициент температурного расширения бетона. Подставив в уравнение совместности значения деформаций, получим

$$\theta_{r(r,t)} - \theta_{\theta(r,t)} - r\theta'_{\theta(r,t)} + \int_{\tau_1}^t \times \\ \times [\theta_{r(r,\tau)} - \theta_{\theta(r,\tau)} - r\theta'_{\theta(r,\tau)}] \times \\ \times K_{(t-\tau)} d\tau + \int_{\tau_1}^t [\theta_{r(r,\tau)} - \theta_{\theta(r,\tau)} - \\ - r\theta'_{\theta(r,\tau)}] f[\sigma_r, \sigma_{\theta}] K_{n(t-\tau)} d\tau = \\ = \alpha\Phi'_{(r,t)} r, \quad (15)$$

где принято

$$\sigma_{r(r,t)} - \mu\sigma_{\theta(r,t)} = \theta_{r(r,t)};$$

$$\sigma_{\theta(r,t)} - \mu\sigma_{r(r,t)} = \theta_{\theta(r,t)};$$

$$f[\sigma_r, \sigma_{\theta}] = \left[ \frac{M_r}{M_{np}} \right]^m = a = \text{const};$$

$M_r$  — температурный момент при рассматриваемой температуре;  $M_{np}$  — предельный момент при максимальной температуре. В соответствии с [5] введем функцию напряжений ползучести

$$F_{(r,t)} = \omega(r)\varphi(t), \quad (16)$$

при которой напряжения равны:

$$\sigma_{r(r,t)} = \frac{1}{r} F_{(r,t)}; \quad \sigma_{\theta(r,t)} = F'_{(r,t)}, \quad (17)$$

а уравнения равновесия удовлетворяются автоматически. Для однозначности решения задачи напряжения  $\sigma_r$  должны давать нулевые значения на внутреннем и наружном контурах кольцевого элемента. Тогда из (15) с учетом (17) получим

$$\nabla^2 F_{(r,t)} + \int_{\tau_1}^t \nabla^2 F_{(r,\tau)} K_{(t-\tau)} d\tau + \\ + \int_{\tau_1}^t \nabla^2 F_{(r,\tau)} f[\sigma_r, \sigma_{\theta}] K_{n(t-\tau)} d\tau = \\ = -\alpha E\Phi'_{(r,t)}, \quad (18)$$

$t-\tau$ , сут	$f^{\text{оп}}$ , см	$f_1$ , см	$f_2$ , см	$f_3$ , см
0	1,80	1,75	1,75	1,75
5	2,15	2,08	2,15	1,95
10	2,17	2,11	2,18	2,01
50	2,21	2,28	2,23	2,10
108	2,25	2,42	2,24	2,11
130	2,26	2,45	2,24	2,12

где символически принято  $\nabla^2 = \frac{d^2}{dr^2} +$   
 $+\frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \frac{1}{r^2}$

С учетом (16) уравнение (18) распадается на два независимых

$$\nabla^2 \omega(r) = -\alpha ET(r); \quad (19)$$

$$\psi(t) = \varphi(t) + \int_{\tau_1}^t \varphi(\tau) K_{(t-\tau)} d\tau +$$

$$+ \int_{\tau_1}^t \varphi(\tau) f[\sigma_r, \sigma_\theta] K_{II(t-\tau)} d\tau. \quad (20)$$

из которых первое — уравнение термоупругости, второе — нелинейное интегральное уравнение. С учетом пропорциональности ядер уравнение (20) можно записать в виде

$$\psi(t) = \varphi(t) + \int_{\tau_1}^t \varphi(\tau) K_{2(t-\tau)} d\tau, \quad (21)$$

где

$$K_{2(t-\tau)} = (1 + \alpha\beta) K_{1(t-\tau)} =$$

$$= \frac{(1 + \alpha\beta) B_0}{1 + B_0} K_{(t-\tau)}.$$

В качестве примера приведем расчет 1 м по высоте стенки биологической защиты (рис. 2) на односторонний нагрев с учетом ползучести бетона. Распределение температуры по сечению стенки защиты примем по линейному закону с температурой у внутренней грани 207 °С, на уровне растянутой арматуры 25 °С. Материал стенки — бетон класса В22,5 на безобжиговом зольном гравии позволяет использовать его физико-механические характеристики и данные по простой ползучести, полученные одновременно при испытании балок. Расчетный температурный момент определяли методом последовательного приближения в соответствии с [6] на расстоянии, достаточно удаленном от дна биозащиты. Так как по данным расчета при заданной температуре процесс трещинообразования в бе-

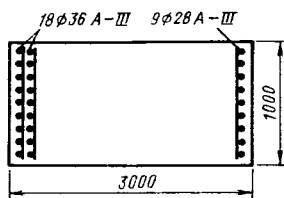


Рис. 2. Сечение кольцевого элемента

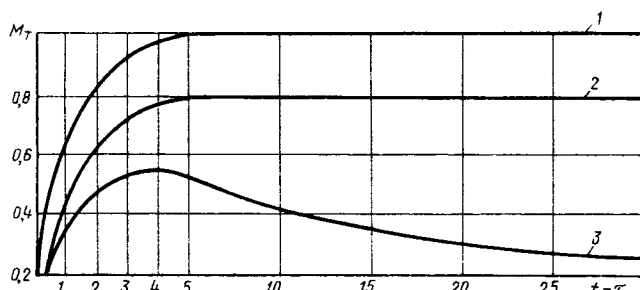


Рис. 3. Изменение температурного момента  $M_T$  во времени

1 — из упругого расчета; 2 — то же с учетом появления трещин; 3 — с учетом появления трещин и ползучести бетона

тоне стенки закончился, использовали методику по расчету изгибаемых железобетонных элементов с трещинами в растянутой зоне с учетом ползучести. Изменение температурного момента во времени с учетом неупругих свойств бетона биозащиты определяли из уравнения (21). Результаты расчетов приведены на рис. 3. При их анализе следует учесть, что расчетный температурный момент набирается в течение 3 сут, а при появлении трещин в бетоне температурный момент снижается на 50 % [6]. Температурный момент с учетом ползучести бетона стабилизируется на 30-е сут. Температурный момент, вычисленный при наличии трещин в бетоне с учетом его ползучести на третьи сут, меньше соответствующего момента, полученного из упругого расчета, в 1,79 раз. Приведенные данные вполне согласуются с опытными [6], что позволяет рекомендовать предложенную методику для расчета кольцевых железобетонных элементов с учетом нелинейной ползучести бетона. Ис-

пользование в расчетах условия о пропорциональности ядер линейной и нелинейной ползучести позволяет упростить решение задачи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений.— М.: Госстройиздат, 1963.— 257 с.
2. Прокопович И. Е., Зедгенидзе В. А. Прикладная теория ползучести.— М.: Стройиздат, 1980.— 236 с.
3. Оплачко Б. М. Изгиб железобетонной балки в условиях нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями ползучести бетона // Строительные конструкции.— Вып. 10.— Киев, 1968.— С. 141—145.
4. Немировский Я. М., Кочетков О. И. Влияние работы растянутой и сжатой зон бетона на деформации обычных изгибаемых элементов после возникновения в них трещин.— М.: Стройиздат, 1969.— С. 106—157.
5. Александровский С. В. Плоская задача при наличии вынужденных деформаций тела, обладающего ползучестью // Строительная механика и расчет сооружений.— 1964.— № 7.— С. 15—19.
6. Милонов В. М., Горячев В. И. Расчет толстостенных железобетонных конструкций на неравномерный нагрев.— М.: Стройиздат, 1972.— 131 с.



## **ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!**

В феврале 1994 г. в НИИЖБе Госстроя России состоится конференция новой общественной межрегиональной ассоциации «Железобетон», на которой будут рассмотрены следующие вопросы:

организация работы ассоциации «Железобетон» и ее участие в деятельности отечественных и международных общественных структур, охватывающих область бетона и железобетона;

утверждение руководящих органов ассоциации «Железобетон»;

рассмотрение проблемы «Развитие материалов, конструкций и технологий для предварительно напряженного железобетона» с заслушиванием докладов ведущих ученых.



***Приглашаем принять участие в конференции специалистов и представителей организаций, работающих в области бетона и железобетона, желающих стать членами Ассоциации.***



Заседания будут проходить в конференц-зале НИИЖБа по адресу: Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.

Проезд: М. «Рязанский проспект»

авт. 169, 143, 160, 29, тр. 63 до ост. «Институт бетона».

Дополнительные сведения о дате проведения и о программе конференции можно получить по телефону 174-88-91.

Гостиницей и билетами (железнодорожными и авиационными) оргкомитет не обеспечивает.

**ОРГКОМИТЕТ**

УДК 624.046.5:69.024

**Обеспечение надежности беспокровных крыш** / Айрапетов Г. А., Харченко И. Я., Панченко А. И. и др. // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 6—8.

Изложены результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований характера работы железобетонных панелей беспокровных крыш. Предложен принципиально новый подход к их проектированию и обоснованию нормативных требований к кровельному бетону. Приведены рекомендации по выбору оптимальной толщины панели в III климатической зоне.— Ил. 2, табл. 1.— Библиогр.: 9 назв.

УДК 69.057.12.413:624.92

**Кривов О. Л., Ашкинадзе К. Г. Расчет пролетной арматуры перекрестных балок-стенок** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 8—10.

Рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований перекрестных балок-стенок для определения пролетного армирования. Расчет ведется с учетом податливости сцепления арматуры с бетоном и шарнирного закрепления перемычки в узких простенках. Даны рекомендации по применению в расчетах программного комплекса «Лира».— Ил. 2.— Библиогр.: 3 назв.

УДК 666.97.033.16

**Булгаков А. В., Чернявский В. Л. Влияние длительных вибрационных воздействий на свойства бетона** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 10—11.

Установлено, что приложению к тяжелому бетону вибрационных воздействий, характерных для работы технологического оборудования некоторых производств (частота колебаний — 6...25 Гц, амплитуда — 0,02...0,2 мм) при продолжительности вибрирования свыше 3 ч независимо от времени предварительного выдерживания не ухудшает прочностные характеристики бетона.— Ил. 1, табл. 1.— Библиогр.: 3 назв.

УДК 666.972:549

**Мокрушин А. Н. Влияние минералогического состава на активность клинкера и интенсивность твердения цемента при ТВО** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 12—13.

Проведен статистический анализ данных цементных заводов по активности клинкеров, цементов, цементов при пропаривании, коэффициенту при пропаривании, минералогическому составу и количеству щелочей. Получены количественные зависимости активности клинкера и цемента при пропаривании от минералогического состава и щелочей.— Ил. 1, табл. 1.— Библиогр.: 1 назв.

УДК 624.012.45:631.2

**Кудрявцев А. А. Новые конструкции и изделия для строительства сельских домов** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 21—22.

Предлагаются для строительства сельских и дачных домов новые конструктивные решения стен, перекрытий и крыши с использованием бетонов различных видов. Даны характеристики бетонов на отходах промышленности для производства стеновых камней и других элементов дома.— Ил. 1, табл. 1.

УДК 624.012.41

**Роговой С. И., Губий Н. Н., Мартыанов В. В. Расчет несущей способности элементов при косом внецентренном сжатии** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 23—24.

Описан характер напряженно-деформированного состояния кососжатых железобетонных элементов в зависимости от различных параметров. Определено влияние эксцентриситета продольной силы, угла наклона силовой плоскости к оси симметрии сечения, размеров сечения, прочностных и деформативных характеристик бетона и арматуры на расчетную высоту сжатой зоны сечения. Приведены формулы для определения граничных эксцентриситетов. Разработана методика расчета несущей способности таких элементов.— Ил. 1.

УДК 691.327:551.571

**Власов В. К. Простой метод определения адсорбционной влажности песка** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 25—26.

Предложена методика определения влажности песка, соответствующей его адсорбционной способности. Методика основана на известной зависимости изменения объемной насыпной массы песка с изменением влажности. Показано, что данные по адсорбционной влажности песка, полученные расчетом и по предлагаемой методике, совпадают.— Ил. 2, табл. 1.— Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.035:538

**Окунев Г. Н. Расчет изгибаемых элементов с учетом неупругих свойств бетона** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 28—30.

Рассмотрена методика расчета железобетонных изгибаемых элементов с трещинами в растянутой зоне с учетом нелинейной ползучести бетона. Основное уравнение задачи записано непосредственно относительно кривизны изгибаемого элемента. Рассмотрена плоская задача термползучести применительно к расчету элементов кольцевого профиля с использованием данных по ползучести изгибаемых элементов.— Ил. 3, табл. 1.— Библиогр.: 6 назв.

УДК 666.97

**Аронов Б. Л., Кун П. П., Кузнецова А. Е. Прогнозирование характера и эффективности действия добавок — ускорителей и замедлителей твердения цемента** // Бетон и железобетон.— 1993.— № 8.— С. 13—15.

Предложена методика, позволяющая в течение 15...20 мин с помощью серийно выпускаемых приборов «Рapid» прогнозировать характер действия активаторов или замедлителей твердения бетона и сравнивать эффективность их действия с известными добавками.— Ил. 2, табл. 1.— Библиогр.: 4 назв.

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

Технический редактор Ю. Л. Циханкова Корректор Н. А. Шатерникова

Сдано в набор 02.06.93. Подписано в печать 22.07.93. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная. Усл. печ. л. 3,92. Усл. кр.-отт. 4,92. Уч.-изд. л. 5,9. Тираж 3302. Заказ 756.

Адрес редакции:  
Москва, Георгиевский пер., строение 5, 3-й этаж  
Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул., 23 а

Тел. 292-62-05

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

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

**НИИЖБ  
ПРЕДЛАГАЕТ:**

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

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

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

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

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

Производительность станка 3000...4000 изделий в минуту.

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

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

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

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

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

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

**С ПИСЬМЕННЫМИ ЗАПРОСАМИ ОБРАЩАТЬСЯ В НИИЖБ:**

**109428, МОСКВА, 2-я ИНСТИТУТСКАЯ, 6.**

# АО «АХТУБА, ИЧП «НАУКА», АСТРЫБВТУЗ (АСТРАХАНЬ)

## *предлагают*

установку ИК-нагрева  
для ускоренного твердения железобетонных изделий  
и термообработки строительных материалов

Малоэнергоёмкая и экологически чистая установка предназначена для применения в заводской (или внезаводской) технологии изготовления железобетонных изделий, строительных конструкций и других материалов, требующих термо-(тепло-)обработку.

Установка оснащается техническими средствами контроля, управления, автоматизации, позволяющие максимально автоматизировать процесс термо-(тепло-)обработки изделий.

Лишенная традиционного теплоносителя — пара, она использует положительные качества электроэнергии как вида энергоносителя (экологическая чистота сырья, возможность точного учета, распределения и управления), обеспечивая абсолютную точность в регулировании теплового режима, надежность и безопасность в обслуживании.

Применение устройств ИК-нагрева, формирующих лучистый поток энергии в диапазоне инфракрасных волн, а также облицовка внутренних стенок установки из материала с высокой отражательной способностью тепловых лучей с одновременным их фокусированием на объекте термообработки позволяют получать готовую продукцию требуемого качества.

### Технико-экономическая характеристика

Источник электропитания . . . . .	сеть трехфазного переменного напряжения 380 В, 50 Гц
Расход электроэнергии на весь цикл термо-(тепло-)обработки, (кВт·ч)/м <sup>3</sup> изделий . . . . .	30...40
Удельная мощность источника, кВт/м <sup>3</sup> . . . . .	4...5
Варианты конструкции . . . . .	ямные камеры, щелевые камеры, кассетные установки, установки для изготовления объемных изделий и других строительных материалов

414011, Астрахань, ул. Медиков, 7—76, ИЧП «Наука».

Тел.: (85100) 4-26-41.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru