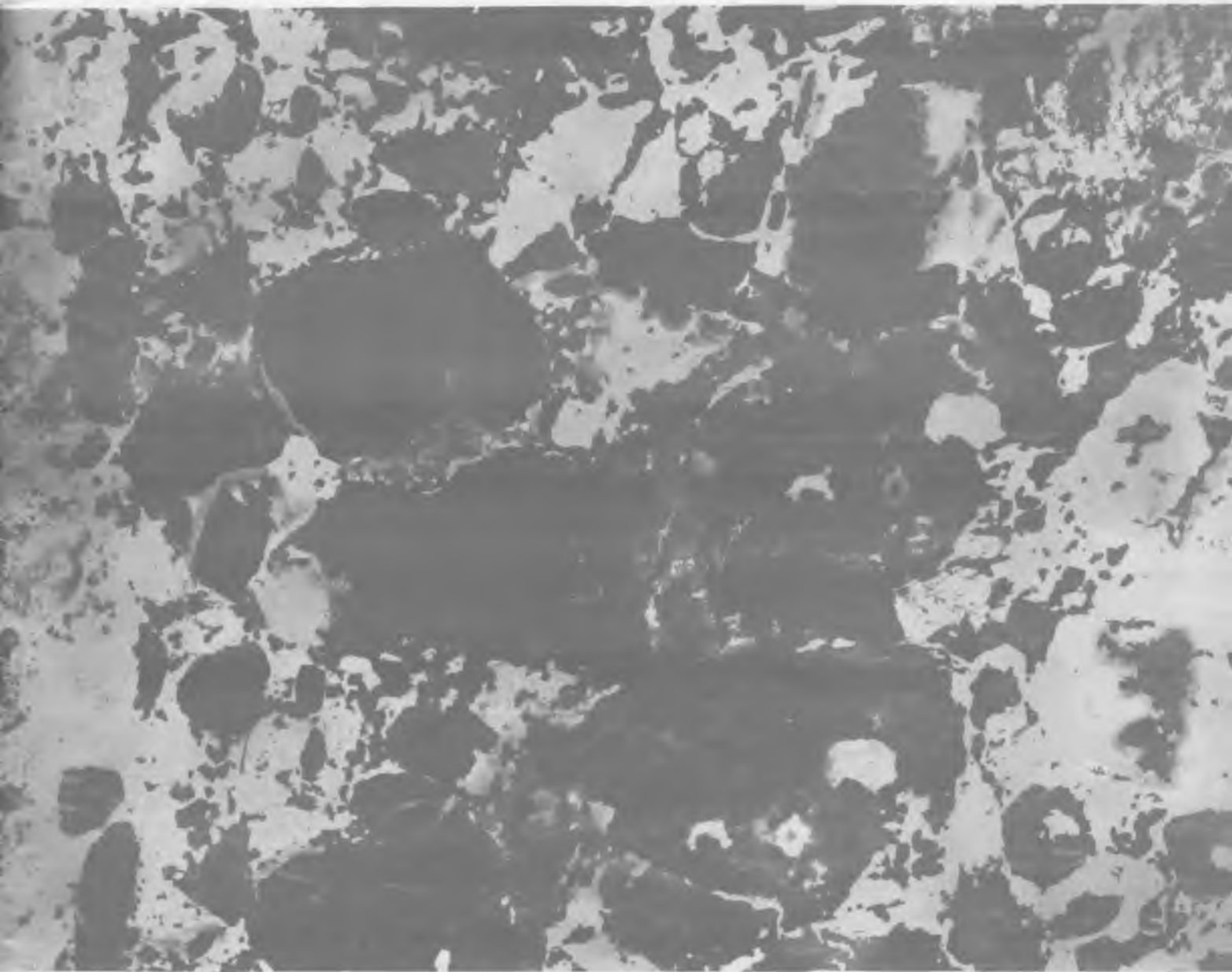


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6

2003





“КАРАТ”

НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

СОВРЕМЕННЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

ОНИКС-2.41/2.42 - измерители прочности строительных материалов (удар+отскок), 1...100 МПа

ОНИКС-ОС - измеритель прочности бетона отрывом со скалыванием, 5...100 МПа

ВИМС-1.У - влагомер универсальный, 0...200 %, 100 характеристик

ВИМС-1.Д - влагомер древесины, 0...200 %, 28 пород древесины

ПУЛЬСАР-1 - ультразвуковой тестер (Т, V, R, ρ, E) 500...9000 м/с, 5...70 МПа, 0...10 м

ПОИСК-2.3/2.4 - измерители параметров армирования 0...170 мм, 3...50 мм, настройка на сталь, сканирование, акустический поиск, d_x

ВДЛ-5М - вихретоковый дефектоскоп металлов

ВИБРАН-01 - виброанализатор 1...1000 Гц, 0...500 мм/с, 27...256 линий спектра

ВИСТ-2.3 - виброметр 5...1000 Гц, 0...3 мм, 0...500 мм/с

ИЧСК-1 - измеритель частоты собственных колебаний, 22 Гц...18 кГц

МИТ-1 - мобильный измеритель теплопроводности 0,01...2 Вт/м²К



ВИМС-1.3 - влагомер зондовый, 0...100%

РТ-2 - одноканальный ПИ- регулятор температуры

ТЕРМОКОМ-4 - мобильный термографический комплекс

РТВ-2 - миниатюрный термограф -30...+85°С, Ø17×6 мм

ТЕРМОСКОП-1 - прибор обслуживания термографов

ТЕМП-3.Х - регистрирующие термометры и термогигрометры 2-3 канальные

- расширенные диапазоны
- высокая достоверность
- универсальность
- регистрация результатов в реальном времени
- сервисные компьютерные программы
- оптоинтерфейс
- дисплей с подсветкой
- малогабаритность
- корпус 145×70×25 мм
- аккумуляторное питание

РТМ-5.Х - многоканальный регулятор-регистратор для термообработки бетона 8 каналов, -50...+200°С

ТЕРЕМ-3.Х - многоканальные терморегистраторы
ТЕРЕМ-4 - универсальный регистратор деформации, температуры, теплового потока, влажности и др. параметров

64 канала
ТЕРМОТРАНСФЕР - прибор сбора данных регистрации

Специальные программы компьютерной обработки результатов измерений

454080, Челябинск-80. а/я 12771. тел.: (3512) 655-638, 608-742
E-mail: carat@chel.surnet.ru http://www.carat-ndt.ru

г.Москва НИИЖБ тел. (095) 174-75-13
(095) 510-94-15

E-mail: carat@niizhb.ru 8-926-204-55-47

Вологодская областная универсальная научная библиотека г.Санкт-Петербург тел. (812) 318-64-96

www.booksite.ru

СОДЕРЖАНИЕ

РУДЕНКО И.Ф., НОВОСЕЛОВ В.А. Направления совершенствования и технического перевооружения производства сборного железобетона 2

КОНСТРУКЦИИ

БАШИРОВ Х.З. Тонкостенные арочно-сводчатые конструкции для покрытий и перекрытий зданий 4

БЕТОНЫ

КАПРИЕЛОВ С.С., КАРПЕНКО Н.И., ШЕЙНФЕЛЬД А.В., КУЗНЕЦОВ Е.Н. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С 8

ДВОРКИН О.Л. О едином физическом подходе к проектированию составов тяжелых и легких бетонов 13

ПИРАДОВ К.А., МАМАЕВ Т.Л., КОЖАБЕКОВ Т.А., МАРЧЕНКО С.М. Подбор состава бетона по параметрам механики разрушения 16

ВОРОБЬЕВ А.А., САИД МОХАМАД САИД Влияние нефтепродуктов на некоторые деформативные свойства бетона при кратковременном нагружении 18

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

ЛАПИН М.Б. Компьютерный расчет кривой диаграммы растяжения 20

ТЕОРИЯ

КРЫЛОВ С.Б. Уравнение поперечного и продольного изгиба железобетонного стержня с учетом ползучести бетона 22

НИКУЛИН А.А. Напряженное состояние элементов конструкций атомной техники с трещинами 24

ИНФОРМАЦИЯ

К 75-летию ГрузНИИЭГС 27

БИБЛИОГРАФИЯ

МОРОЗОВ В.И., ШОРШНЕВ Г.Н. Новая книга о расчете железобетонных конструкций 28

ПРОШИН А.П. Монография о качестве отделки строительных конструкций 29

НАМ ПИШУТ

КОРЕВИЦКАЯ М.Г., ТУХТАЕВ Б.Х. Об ошибке ГОСТ 22690-88 при определении прочности высокопрочного бетона методом отрыва со скалыванием 32

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ. Рег. № 01080
Издательская лицензия № 065354 от 14.08.97

© Издательство "Ладья", журнал "Бетон и железобетон", 2003

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



Направления совершенствования и технического перевооружения производства сборного железобетона

Моральный и технический износ технологий и оборудования заводов, изменения структуры строительства и, соответственно, конъюнктуры рынка, с одной стороны, и постепенный рост объемов строительства, выход отрасли из кризиса, с другой, при ограниченных инвестициях ставят задачи разработки эффективных региональных программ активного сотрудничества науки, проектировщиков и производителей. В связи с этим, в целях повышения конкурентоспособности отрасли, ниже излагаются прогрессивные решения, которые могут быть включены в программы и реализованы НИИЖБом и ПИ-2 совместно с региональными органами и предприятиями соответствующей направленности.

Целесообразность участия в выполнении программ названных институтов определяется большим научным потенциалом НИИЖБа, во многом реализованным на практике, и способностью комплексно осуществлять конструкторское и технологическое проектирование институтом ПИ-2. Творческое объединение взаимно дополняющих в своей деятельности организаций способно обеспечить решение задачи выхода отечественной промышленности на качественно новый высокий уровень путем создания конструкций нового поколения и снижения себестоимости их производства.

В развитие этого была совместно разработана концепция, основанная на качественном изменении существующих представлений о сборных железобетонных конструкциях. Мы привыкли, исходя из обеспечения минимальных монтажных затрат в строительстве, стремиться к максимальному увеличению их размеров. При этом изделия любых типоразмеров формуются как единое целое. Виды бетонов, применяемых для изготовления, одинаковы во всем объеме (за исключением отдельных видов слоистых конструкций). Для каждого типоразмера изделий требуется своя форма. Это приводит, во-первых, к нерациональному использованию прочностных характеристик бетона, поскольку они назначаются с учетом отдельных зон конструкций с максимальными напряжениями и, во-вторых, усложняет и удорожает переналадку производства при переходе на другие типоразмеры конструкций.

Предлагается отказаться от этой практики и перейти к изготовлению на заводах унифицированных элементов, отдельно выполняющих несущие и ограждающие функции в конструкциях. С учетом транспортных расходов принимаются варианты сборки этих типовых элементов в конструкции либо на стройке, либо непосредственно на заводах.

Принятие этой концепции обосновывается:

- появлением вяжущих (ЦНВ) и ультрадиспер-

сных добавок на основе микрокремнезема, обеспечивающих получение бетонов класса В 100 – В 150. Известны также зарубежные работы по получению бетонов прочностью до 8000 кг/см². Это позволяет резко снизить массу конструкций. Однако высокие цены новых материалов делают нерациональным их применение в традиционных конструктивных решениях сборного железобетона;

- возможностью расширенного применения отходов, количество которых в бетоне в ряде случаев регламентируется из-за коррозии арматуры, от которой можно отказаться в несущих элементах;

- необходимостью создания гибких технологий, что, в свою очередь, обусловлено тенденцией к уходу от типовых решений зданий и применения разнообразных архитектурно-планировочных решений зданий. Известно, сколь дорога переналадка существующих технологических линий, весьма необходимая при изготовлении мелких серий изделий.

НИИЖБ и ПИ-2 приступили к реализации этой концепции. К сожалению, недостаток инвестиций, инертность мышления отдельных специалистов тормозит ее реализацию. Тем не менее, уже сделано следующее:

- разработаны технические предложения и решения по конструкциям промышленных и общественных зданий. На длинных стендах, с вариантами применения дисперсного армирования и бетонов классов В100 – В 120, предлагается изготавливать элементы углового, швеллерного, таврового профилей, из которых, подобно металлоконструкциям, собираются колонны, балки, фермы. Масса этих конструкций на 35 – 50% меньше традиционных. Напомним, что НИИЖБ уже несколько лет назад выполнил отмеченную Государственной премией разработку панелей-оболочек, изготовленных не целиком, а собираемых из отдельных технологических в изготовлении и экономичных пластин и ребер. По сравнению с аналогом, она на 35% легче;

- НИИЖБ и ПИ-2 разработали технические решения по конструкциям зданий, стены и перекрытия которых собираются из вибропрессованных высокопустотных бетонных блоков нового поколения, с отказом от растворной кладки (так называемый сухой стык). В пустотах блоков размещается эффективная теплоизоляция наружных стен (пеноизол, полистирол, полистиролбетон), а также несущий каркас здания (блоки – как несъемная опалубка в монолитном варианте, либо устраивается каркас из сборных железобетонных элементов). Отличие блоков от традиционных – в их размерах. С учетом ограничений по массе при ручной кладке, с использованием для ограждающих конструкций легкого бетона на основе керамзита, граншлака и полистироль-

Чых гранул, а также возможностей вибропрессов, существующей системы "Квадр" количество блоков на 1 м² стены – не более 10-15. Возможности придания разнообразной цветовой гаммы, получения в процессе вибропрессования различных рельефов, наличие слитной долговечной структуры бетонов исключают мокрые процессы отделки, а также обеспечивают реализацию широкой гаммы архитектурных решений;

- испытаны фрагменты наружных стен. По заказу московского Правительства разработаны проектные предложения по несущим и ненесущим стенам;

- на стадии технических решений разработана конструкция панельной самонесущей наружной стены, собираемая из блоков на заводах в легких кондукторах. При малой массе ее изготовление требует вдвое меньше производственных площадей, в 5-7 раз снижается металлоемкость производства. Преимущество этой идеи состоит еще в том, что для ее реализации требуются сравнительно малые затраты на устройство вибропрессующей линии и изготовление вместо форм легких кондукторов. Обеспечивается гибкая технология, позволяющая при малоемкой переналадке собирать самые разнообразные типоразмеры конструкций, в том числе, например, эркеры. Анализ стоимости в деле таких решений показал ее снижение, по сравнению с аналогами (кирпичом, поро- и полистиролбетоном), не менее чем в 1,5-2 раза в сочетании с высокими эстетическими качествами;

- технико-экономический анализ возможностей применения новой конструктивной системы ненесущих стен, взамен применяемых в Управлении экспериментальной застройки, и несущих – в тресте "Мосстроймеханизация-5" показал возможности снижения стоимости 1 м² ограждения в деле – вдвое.

Остановимся на ряде других вариантов, менее радикальных, не требующих комплексного подхода – создания новых конструкций и технологий, но повышающих конкурентоспособность продукции. Среди них и хорошо забытые старые, и новые, в том числе:

1. Обеспечивающие снижение стоимости исходных материалов (составляющих в себестоимости изделий около 50%).

1.1. — более широкое использование отходов различных видов:

- доменных, сталеплавильных и других шлаков, в том числе гранулированных, литого щебня, пористых и плотных. В тяжелых и легких бетонах обеспечивается снижение их себестоимости на 15-30%. Для переработки шлаков НИИЖБом в содружестве с рядом региональных институтов разработаны соответствующие технологии;

- золошлаковых отходов ТЭЦ. В Сибири в этом направлении успешно работает при участии НИИЖБ ряд научно-инженерных центров (Новокузнецк, Барнаул). Особенно полезны работы по реализации отходов зол гидроудаления, так как при этом обеспечиваются как экономические, так и экологические позитивные результаты;

1.2. — развитие работ по широкому применению мелкозернистого бетона. Для ряда районов, бедных крупным заполнителем, это особенно важно. Примене-

ние отходов в их составе, новых химических и минеральных добавок, перспективы повышения прочности бетонов в сочетании с разработкой новых тонкостенных конструкций, в том числе с более широким применением фибробетонов, делает эти работы весьма актуальными;

1.3. — применение мокрого домола вяжущих в составе БСУ. При малых затратах возможно получение в виде шлама вяжущих как весьма высокой активности (M1000 – M1200), так и энергосберегающих (типа ТМЦВ), которые обеспечат экономию дорогого и энергоемкого портландцемента (порядка 30-40%) при весьма малых энергозатратах (13-18 кВт·ч на 1 т смешанного вяжущего). В перспективе возможна реализация давнего предложения проф. С.В.Шестоперова, который предлагал поставлять клинкер заводам и стройкам. При этом отсутствуют потери активности вяжущего, ликвидируется пыление, упрощается складское хозяйство;

1.4. — применение полистирола, вспучивание которого осуществляется на заводах. Транспортные расходы при этом сокращаются в 50 раз. Низкая теплопроводность бетонов на их основе в сочетании с малой сорбционной влажностью делает полистиролбетон неизмеримо ценным для ограждающих конструкций.

2. Обеспечивающие снижение стоимости технологических процессов.

Выше были кратко упомянуты направления экономики вяжущих и те изменения технологии комплексов БСУ, которые могли бы дать наилучший результат в перспективе. Сегодня наибольшая составляющая себестоимости – формовочные цехи, основные переделы которых – тепловая обработка и формование. Их совершенствование комплексно решает вопросы сокращения энергозатрат, снижения металлоемкости форм и обеспечивает дополнительную экономию энергоемкой составляющей – вяжущих. Сокращение энергозатрат, увеличение оборачиваемости форм может иметь место при:

- оптимизации режимов и средств тепловой обработки конкретных предприятий с учетом применяемых видов вяжущих и бетонов, изготавливаемых изделий требуемой производительности, величин отпускной и распалубочной прочности, выбора оптимальных теплоносителей на базе обширных, полученных ранее, результатов исследований. Техничко-экономический анализ может определить целесообразность полного отказа от тепловой обработки, в том числе за счет применения высокоактивных вяжущих;

- заслуживает внимания применение несколько забытых работ НИИЖБа в области форм, в том числе металлических, с использованием в них преднапряжения, конструкций с трехточечным опиранием и других, снижающих металлоемкость на 15-20%, а также неметаллических форм, в том числе железобетонных с полимерным покрытием, которые могут быть изготовлены на собственной производственной базе. Сегодня в связи с повышением цен на металл это может дать минимум 10-15% снижения себестоимости;

- в области формовочного оборудования наибольший эффект может дать применение жестких смесей.

Это обеспечивает экономию цемента до 30%, позволяет на 5-10% сократить парк форм, в ряде случаев отказаться от опалубки, стоимость которой в условиях частой смены номенклатуры изделий возрастает.

Оптимальным решением для вибрационной технологии является применение частоты 70-75Гц. Однако имеющиеся на рынке отечественные высокочастотные вибраторы завода "Красный Маяк" - маломощные и могут быть использованы только в легких вибропротяжных устройствах. Высокочастотную составляющую на виброплощадках можно получить на ударно-вибрационных площадках с низкочастотным приводом при наличии жесткого ограничителя ударов, когда генерируются собственные высокочастотные колебания.

При применении мелкозернистых смесей весьма эффективна безвибрационная роликовая технология. Отечественные и зарубежные разработки подтвердили целесообразность использования такого оборудования.

Распространенная тенденция применения литых смесей на заводах далеко не всегда оправдана, так как при этом исчезает возможность сокращения металлоемкости производства и расхода цемента, а существующие добавки-модификаторы пока весьма до-

рогие. Однако их применение в монолитном строительстве может быть эффективным.

К числу перспективных направлений следует отнести компьютеризацию управления производства и оптимизацию технологий. Если первое в какой-то мере уже решается, то применение компьютеров в технологии требует разработки новых программ при коллективном участии технологов высочайшей квалификации и специалистов в области программирования. Программы должны предусматривать обратные связи, корректирующие в процессе их освоения параметры, учитывающие конкретные условия предприятия во взаимосвязи со стоимостными факторами и особенностями применяемых технологий. Эти работы могут быть выполнены при участии НИИЖБ и ПИ-2.

Изложенное перечисляет далеко не все пути повышения рентабельности предприятий и представлены лаконично.

Более подробное освещение этих вопросов можно получить на базе НИИЖБ и ПИ-2 в рамках повышения квалификации и стажировки специалистов по направлениям, представляющим наибольший интерес для производителей.

КОНСТРУКЦИИ

Х.З.БАШИРОВ, канд. техн. наук, ген. директор ОАО "СМП – 321 Трансстрой"

Тонкостенные арочно-сводчатые конструкции для покрытий и перекрытий зданий

По предварительным прогнозам, объем производства сборного железобетона в России к 2005 г. возрастет, по сравнению с объемами 2000 г. более чем в 1,5 раза [1].

Постоянно увеличиваются объемы и сокращаются сроки возведения жилых, гражданских, производственных и общественных зданий, в том числе и уникальных, в которых все более широко применяют различные пространственные и другие эффективные тонкостенные конструкции из железобетона [2]. При этом подчеркивается, что отличительная особенность отечественного строительства и строительной науки заключается в разработке сборных конструкций и сооружений из элементов заводского изготовле-

ния. В основу этих конструктивных разработок положено производство унифицированных криволинейных и линейных плитных и стержневых элементов, в том числе и преднапряженных.

Многолетние исследования автора данной статьи проводились и в этом перспективном направлении, но с определенным акцентом на конструкции повышенной долговечности с использованием легких бетонов [3]. Одной из наиболее удачных разработок последних лет является арочная двухконсольная плита-оболочка (рис. 1, а), которая может успешно конкурировать с такой общеизвестной и широко применяемой в покрытиях общественных и производственных зданий конструкцией,

как панель-оболочка КЖС. Последняя оценивается специалистами как выдающееся конструктивное решение XX века [2].

Отечественный приоритет в арочных двухконсольных плитах-оболочках закреплен патентом [4]. Конструктивно и технологически они достаточно глубоко и всесторонне проработаны на основе результатов предварительных экспериментальных исследований. Одной из основных их особенностей является прямолинейное расположение высокопрочной напрягаемой арматуры в пролетных и консольных ребрах. Этим обуславливается сравнительно небольшая стрела подъема арочной части ребер в пролете плиты. Максимальная величина стрелы

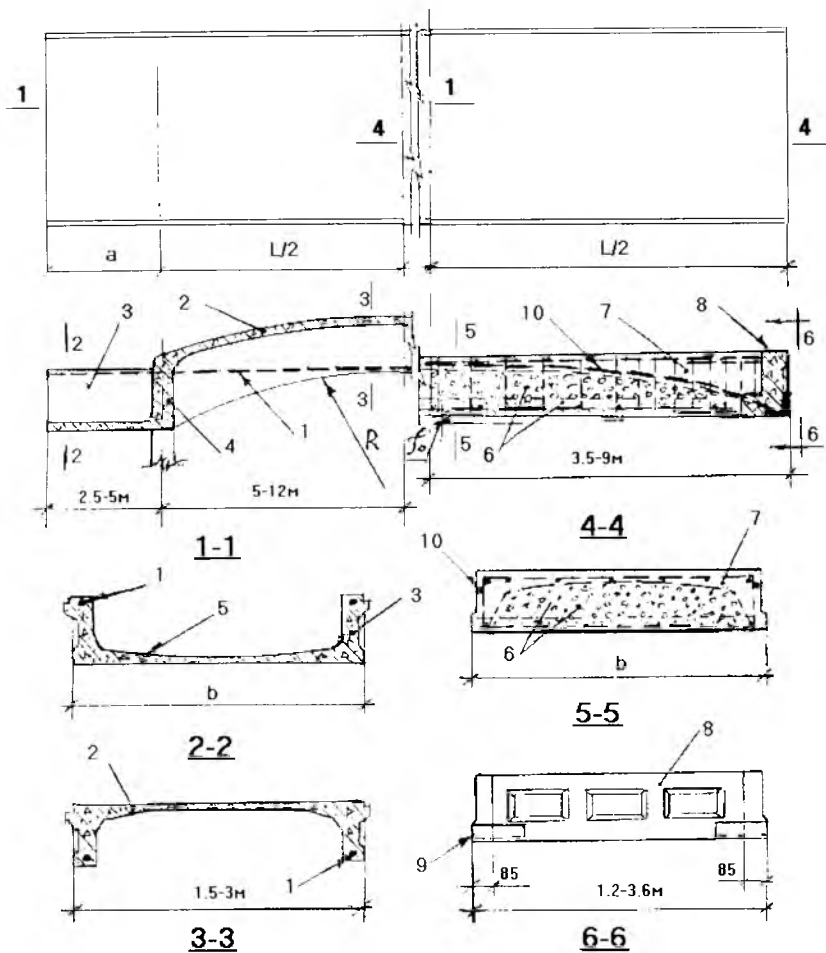


Рис. 1. Конструктивные решения двухконсольных арочных плит-оболочек (а) и слоистых плит низких сводов (б)

1 – высокопрочная напрягаемая арматура; 2 – криволинейная полка пролетной части плиты; 3 – продольные ребра плиты; 4 – опорное ребро; 5 – горизонтальная полка консольной части; 6 – средний формообразующий и нижний плотный слой свода из расслаивающейся смеси; 7 – несущий слой свода; 8 – железобетонный торцевой вкладыш; 9 – объединяющие опорные уголки; 10 – криволинейный стержень усиления

подъема нижней грани продольных ребер в пролете не превышает рабочей высоты сечения ребер на консолях плиты (см. рис.1,а). Строгая взаимосвязь высоты сечения продольного ребра на консоли и в пролете плиты позволяет в целях дальнейшего снижения массы консолей использовать легкие конструкционные бетоны в их полках и в 2/3 высоты ребер. Остальная часть консольных и опорных ребер, а также вся пролетная часть арочной плиты-оболочки бетонируется высокопрочным бетоном классов В40-В50. При двухслойном исполнении плиты минимальная толщина горизонтальных полок консолей может быть принята в пределах 40-45мм, а криволинейная полка в пролете, т.е.

собственно сама оболочка, по аналогии с панелями КЖС, – 30-35мм. Полки и оболочка армируются однослойной рулонной сеткой. Продольные ребра дополнительно армируют сварными каркасами с расчетной поперечной арматурой, а в опорных ребрах устанавливают каркасы с фиксаторами для продольной напрягаемой арматуры.

Криволинейное очертание продольных ребер и разгружающий эффект консолей обеспечивают существенное снижение общей строительной высоты и расхода основных конструктивных материалов в тонкостенных двухконсольных (Т2К) плит-оболочках, по сравнению с панелями КЖС (табл. 1).

Преимущественно для перекрытий многоэтажных гражданских и промышленных зданий предложены слоистые плиты низких сводов, отечественный приоритет разработки которых также закреплен патентом на изобретение [5]. Основной конструктивной особенностью этих слоистых плит является то, что собственно свод образуется верхним несущим слоем в виде криволинейной ребристой плиты с практически неподвижными жесткими упорами из высокопрочного железобетона по её торцам (рис. 1,б). Жесткие торцевые упоры в виде объединяющих железобетонных вкладышей с арматурными выпусками и закладными опорными уголками изготавливают отдельно с использованием высоко-

Таблица 1

Показатели	Ед. изм.	Данные для панелей и плит-оболочек пролетом 15-18 м	
		Панели КЖС	Плиты-оболочки Т2К
Общая строительная высота	мм	750 – 900	600 – 800
Приведенная толщина бетона	см	8,1 – 8,6	7,9 – 8,3
Расход арматуры	кг/м ³	обычной	80–90
		напрягаемой	45–60
		общий	130–555
Проектный класс бетона	-	В 50	В40 – В50 В25 – В30
Общая масса	т/%	8,3 – 10,5 100	7,5 – 9,8* 90 – 91

* В приведенной толщине бетона и массе плиты-оболочки Т2К приведены усредненные данные для двухслойной конструкции консолей.

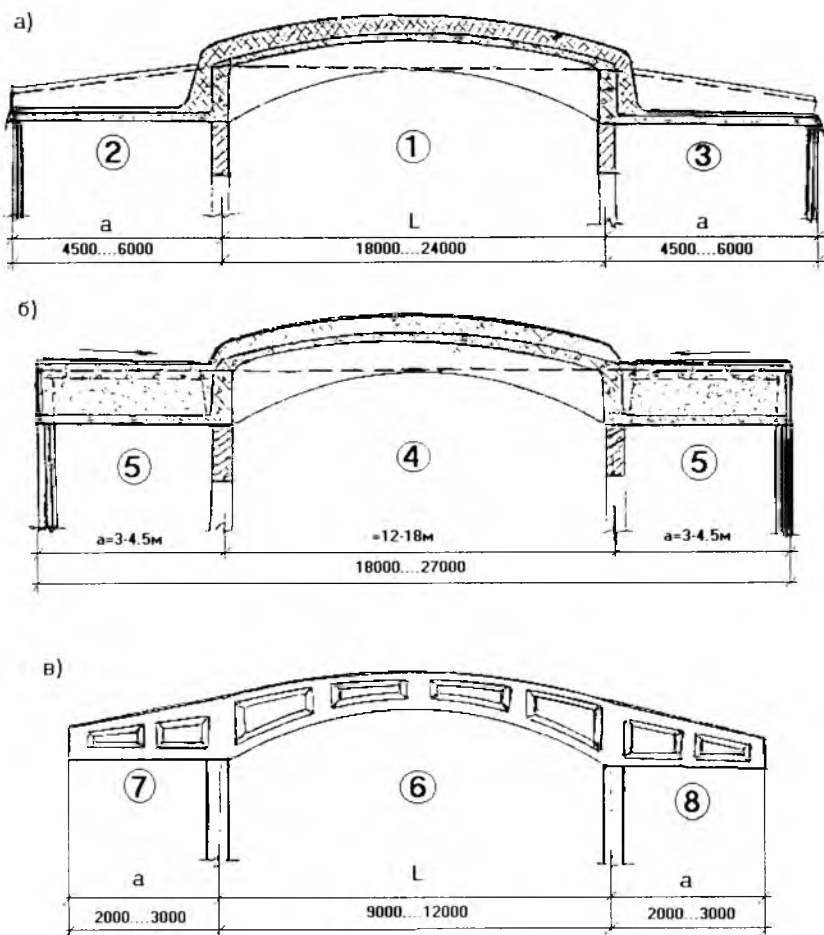


Рис. 2. Конструктивные схемы покрытий одноэтажных (а), отапливаемых многоэтажных (б) зданий и сооружений (в) из плит-оболочек Т2К.

копрочно литого бетона. Средний формообразующий слой для верхнего свода выполнен из особо легкого крупнопористого бетона, образуемого при профильном формовании этого слоя с использованием горячего воздуха и специального устройства. При этом растянутая рабочая арматура и сварная сетка оказываются в нижнем плотном слое мелкозернистого бетона, толщина которого должна быть не менее 25-30 мм. Сварные каркасы продольных ребер свода усилены криволинейными стержнями и жестко присоединены сваркой к опорным уголкам (см. рис. 1,б). Слоистая плита низких сводов, выполняемая без предварительного напряжения рабочей арматуры, должна иметь строительный подъем по растянутой грани, величина которого в середине плиты принимается не менее 1/200 пролета.

Как свидетельствуют результаты ранее выполненных эксперимен-

тальных исследований и расчетов, по технико-экономическим показателям слоистые плиты низких сводов заметно превосходят широко

применяемые до настоящего времени многопустотные плиты перекрытий (табл. 2). Показатели известных конструкций плит и панелей-оболочек КЖС, использованные в табл. 1 и 2, опубликованы в третьем издании фундаментального учебника [6].

Для более объективной оценки перспективности арочно-сводчатых конструкций представляется важным более детально показать реальные возможности их применения в зданиях и сооружениях различного назначения. В частности, арочные двухконсольные плиты-оболочки могут эффективно применяться в покрытиях зданий широкого диапазона функционального назначения и многоцелевого использования (рис.2). В средней отапливаемой части одноэтажного здания находятся такие помещения, как функционирующие круглый год спортзалы, легкоатлетические манежи, выставочные залы и т.п. Здесь же могут также располагаться различные производственные предприятия промышленности и транспорта. Неотапливаемые части могут использоваться и для торговых рядов, и для летних легкоатлетических дорожек, и для тренажерных залов, и, наконец, для складов производства, складов торговых баз и т.д.

Это многоцелевое назначение боковых помещений вполне обеспечивается величиной вылета консолей плит-оболочек Т2К (см.рис.2,а). В покрытиях многоэтажных обще-

Таблица 2

Показатели	Ед. изм.	Данные для пустотных плит и слоистых плит низких сводов пролетом 6-7 м	
		Пустотные плиты	Плиты низких сводов
Общая строительная высота	мм	220	200
Приведенная толщина бетона	см	9,2 – 12	9,5 – 11,5
Расход арматуры	обычной напрягаемой общий	кг/м ³	72–76
			38–48
			115–130
Класс бетона	-	В 30 – В40	В20 – В25 и В5
Общая масса	т/%	<u>2,1 – 2,7</u> 100	<u>1,7 – 2,1*</u> 80 – 81

* Приведенная толщина показана без формообразующего среднего слоя из особо легкого крупнопористого бетона.

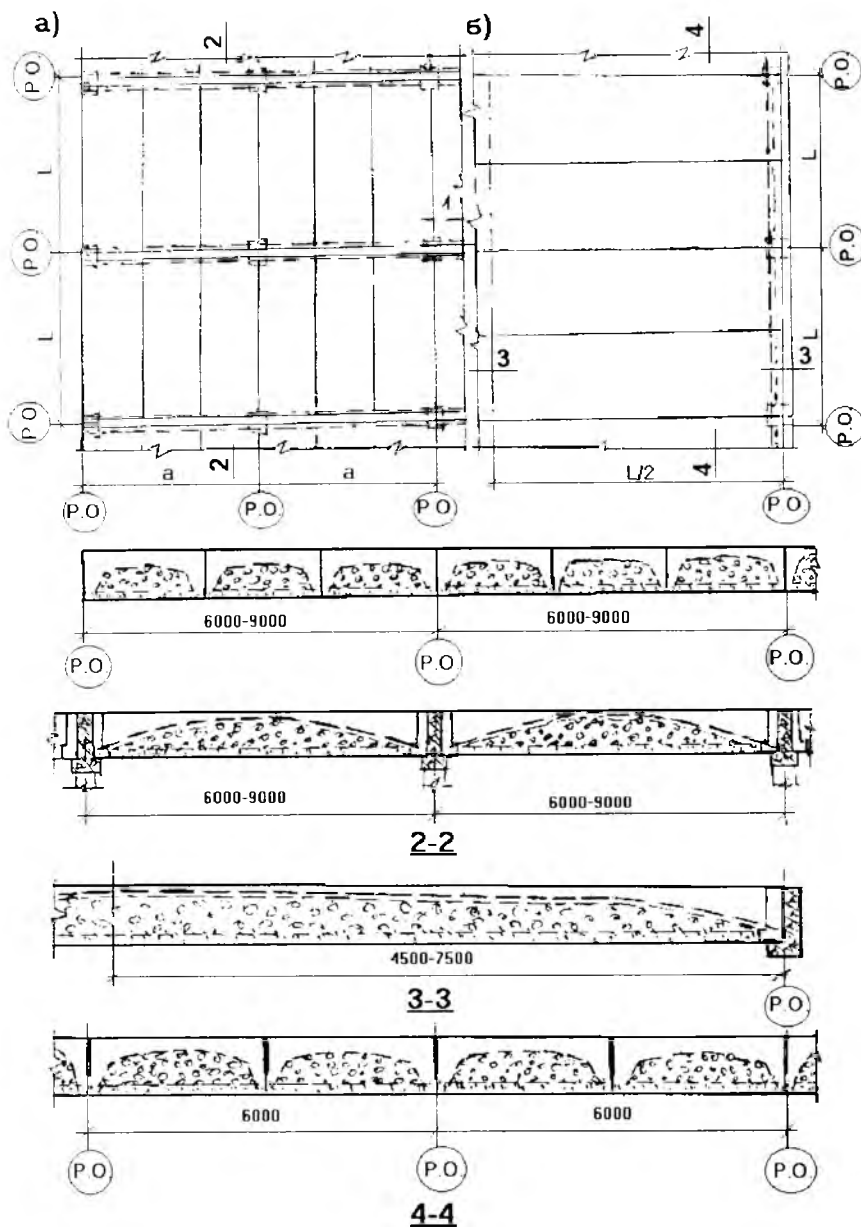


Рис. 3. Конструктивные схемы перекрытий (а) и покрытий (б) с использованием слоистых плит низких сводов

ственных зданий и офисов помещения 4 (см. рис. 2, б) могут использоваться для конференц-залов, ресторанов и т.п. Боковые закрытые и отапливаемые помещения 5 – для постоянно действующих выставочных галерей, магазинов и т.п. Плиты-оболочки Т2К можно широко применять в неотапливаемых зданиях и открытых сооружениях гражданского назначения и на транспорте. Помещения 6 пролетной части (см. рис. 2, б) могут использоваться как залы ожидания, товарные и прирельсовые склады, кассовые залы и т.п. Помещения 7 и 8 могут служить как навесы для парковки ав-

томашин или погрузочно-разгрузочные платформы, высокие пассажирские платформы и т.д.

Слоистые плиты низких сводов наиболее эффективно могут применяться в перекрытиях многоэтажных жилых, общественных и гражданских зданий с ячейкой колонн 6-9 м (рис. 3, а). В многопролетном своде взаимно погашаются распорные усилия, что позволяет максимально снизить общую строительную высоту всего перекрытия. При применении слоистых плит низких сводов в покрытиях зданий (рис. 3, б) появляется необходимость использования более жестких и высоких

продольных ригелей, а плиты выполняются с начальным строительным подъемом и со смешанным армированием. Исследования по этому направлению применения низких сводов еще продолжаются.

Выводы

Разработаны, экспериментально апробированы и рекомендуются к применению в покрытиях зданий и сооружений многоцелевого назначения тонкостенные арочные плиты-оболочки Т2К. Их эффективность обеспечивается уменьшением общей строительной высоты покрытия, существенным снижением расхода материалов и массы по сравнению с известными конструкциями.

Для широкого применения в перекрытиях многоэтажных жилых, общественных и производственных зданий разработаны слоистые плиты низких сводов. Эффективность их применения в многопролетных перекрытиях обеспечивается взаимным погашением распора, уменьшением высоты и расхода арматуры. При этом экономятся материально-энергетические ресурсы, связанные с исключением необходимости применения высокопрочной напрягаемой арматуры.

Библиографический список

1. Звездов А.И., Волков Ю.С. Бетон и железобетон: наука и практика // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Материалы 1-ой Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона 9-14 сентября 2001 г., Москва: в 3 кн. –М: Ассоциация "Железобетон", 2001. – 1820с. – кн.1 Пленарные доклады. – с. 288-297.
2. Шугаев В.В. Железобетонные пространственные конструкции// Там же. – с. 150-161.
3. Баширов Х.З. Несущие и ограждающие конструкции повышенной долговечности из легких бетонов// Там же, но кн.3 Секционные доклады. – с. 1529-1539.
4. Патент России № 2181822 Арочная двухконсольная плита-оболочка, Х.З.Баширов, 2000, опубл. Бюл. № 12, 2002.
5. Патент России №2184195 Слоистая плита низких сводов и способ её изготовления, Х.З.Баширов, А.С.Жиров, 2002, опубл. Бюл. № 18, 2002.
6. Байков В.Н., Сигапов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебник для вузов. Изд. 3-е, исправленное. М., Стройиздат, 1978.– 767 с.

С.С.КАПРИЕЛОВ, д-р техн. наук, Н.И.КАРПЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В.ШЕЙНФЕЛЬД, канд. техн. наук, Е.Н.КУЗНЕЦОВ, инж. (НИИЖБ)

О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С

Ставя перед собой цель выработать технологические приемы для регулирования модуля упругости и ползучести высокопрочного бетона, мы исходили из того, что эти характеристики могут зависеть как от факторов, предопределяющих деформативность обычного бетона, так и от особых факторов, связанных с природой высокопрочного бетона.

Как известно, модуль упругости и ползучесть бетона как композиционного материала зависят от деформативных характеристик его компонентов, т.е. цементного камня, растворной части и крупного заполнителя и от объемной концентрации каждого из указанных компонентов в составе бетона. На этом, в частности, основаны разные математические модели, позволяющие с большей или меньшей точностью прогнозировать модуль упругости и меру ползучести бетона [1, 2].

Так как высокопрочные бетоны характеризуются повышенным расходом цемента, влияние модуля упругости, ползучести и усадки цементного камня на деформативные характеристики бетона становится более значимым. В то же время ключевым фактором современной технологии высокопрочных бетонов является комплексное использование активных микронаполнителей (микрокремнезем, зола, метакаолин) и суперпластификаторов, которые могут существенно модифицировать структуру цементного камня.

В отечественной практике уже около 7 лет массовое производство высокопрочных бетонов связано с применением модификаторов МБ-01 и МБ-50С, содержащих вышеуказанные компоненты в разных соотношениях. Исследованиями, проведенными ранее, было показано влияние органоминеральных модификаторов серии МБ на пористость и фазовый состав цементного камня и выявлена связь этих характеристик с прочностью и проницаемостью бетона [3, 4, 5]. Отметим, что, варьируя дозировками модификатора, можно изменять прочность в широком диапазоне. Это создает предпосылку и для регулирования модуля упругости и ползучести высокопрочного бетона.

Объектом исследований являлся высокопрочный бетон с органоминеральным модификатором МБ-50С, в составе которого присутствуют микрокремнезем, зола уноса и суперпластификатор, объединенные в единый порошкообразный продукт.

Идея эксперимента заключалась в решении двух задач: во-первых, в сравнении бетонов одного класса по прочности на сжатие, которые имели равные объемы цементного камня, но отличались между собой по

его качеству; во-вторых, в сравнении бетонов одного класса по прочности, но имеющих разные объемы цементного камня одинакового качества. Сравнение проводили по таким параметрам, как фазовый состав (баланс между кристаллогидратами) и пористость цементного камня, а также модуль упругости и мера ползучести бетона.

Для решения первой задачи сравнивали образцы высокопрочного мелкозернистого бетона, которые содержали примерно одинаковое количество вяжущего (цемент + модификатор), имели одинаковое водовяжущее отношение, равное 0,23, и, соответственно, одинаковый объем цементного камня, равный $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Указанные образцы готовили с разными дозировками модификатора: 0% (контрольный образец), 10, 20 и 50% от массы цемента, что позволяло варьировать составом цементного камня и его поровой структурой. Контрольный бетон приготовлен из смеси с ОК=5 см, бетоны с модификатором – из смесей с ОК=21-23 см.

Опубликованные ранее результаты исследований [7] показали, что изменение деформативных свойств высокопрочного мелкозернистого бетона под влиянием органоминерального модификатора МБ-50С связано с изменением качественных характеристик цементного камня, т.е. объема гелевой и кристаллической частей и их модулей упругости (рис. 1 и 2). Изменение качества цементного камня (состава кристаллогидратов) оказывает более значительное влияние на меру ползучести, чем на прочность и модуль упругости бетона (рис. 3). Мера ползучести при оптимальных дозировках модификатора может быть уменьшена на 45-60% (кривая 3, рис. 3), в то время как модуль упругости и прочность на сжатие могут быть увеличены всего лишь на 20% (кривые 1 и 2, рис. 3). Анализируя полученные результаты, можно заметить, что оптимальные сочетания значений прочности, модуля упругости и ползучести достигаются при дозировках МБ-50С в диапазоне 10-20% массы цемента.

Для решения второй задачи сравнивали четыре образца, которые содержали разное количество вяжущего (от 670 до $1629 \text{ кг}/\text{м}^3$) и разный объем цементного камня (от 0,36 до $0,90 \text{ м}^3/\text{м}^3$), но имели одинаковое водовяжущее отношение, равное 0,23, и одинаковую дозировку модификатора, равную 20% массы цемента. В этой группе сравнивали образец цементного камня без заполнителей, два образца мелкозернистого бетона с воздухововлекающей добавкой и без нее и образец бетона с крупным заполнителем. Присутству-

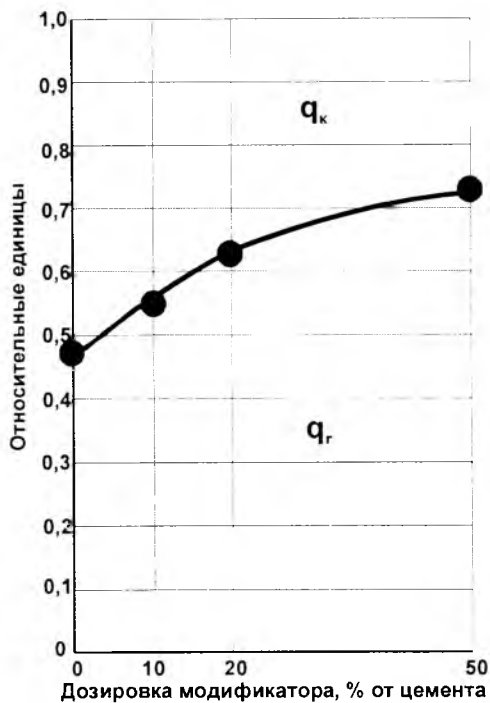


Рис. 1. Влияние модификатора на расчетный объем гелевой (q_r) и кристаллической (q_k) частей в единице объема цементного камня

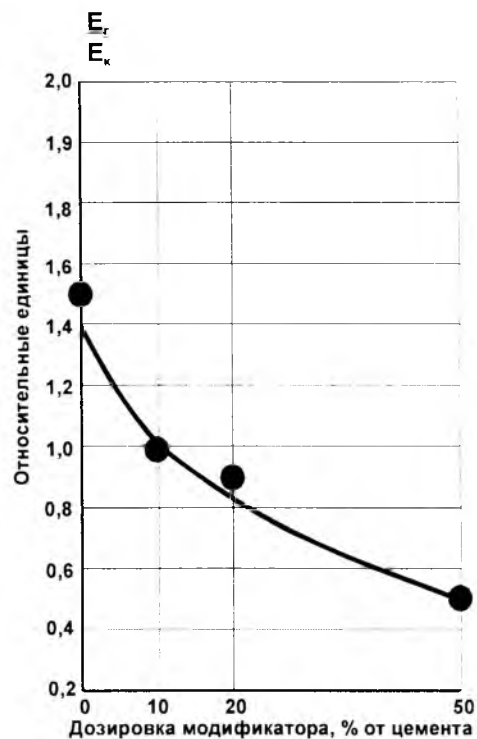


Рис. 2. Влияние модификатора на соотношение модуля упругости (E_r/E_k) гелевой и кристаллической частей цементного камня

ющие в составе образцов заполнители и воздухововлекающий компонент позволили варьировать объемом цементного камня и пористостью бетонов. Составы и свойства бетонных смесей приведены в табл. 1.

Для приготовления бетонов использовали следующие материалы: портландцемент М500 Д0 (минералогический состав: $C_3S=59\%$, $C_2S=16\%$, $C_3A=6\%$, $C_4AF=13\%$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O=4\%$), соответствующий ГОСТ 10178 и ГОСТ 30515; модификатор бетона МБ-50С, содержащий микрокремнезем, золу-унос, суперпластификатор в соотношении 43:43:14 и, согласно ТУ 5743-083-46854090-98 с изменениями №1, маркированный как МБ 14-50С; песок кварцевый ($M_{кр} = 2,5$), соответствующий ГОСТ 8736; щебень гранитный (фракция 5-20 мм), соответствующий ГОСТ 8267 и ГОСТ 26633; воздухововлекающая добавка (ВВД) - смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ), соответствующая ТУ 13-0281078-75-90.

Модуль упругости, меру ползучести и усадку определяли согласно ГОСТ 24452 и ГОСТ 24544 на образцах размером 10x10x40 см. Усадку определяли на образцах, которые хранились на воздухе в нормальных условиях ($t=20 \pm 2^\circ C$, $W=98\%$). Ползучесть определяли при уровне нагружения $0,3 R_{bn}$ и $0,6 R_{bn}$ на "запечатанных" образцах с изолированной поверхностью, для которых к моменту испытаний в течение 28 сут обеспечивали твердение при нормальных условиях. Прочность на сжатие и растяжение при изгибе определяли на образцах размером 10x10x10 см и 10x10x40 см, соответственно, которые хранились в нормальных температурно-влажностных условиях.

Информация о расчетных показателях (объем, мас-

са, плотность) компонентов мелкозернистого бетона и цементного камня, включая его гелевую и кристаллическую части, определенных в соответствии с принятой структурной моделью высокопрочного бетона с модификатором МБ-50С и методикой расчета, приведенной в [7], представлена в табл.2. Из нее можно заметить, что объем цементного камня в составе высоко-

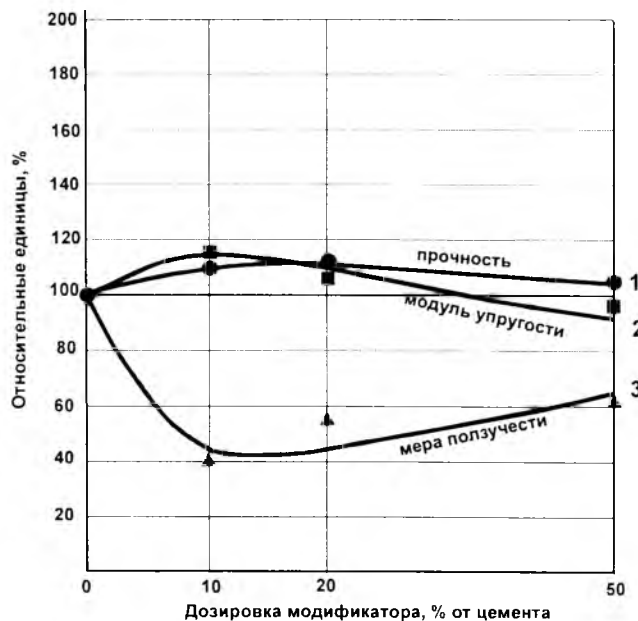


Рис. 3. Изменение прочности, модуля упругости и меры ползучести высокопрочного бетона в зависимости от качества цементного камня (дозировки модификатора) в составе бетона

№ состава	Дозировка МБ, % от Ц	Состав бетонных смесей, кг/м ³						Свойства бетонных смесей			
		Ц	МБ	П	Щ	В	СНВ	В/(Ц+МБ)	γ, кг/м ³	ОК, см	V _н , %
1	20	1356	273	-	-	353	-	0,235	2012	28	2,2
2	20	631	133	1310	-	178	-	0,235	2254	22	9,0
3	20	622	131	1216	-	174	0,112	0,235	2143	23	15,0
4	20	545	115	575	995	155	-	0,235	2385	22	3,6

Таблица 2

№ состава по табл. 1	Дозировка МБ, % от Ц	Показат. (см ³)	Бетон	Бетон			Цементный камень		Гелевая часть			Кристаллическая часть	
				заполнитель	цементный камень	технологические и капиллярные поры	гелевая часть	кристаллическая часть	гелевый сросток	вода гелевых пор	МБ	непротитированный цемент	кристаллический сросток
1	20	V	1,000	-	0,903	0,097	0,567	0,336	0,215	0,228	0,124	0,158	0,178
		m	2012	-	2012	-	1150	862	603	274	273	488	374
		ρ	2,01	-	2,23	-	2,03	2,57	2,80	1,20	2,20	3,10	2,10
2	20	V	1,000	0,494	0,419	0,087	0,262	0,157	0,105	0,097	0,060	0,073	0,084
		m	2254	1310	944	-	543	401	294	116	133	227	174
		ρ	2,25	2,65	2,25	-	2,07	2,55	2,80	1,20	2,20	3,10	2,10
3	20	V	1,000	0,459	0,409	0,132	0,255	0,154	0,104	0,091	0,060	0,072	0,082
		m	2143	1216	927	-	532	395	292	109	131	224	171
		ρ	2,14	2,65	2,27	-	2,09	2,56	2,80	1,20	2,20	3,10	2,10
4	20	V	1,000	0,586	0,364	0,050	0,229	0,135	0,089	0,088	0,052	0,063	0,072
		m	2385	1570	815	-	469	346	248	106	115	196	150
		ρ	2,39	2,68	2,24	-	2,05	2,56	2,80	1,20	2,20	3,10	2,10

* V – объем (м³), m – масса (кг), ρ – плотность (г/см³).

Таблица 3

№ состава по табл. 1	Дозировка МБ, % от Ц	Прочностные свойства			Деформативные свойства				
		кубиковая прочность на сжатие, МПа	призменная прочность на сжатие, МПа	прочность на растяжение при изгибе, МПа	модуль упругости, МПа×10 ³	коэффициент Пуассона	усадка, ×10 ⁵	мера ползучести, МПа ⁻¹ ×10 ⁶	
								σ 0,3R _{bn}	σ 0,6R _{bn}
1	20	100,4	84,0	4,8	25,3	0,28	102,1	38,5	52,1
2	20	112,1	81,2	5,0	42,3	0,24	74,5	18,4	25,2
3	20	103,0	70,0	4,1	37,5	0,25	77,0	23,2	26,8
4	20	116,9	86,3	6,1	47,0	0,25	36,0	16,2	21,0

прочного бетона в зависимости от вида и количества заполнителей изменяется в широком диапазоне от 0,364 до 0,903 м³/м³.

Замена части цементного камня мелким и крупным заполнителями при постоянном водовяжущем отношении приводит к снижению подвижности и повышению объемной массы бетонных смесей (составы №№ 1, 2, 4, табл. 1). Введение в бетонную смесь ВВД приводит к дополнительному вовлечению воздуха (составы № 2 и № 3, табл. 1).

Все образцы цементных систем (цементного камня, мелкозернистого бетона, мелкозернистого бетона с ВВД, а также тяжелого бетона) обладали примерно равной прочностью на сжатие (100,4-116,9 МПа) и по этому показателю могут быть отнесены к одному классу В80 (составы №№ 1-4, табл. 3).

Модуль упругости и мера ползучести мелкозернистого и тяжелого бетонов (составы № 2 и № 4, табл. 3) сопоставимы и изменяются в узком диапазоне, соответственно 42,3·10³ - 47,0·10³ МПа и 16,2·10⁻⁶ - 18,4·10⁻⁶

МПа⁻¹, однако усадка мелкозернистого бетона (74,5·10⁻⁵) в два раза выше усадки тяжелого бетона (36,0·10⁻⁵).

Введение в состав мелкозернистого бетона воздухоовлекающего агента (состав № 3, табл.3) не изменяет величину усадочных деформаций (77,0·10⁻⁵), однако уменьшает модуль упругости на 12% (37,5·10³ МПа) и увеличивает меру ползучести на 26% (23,25·10⁻⁶ МПа⁻¹).

Деформативные характеристики цементного камня (состав № 1, табл.3) значительно отличаются от характеристик мелкозернистого и тяжелого бетонов – усадка (102,1·10⁻⁵), модуль упругости (25,3·10³ МПа), мера ползучести (38,5·10⁻⁶ МПа⁻¹).

Изменение уровня нагружения от 0,3R_{бн} до 0,6R_{бн} приводит к увеличению меры ползучести цементных систем на величину от 15% (для образца №3 с ВВД) до 36% (для образцов №1,2,4 без ВВД). Можно предположить, что меньший прирост ползучести бетона с ВВД по мере увеличения уровня нагружения связан с особенностями структуры, в которой имеются условно-замкнутые поры, выполняющие функции демпфера и равномерно распределяющие внутренние напряжения в материале, снижая тем самым величину деформаций.

На основании выявленных на первом этапе [7] качественных характеристиках цементного камня с 20% модификатора, включая пористость, состав кристаллогидратов и степень гидратации цемента, оценям достоверность полученных на втором этапе данных путем сравнения фактических и расчетных значений меры ползучести исследуемых цементных систем.

Предельная мера ползучести бетона с учетом объемов цементного камня и, соответственно, заполнителей, а также пористости бетона, согласно [6], может быть определена следующим уравнением

$$C = \frac{BE_{Г} \rho_{к} (1 + \rho_{Ц} \cdot B/T)^2 \cdot T}{\alpha \rho_{Ц}^2 (AE_{к} + BE_{Г}) AE_{к}} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где: E_Г и E_к – модули упругости гелевой и кристаллической частей цементного камня; А и Б – параметры, зависящие от минералогического состава цемента

$$A = \frac{m_{к}}{\alpha Ц}; \quad B = \frac{m_{Г}}{\alpha Ц} \quad (2)$$

где m_к и m_Г – масса кристаллической и гелевой частей в единице объема бетона (см.табл.2); α – степень гидратации цемента (равна 0,64, согласно [7]); Ц – расход цемента в единице объема бетона (см.табл.1); ρ_Ц и ρ_к – плотность цемента и средняя плотность кристаллогидратов, входящих в состав кристаллической части цементного камня (ρ_Ц=3,1 г/см³; ρ_к, см.табл.2); Т – масса вяжущего (Ц+МБ) в единице объема бетона (см.табл.1); В/Т – водовязущее отношение (В/(Ц+МБ))=0,235, см.табл.1); К – параметр, характеризующий пористость бетона

$$K=1-V_n \quad (3)$$

где V_n – объем технологических и капиллярных пор в единице объема бетона (см.табл.2).

С учетом того, что в исследуемых бетонах присутствовал цементный камень с одинаковыми параметрами структуры (при одинаковом водовязущем отноше-

нии дозировка МБ во всех составах составляла 20% массы цемента), уравнение (1) можно записать в следующем виде

$$C = S \frac{T}{1-V_n} \quad (4)$$

где S – параметр, зависящий от качества (состава кристаллогидратов) цементного камня

$$S = \frac{BE_{Г} \rho_{к} (1 + \rho_{Ц} \cdot B/T)^2}{\alpha \rho_{Ц}^2 (AE_{к} + BE_{Г}) AE_{к}} \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

Из данных табл.1 и 2 можно получить показатели цементного камня, необходимые для определения параметра S

$$B/T=0,235; \quad \rho_{Ц}=3,1; \quad \rho_{к}=2,56; \quad A=0,993; \quad B=1,338$$

Зная фактический модуль упругости цементного камня (25300 МПа) с 20% модификатора без заполнителей (состав № 1, табл.3), фактический объем цементного камня (0,903) в единице объема этого бетона (состав № 1, табл.2), а также пользуясь данными [7] (α=0,64; q_Г=0,63; q_к=0,37; E_Г/E_к=0,9), зависимость q_кE_к+q_ГE_Г=E_{ЦК} (формула 2 [7]) можно записать в виде

$$0,63(0,9E_{к})+0,37E_{к}=25300 / 0,903,$$

откуда E_к=29900 МПа, а E_Г=26910 МПа.

Подставляя полученные данные в выражение (5), получим, что для бетона с 20% модификатора от массы цемента S=2,296·10⁻⁸.

Таким образом, общая формула (4) в частном случае при дозировке модификатора 20% массы цемента примет вид

$$C = 2,296 \frac{T}{1-V_n} \cdot 10^{-8} \quad (6)$$

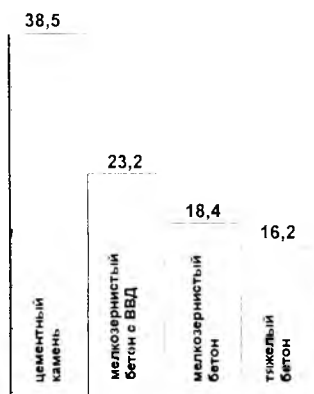
Вычисленные по (6) расчетные и фактические значения меры ползучести исследуемых бетонов представлены на рис.4, из которых видно, что сходимость результатов составляет 5-10%. Это приводит к выводу об объективности выбранной структурной модели бетона с органоминеральным модификатором МВ-50С [7] и достоверности полученных экспериментальных данных о влиянии объема цементного камня, а также вида заполнителя и пористости на деформативные характеристики высокопрочного бетона.

Общий характер изменения прочности на сжатие, модуля упругости и меры ползучести высокопрочного бетона в зависимости от объема цементного камня в составе бетона представлен на рис.5.

Изменение объема цементного камня, влияя в незначительной степени на прочность при сжатии, более существенно отражается на модуле упругости и мере ползучести бетонов (рис.5). В зависимости от пористости бетона величина прочности на сжатие изменяется в диапазоне от 5 до 20% (зона 1, рис.5), модуля упругости – от 60 до 90% (зона 2, рис.5), меры ползучести – от 45 до 60% (зона 3, рис.5).

Обратим внимание на то, что изменение меры ползучести на одну и ту же величину может быть достиг-

а) фактическая величина меры ползучести, $\text{МПа}^{-1} \times 10^6$



б) расчетная величина меры ползучести, $\text{МПа}^{-1} \times 10^6$

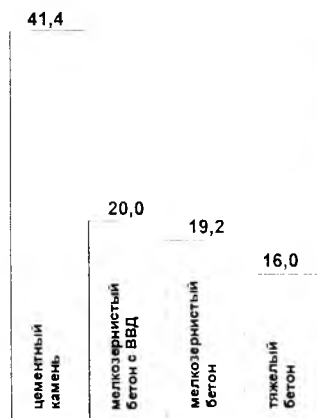


Рис. 4. Фактическая (а) и расчетная (б) мера ползучести бетонов с 20% модификатора МБ-50С с различным объемом цементного камня, видом заполнителя и пористостью

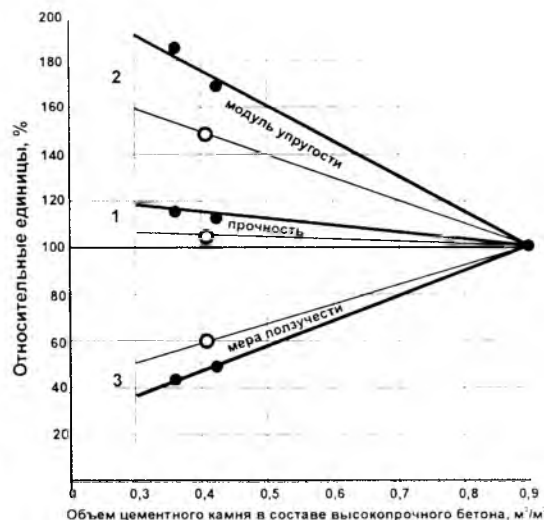


Рис. 5. Изменение прочности, модуля упругости и меры ползучести высокопрочного бетона с дозировкой МБ-50С 20% в зависимости от количества (объема) цементного камня в составе бетона

нуто в равной степени как варьированием дозировками модификатора МБ-50С при неизменном объеме вяжущего и цементного камня (рис.3), так и варьированием объемами цементного камня, заполнителей и пористостью при неизменной дозировке модификатора (рис.5).

Выводы

1. Изменение модуля упругости и меры ползучести высокопрочного бетона с комплексным органоминеральным модификатором МБ-50С зависит как от изменения качественной характеристики цементного камня, т.е. баланса между объемами и модулями упругости его гелевой (субмикроструктуры геля) и кристаллической частей, так и от количественной характеристики цементной системы, т.е. соотношения объемов цементного камня, заполнителя и пор.

Качественные характеристики могут регулироваться дозировками модификатора, а количественные – применением разных заполнителей для бетона и воздухововлекающей добавки.

2. Оптимальными, с точки зрения прочностных и деформативных характеристик бетонов, является дозировка модификатора в диапазоне 10-20% массы цемента, так как в этом случае минимизируется количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе цементного камня, в котором образуется примерное равенство модулей упругости гелевой и кристаллической частей.

3. Модуль упругости и мера ползучести высокопрочных мелкозернистых бетонов при одинаковой прочности на сжатие могут регулироваться в широком диапазоне за счет варьирования дозировками модификатора и введения в состав бетона воздухововлекающей добавки. Величина изменения модуля упругости может достигать 20%, а меры ползучести 45-60%.

4. Варьирование дозировками модификатора позволяет управлять деформативными характеристиками и

получать высокопрочный мелкозернистый бетон, обладающий такими же величинами модуля упругости и меры ползучести, как тяжелый бетон на гранитном щебне, с аналогичной прочностью на сжатие.

5. Управление мерой ползучести высокопрочного бетона может быть осуществлено в равной степени как варьированием дозировками модификатора, так и варьированием соотношения между объемами цементного камня, заполнителей и вовлеченного воздуха.

6. Предложена структурная модель и методика расчета меры ползучести высокопрочных бетонов с органоминеральным модификатором, которые дают достоверные результаты.

Библиографический список

1. Baalbaki W., Antcin P.-C., Ballivy G. On Predicting Modulus of Elasticity in High-Strength Concrete. ACI Materials Journal, 1992, sept-oct., p.p.517-520.
2. Gardner N.J., Zhao J.W. Creep and Shrinkage Revisited. ACI Materials Journal, 1993, may-june, p.p.236-246.
3. Kaprielov S., Sheinfeld A. Influence of Silica Fume - Fly Ash - Superplasticizer Combinations in Powder Like Complex Modifier on Cement Paste Porosity and Concrete Properties. Sixth CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and other Chem. Admixtures in Concrete. Nice, France, October 2000. Proceedings, pp.383-400.
4. Батраков В.Г., Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Силина Е.С. Модифицированные бетоны в практике современного строительства. // Промышленное и гражданское строительство. — № 9. — 2002. — с.23-25.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии "МБ" на их эффективность// Бетон и железобетон. — № 5. — 2001. — с.11-15.
6. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. — М. Стройиздат, 1979. 344 с.
7. Каприелов С.С., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кузнецов Е.Н. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона// Бетон и железобетон. — № 3. — 2003. — с.2-7.

О едином физическом подходе к проектированию составов тяжелых и легких бетонов

Проектирование составов тяжелого бетона основано на зависимости прочности бетона от водоцементного отношения (В/Ц). Д. Абрамс, обработавший более 50 тысяч результатов испытаний бетонов в Американской лаборатории исследования строительных материалов, сформулировал в 1918 г. эту зависимость как "закон водоцементного фактора". Закон В/Ц, по Абрамсу, заключается в том, что "прочность бетона при данных материалах и условиях обработки, определяется единственно отношением объема взятой для смеси воды к объему цемента".

Последующие многочисленные исследования и практический опыт показали, что утверждение о "единственном" влиянии В/Ц на прочность бетона даже при прочих одинаковых исходных условиях является преувеличенным. На прочность бетона влияет множество факторов, в том числе и факторы состава бетонной смеси, из которых В/Ц при применении плотных и достаточно прочных заполнителей имеет решающее значение.

Однозначная связь прочности бетона с В/Ц является следствием универсальной физической закономерности, заключающейся в зависимости прочности твердых тел от их относительной плотности или пористости, и в этом смысле точнее считать ее не самостоятельным законом, а одним из базовых правил для проектирования составов бетонных смесей.

Анализ известных эмпирических формул (по К.К.Стрелову, их более 50 [2], по нашим данным, не менее 100) показывает, что в наиболее общем виде для твердых тел зависимость прочности от пористости можно выразить степенной функцией

$$R = R_0 (1 - \Pi)^n, \quad (1)$$

где Π - пористость; n - показатель степени, учитывающий особенность структуры материала; R_0 - прочность беспористого материала. При замене пористости на величину относительной плотности $d=1-\Pi$ формула (1) приобретает вид

$$R = R_0 d^n \quad (2)$$

С.М.Ицкович считает [3], что для материалов ячеистой структуры n примерно равен 2, зернистой - 3...6. Имеются данные о линейном увеличении n с увеличением размера пор [3]. При расчете прочности тяжелых бетонов в зависимости от В/Ц показатель n принимают обычно 0,5...2.

Для бетонов все формулы, выражающие правило В/Ц, вытекают в явной или неявной форме из формул Р.Фере [4], установленных в 1891 г. и впервые определивших связь прочности бетона с плотностью цементного камня. Р.Фере первоначально предложил линейную зависимость прочности бетонов от цементно-водного отношения с учетом объема воздушных пор

$$R_0 = K \left(\frac{C}{B + V_{в.п.}} \right), \quad (3)$$

где C , B и $V_{в.п.}$ - абсолютные объемы цемента, воды и воздушных пор; K - коэффициент, зависящий от качества исходных материалов, условий изготовления и твердения бетона. Позднее Р.Фере заменил формулу (3) другой, однозначно связывающей с прочностью бетона относительную плотность цементного теста в свежизготовленной бетонной смеси

$$R_0 = K \left(\frac{C}{C + B + V_{в.п.}} \right) \quad (4)$$

В последующем Т.К.Пауэрс и ряд других исследователей [5] уточнили зависимость (4) как прочность от плотности цементного камня, введя в выражение его плотности степень гидратации цемента α . Для практических расчетов, однако, из-за неопределенности α на стадии подбора составов более приемлемыми являются зависимости, учитывающие влияние на прочность бетона активности цемента как его стандартизованной характеристики.

Для подборов составов более удобным оказался также не сам показатель плотности цементного теста или камня в бетонной смеси, а однозначно связанные с ним водоцементное или цементно-водное отношения. Действительно, легко видеть, что

$$\frac{C}{C + B + V_{в.п.}} = \frac{1}{1 + \frac{B + V_{в.п.}}{C}} \quad (5)$$

Исследования Р.Фере оказались в свое время невостребованными практикой, и лишь после известных работ Д.Абрамса и М.Боломея, выполненных значительно позже (1918-1925 гг.), а затем и ряда других исследователей эмпирические зависимости прочности бетона от В/Ц и Ц/В стали широко применяться в расчетах составов тяжелого бетона. Объем воздушных пор при этом учитывается обычно лишь при введении воздухововлекающих добавок.

Ю.М.Баженов показал [1], что прочность бетона на тяжелых и легких заполнителях определяется обобщенным критерием L , равным отношению объемной концентрации цементного камня в бетоне к его суммарной пористости. Для нахождения критерия L предлагается рассчитывать объемную концентрацию цементного камня при определенном значении "истинного" водоцементного отношения, физически обоснованный расчет которого, однако, является затруднительным.

При определенной степени гидратации цемента (α) В/Ц и Ц/В можно интерпретировать как параметры состава бетона, пропорциональные соответственно отношению объема пор бетона (без учета пористости заполнителя, степени уплотнения и вовлеченного возду-

ха а также объема пор заполнителей) к объему гидратированного цемента, и наоборот. По Пауэрсу [5], объем гидратированного цемента $V_{г.ц}$ равен

$$V_{г.ц} \approx 0,647\alpha Ц. \quad (6)$$

$$\text{Откуда } Ц \approx \frac{V_{г.ц}}{0,647\alpha} \quad (7)$$

Объем пор цементного камня в бетоне [5]

$$V_n^{у.к} = B - 0,23 \cdot \alpha Ц \quad (8)$$

Откуда $B = V_n^{у.к} + 0,23\alpha Ц$ или

$$B = V_n^{у.к} + 0,35V_{г.ц} \quad (9)$$

Тогда

$$\frac{Ц}{B} = \frac{V_{г.ц}}{0,647\alpha(V_n^{у.к} + 0,35V_{г.ц})} = \frac{1}{0,647\alpha\left(\frac{V_n^{у.к}}{V_{г.ц}} + 0,35\right)} \quad (10)$$

Для легких бетонов прочность существенно зависит от прочности пористых заполнителей, и правило В/Ц "не работает". Существенную часть объема пор легкого бетона слагают поры пористого заполнителя, и параметр, пропорциональный отношению объема гидратированного цемента к объему пор бетона, равен

$$Z = \frac{C}{B_0 + П_3 V_3 + V_{в.п}} = \frac{1}{0,647\alpha\left(\frac{V_n^0}{V_{г.ц}} + 0,35\right)}, \quad (11)$$

где C – абсолютный объем цемента, $л/м^3$ ($C = Ц/\rho_{ц} = Ц/3,1$); B_0 – объем воды в $л/м^3$, необходимый для достижения заданной удобоукладываемости смеси за вычетом воды, поглощенной пористым заполнителем; $П_3$ – пористость легкого заполнителя; V_3 – абсолютный объем пористого заполнителя, $л/м^3$; $V_{в.п}$ – объем вовлеченного и остаточного воздуха в $л/м^3$; V_n^0 – общий объем пор бетона.

При $П_3 \cdot V_3 = 0$ параметр Z трансформируется в параметр, первоначально предложенный Р.Фере $\frac{C}{B+V}$, а при $V_{в.п} = 0$ – в объемное цементно-водное отношение C/B ($C/B = 0,32Ц/B$).

По рекомендованной в справочных руководствах методике [6] было рассчитано 54 состава керамзитобетон с 28-суточной прочностью при сжатии (R_6) 5...30 МПа, плотностью (ρ_6) 800...1800 $кг/м^3$ при использовании керамзитового гравия с насыпной плотностью (ρ_n) 300...800 $кг/м^3$. Для конструктивных керамзитобетонов классов В12...В22,5 в качестве мелкого заполнителя применяли кварцевый песок, для конструктивно-теплоизоляционных – пористый керамзитовый песок с $\rho_n = 500...700$ $кг/м^3$. Полученные расчетные данные позволили аппроксимировать зависимость $R_6 = f(Z)$ линейными уравнениями:

для керамзитобетона на кварцевом песке

$$R_6 = 0,32AR_{к} \frac{Ц}{B + (П_к - W_к^0)V_к + V_{в.п}}, \quad (12)$$

где $A = 1,7$; $П_к$ и $W_к^0$ – соответственно пористость и объемное водопоглощение пористого заполнителя; $V_к$ – объемное содержание пористого заполнителя в бетонной смеси, $л/м^3$.

для керамзитобетона с применением пористого песка

$$R_6 = 0,32AR_{к} \frac{Ц}{B + (П_к - W_к^0)V_к + (П_т - W_п^0)V_п + V_{в.п}}, \quad (13)$$

где $A = 1,1...2,1$ (в зависимости от прочности бетона и объема воздуха); $П_п$ и $W_п^0$ – пористость и объемное водопоглощение пористого песка; $V_п$ – объемное содержание пористого песка, $л/м^3$

Формулы (12, 13) являются достаточно универсальными, учет пористости и водопоглощения заполнителей позволяет косвенно учитывать их прочность и особенности пористой структуры.

При одинаковой степени гидратации и равном отношении объемов гидратированного цемента к общему объему пор прочность легкого бетона, рассчитанная по формулам (12, 13), оказывается выше прочности тяжелого бетона, найденной при соответствующем $Ц/B$. Это можно объяснить более высокой адгезией цементного камня к пористым заполнителям и большей его плотностью в легких бетонах в результате самовакуумирования.

Формулы (11, 12) предполагают совместную работу цементного камня и пористого заполнителя и справедливы для первого линейного участка кривой $R_6 = f(R_p)$ (R_p – прочность растворной составляющей бетона).

В соответствии с теорией А.И. Ваганова, подтвержденной многими исследованиями [7], на определенном пористом заполнителе при неизменном его содержании можно приготовить легкий бетон лишь с определенной предельной прочностью, значение которой практически не увеличивается с ростом прочности растворной составляющей и соответственно $Ц/B$. Для определения предельной прочности керамзитобетона используют уравнение

$$R_6^{пр} = 9,5R_к^u \frac{1-\phi}{0,5}, \quad (14)$$

где $R_к^u$ – прочность керамзитового гравия в цилиндре; ϕ – объемная концентрация пористого заполнителя.

При неизвестном значении прочности керамзита можно использовать эмпирическое уравнение, связывающее ее с насыпной плотностью (ρ_n)

$$R_к^u = 0,008\rho_n - 1,88. \quad (15)$$

Использование параметра Z в формулах прочности легких бетонов открывает возможность разработки достаточно простых методик расчета их составов, основанных на тех же основных физических предпосылках, которые используются в расчетах составов тяжелых бетонов.

Ниже излагается одна из таких методик, разработанных нами применительно к конструктивному керамзитобетону. Она последовательно включает определение водопотребности бетонной смеси ($B, л$) для достижения требуемых значений подвижности ($ОК, см$) или жесткости ($Ж, с$), нахождение коэффициента раздвижки (K_p) крупного пористого заполнителя цементно-песчаным раствором (см. таблицу), расчет объемной концентрации (ϕ) и расхода керамзита ($K, кг/м^3$), расхода цемента ($Ц, кг/м^3$) и песка ($П, кг/м^3$) по формулам (16-21).

**Коэффициент раздвижки крупного заполнителя
керамзитобетона**

Насыпная плотность керамзита, кг/м ³	Плотность бетона, кг/м ³					
	1300	1400	1500	1600	1700	1800
400	1,25	1,33	1,45	-	-	-
500	1,18	1,25	1,36	1,50	-	-
600	1,10	1,19	1,28	1,39	1,54	-
700	-	-	1,20	1,29	1,45	1,59
800	-	-	-	1,21	1,33	1,49
900	-	-	-	-	1,22	1,35

Примечание. Значения K_p приведены для легковесных смесей с ОК=5...9 см. Для смесей с ОК=10...15 см значения K_p увеличиваются на 0,05...0,15, с ОК=15...20 см — на 0,15...0,2 в зависимости от плотности бетона. Для жестких бетонных смесей K_p уменьшается в зависимости от значений жесткости и плотности бетона.

$$V_{\sigma}^{OK} = 2,33 \cdot OK - 0,04 \cdot \rho_{II} + 230 \quad (16)$$

$$V_{\sigma}^{Ж} = 258 - 21,87 \cdot \ln(Ж) - 0,04\rho_{II} \quad (17)$$

$$\varphi = 1 - V_{M,II} \cdot K_p \quad (18)$$

$$K = 1,89\varphi \cdot \rho_{II} \quad (19)$$

$$\Pi = \frac{R_{\sigma}(B + \Pi_K V_K - W_K^0 V_K)}{0,32 \cdot 1,7R_{II}} \quad (20)$$

$$\Pi = \rho_{\sigma} - 1,15\Pi - K \quad (21)$$

где $V_{M,II}$ — объем межзерновых пустот керамзита; ρ_{II} — насыпная плотность керамзита, кг/м³; ρ_{σ} — плотность бетона, кг/м³.

Значения коэффициента раздвижки, приведенные в таблице, определены экспериментально по результатам подборов составов плотного керамзитобетона из формулы

$$\rho_{\sigma} = \rho_{з.цт} \cdot \varphi + (K_p \cdot V_{пуст} - V_{в}) \cdot \rho_p \quad (22)$$

где $\rho_{з.цт}$ — плотность зерен керамзита в цементном тесте.

При получении формул (16, 17) статистически обработаны известные справочные данные. Они справедливы при приготовлении плотных легковесных смесей на пористых заполнителях крупностью до 20 мм и среднезернистом кварцевом песке. При уменьшении крупности заполнителя до 10 мм расчетный расход воды увеличивается, а при увеличении до 40 мм уменьшаются на 10...20 л/м³.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. — М.: Высш. шк., 1987. — 415 с.
2. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. М.: Металлургия, 1985. — 480 с.
3. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. — М.: Высш. шк., 1991. — 272 с.
4. Faury J. Le beton Dronod. Paris, 1953.
5. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование состава бетона с заданными свойствами — Ровно: Изд-во РГТУ, 1999. — 202 с.
6. Справочник по бетонам и растворам / А.П.Чехов, А.М.Сергеев, Г.Д.Дибров. — К.: Будівельник, 1983. — 216 с.
7. Ваганов А.И. Керамзитобетон. — М.: Стройиздат. 1960. — 356 с.

XIV конгресс европейской Ассоциации по товарному бетону — ERMCO

Хельсинки, июнь 2004 г.

Европейская Ассоциация по товарному бетону была организована в 1967 г. В качестве действительных членов в нее входят все страны — члены Евросоюза плюс Израиль, Турция, Куба, США.

ERMCO объединяет национальные ассоциации, включающие около 6 000 компаний — производителей товарного бетона, обеспечивающих практически весь объем монолитного строительства в Европе с суммарным годовым оборотом около 16 млрд. долларов. Производство товарного бетона в Европе составляет 350 млн.м³. Доставку его на стройки осуществляют более 50 тыс. автобетономесителей.

В работе комитетов ERMCO принимают участие президенты крупнейших компаний, бизнесмены, ученые, специалисты в области технологии бетона из разных стран.

Сфера интересов Ассоциации охватывает повышение конкурентоспособности монолитного железобетона по отношению к другим материалам; евростандарты на бетон и составляющие его материалы: цемент, заполнители, добавки; стандарты на контроль качества материалов в процессе изготовления бетона и контроль качества возведения монолитных зданий и сооружений; новые технологии и оборудование для монолитного строительства; безопасность труда; охрана окружающей среды; экология и др.

ERMCO имеет рабочие контакты с другими международными строительными ассоциациями, такими как Цембюро (Cemburo) — Ассоциация производителей цемента, ВІВМ — Ассоциация производителей сборного железобетона, EFCA — Ассоциация изготовителей добавок в бетон и др. ERMCO регулярно (каждые три года) проводит конгрессы в столицах различных европейских стран. Последний XIII конгресс состоялся в 2001 г. в Берлине. Следующий конгресс пройдет в июне 2004 г. в Хельсинки.

В программу конгресса входят следующие темы: ресурсо- и энергосбережение; огнестойкость железобетонных конструкций; новые виды опалубки; выдающиеся здания и сооружения из монолитного железобетона, возведенные в последнее время; самоуплотняющийся бетон; повторное использование бетонного лома и других отходов; экология заводов товарного бетона; состояние монолитного строительства в отдельных регионах (США, Латинская Америка, Франция); новые цементы и добавки для бетона; вопросы стандартизации и др.

Более подробную информацию о конгрессе можно получить на сайте www.ermco2004.org. или по тел. (095) 174-76-77.

Ю.С.Волков, канд.техн. наук (НИИЖБ),
член технического комитета ERMCO

Подбор состава бетона по параметрам механики разрушения

В исследованиях по прогнозированию долговечности решаются 2 основные задачи:

1) подбор состава бетона, обеспечивающего требуемую долговечность бетона проектируемых конструкций;

2) определение остаточного ресурса долговечности бетона существующих конструкций.

Решение первой задачи в настоящее время осуществляется на основе эмпирического подхода к подбору состава бетона по параметру его прочности на сжатие. Прочность на сжатие является характеристикой, которая зависит от размеров образцов, условий испытания и др. В связи с этим возникла необходимость разработки способа подбора состава бетона по инвариантным параметрам трещиностойкости, которые отражают структуры и описывают механизмы разрушения бетона.

В этом отношении целесообразен переход от прочностной концепции к кинетической концепции разрушения [1], в основу которой положены инвариантные константы цементного камня и бетона – критические коэффициенты интенсивности напряжений и энергии разрушения. Указанные параметры позволяют оценить кинетику развития повреждений (трещин) при силовых и не силовых воздействиях до критического уровня, т.е. определить долговечность бетона. Методика расчета состава бетона требуемой долговечности должна основываться на обеспечении трещиностойкости бетона, которая определяется структурными свойствами бетона. Поэтому для подбора состава бетона необходимо располагать данными о связях между параметрами состава бетона и характеристиками трещи-

ностойкости (долговечности).

Проведенный многофакторный эксперимент по насыщенному трехуровневому плану позволил получить зависимости между параметрами прочности, трещиностойкости и параметрами состава бетона. Решая систему уравнений с заданными (требуемыми) силовыми и энергетическими характеристиками, можно подобрать состав бетона, который обеспечит требуемую долговечность. При этом состав бетона должен удовлетворять технологическим требованиям.

В задании на подбор состава бетона должны задаваться нормируемые показатели качества бетона:

- долговечность – D ;

- класс бетона по прочности на сжатие – B ;

В зависимости от конструкций конкретной номенклатуры, для которых предназначен бетон, и конкретных условий эксплуатации по нормируемым показателям качества бетона задаются параметры трещиностойкости – K_{Ic} и K_{IIc} .

Параметры состава бетона – расход цемента (\mathcal{C}), водоцементное отношение (B/\mathcal{C}), объемная доля щебня в бетонной смеси K_{Ia} определяются из решения системы уравнений 2-го порядка, установленных на основе многофакторного эксперимента (здесь d_{max} – максимальный размер крупного заполнителя):

$$R_m = 176,63 + 0,000314\mathcal{C}^2 + 22980d_{max}^2 - 0,297\mathcal{C} - 107,33(B/\mathcal{C}) - 27,31K_{Ia} - 919,2d_{max} \quad (1)$$

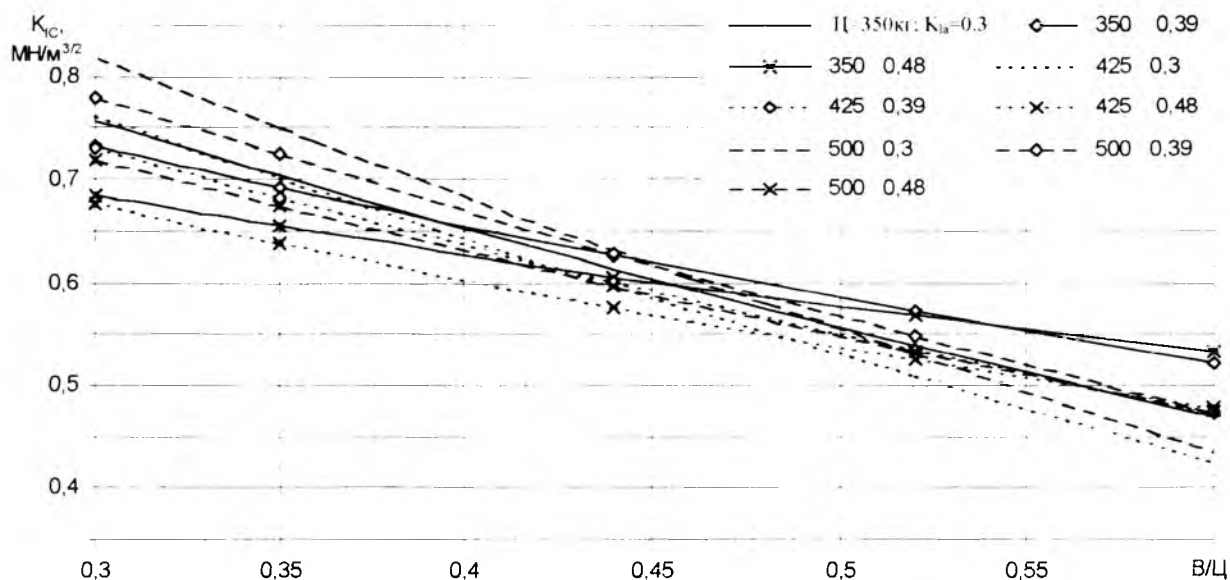


Рис. 1. Графики для определения K_{Ic} в зависимости от B/\mathcal{C} , \mathcal{C} и K_{Ia} при $d_{max}=0,01$ м

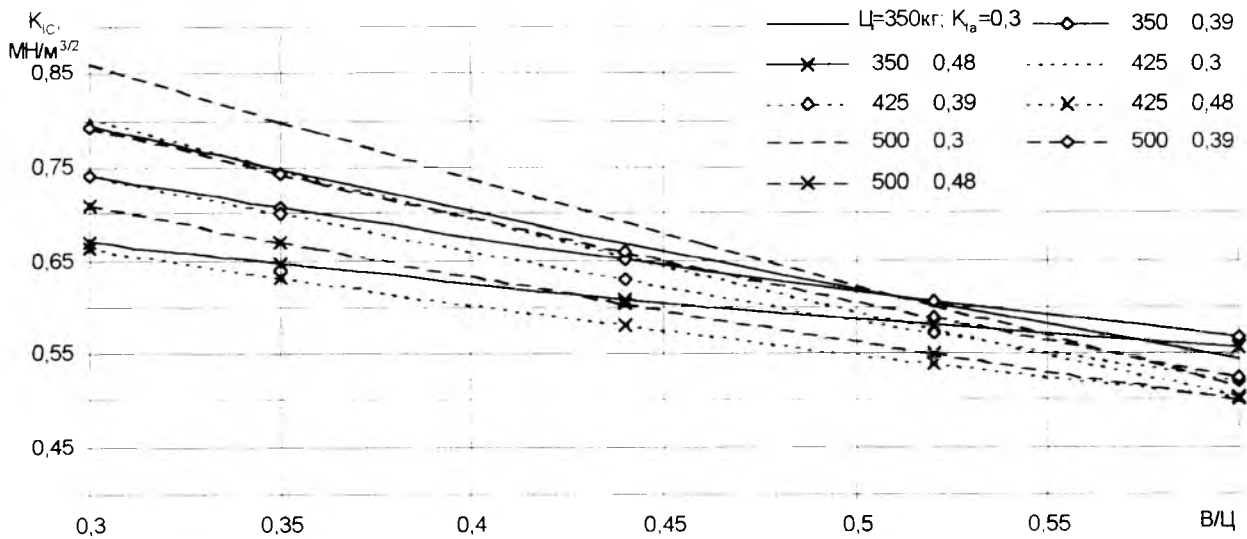


Рис. 2. Графики для определения K_{IC} в зависимости от V/C , C и K_{la} при $d_{max}=0.02$ м

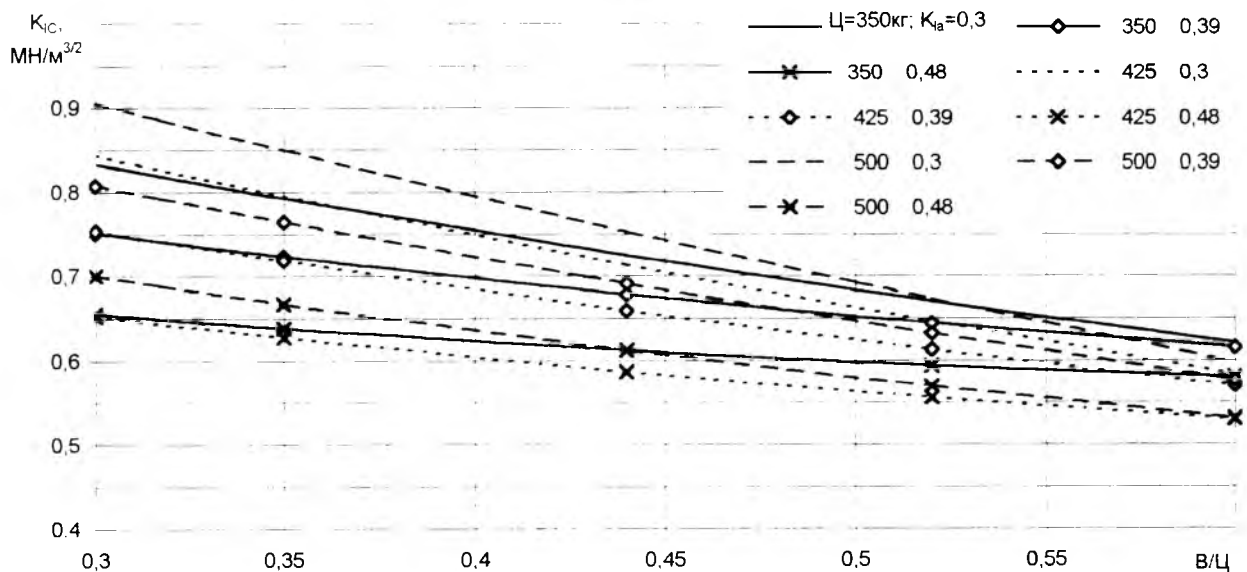


Рис. 3. Графики для определения K_{IC} в зависимости от V/C , C и K_{la} при $d_{max}=0.03$ м

$$K_{IC} = 1.644 + 0.000005C^2 - 0.003C - 0.767(V/C) - 0.967K_{la} + 15.466d_{max} - 0.002C \cdot (V/C) + 2.5(V/C) \cdot K_{la} - 28.89K_{la} \cdot d_{max} \quad (2)$$

$$K_{IC} = 22.034 + 0.000066C^2 + 37.16K_{la}^2 - 0.041C - 1.454(V/C) - 29.73K_{la} - 206.22d_{max} - 0.029C \cdot (V/C) + 0.153C \cdot d_{max} + 271.25(V/C) \cdot d_{max} \quad (3)$$

Зависимости для определения некоторых других физико-механических характеристик бетонов были приведены нами в предыдущем номере журнала. Количество уравнений при проектировании состава бетона подбирается в зависимости от числа задаваемых (требуемых) параметров качества бетона. Параметр d_{max} задается из технологических соображений.

Для решения системы уравнений с n неизвестными параметрами состава бетона необходимы n уравнений. Причем можно решить уравнения с меньшим количеством неизвестных, задаваясь одним (или двумя) параметрами состава бетона вместе с требуемыми механи-

ческими или структурными характеристиками. Для расчета параметров состава бетона используется компьютерная программа.

Для оценочного расчета можно рекомендовать графическую форму зависимости (1) между K_{IC} и V/C , C и K_{la} (рис. 1.2 и 3), при этом величина K_{IC} связывается с долговечностью по формуле:

$$D = -114.92 + 0.0032C^2 - 166800d_{max}^2 - 0.802C + 1082.8(V/C) + 54.89K_{la} + 20420.7d_{max} - 3.014C \cdot (V/C) - 16.747C \cdot d_{max} - 13933K_{la} \cdot d_{max} \quad (4)$$

Библиографический список

1. Гузев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. — Брест, БПИ, 1999. — 218 с.
2. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. — Тбилиси, Энергия, 1998. — 318 с.

Влияние нефтепродуктов на некоторые деформативные свойства бетона при кратковременном нагружении

Деформативность пропитанного нефтепродуктами бетона при кратковременном нагружении исследовалась на призмах размером 7x7x28 см из бетона состава 1:2:4 при В/Ц = 0,5. Изготовленные образцы после четырехмесячного твердения в нормально-влажностных условиях и последующего выдерживания в лабораторных условиях до постоянной массы распределяли на 6 равных партий, 5 из которых помещали в разные емкости для пропитки минеральным маслом И-30, топочным мазутом, дизтопливом, осветительным керосином и бензином А-80, а одна хранилась в воздушных условиях.

После полной пропитки образцов указанными выше нефтепродуктами, а она продолжалась в течение 5 мес и контролировалась взвешиванием, часть их извлекали из емкостей, протирали ветошью и подвергали испытанию. По результатам испытания образцов в соответствии с рекомендациями обобщенной методики исследования прочностных и деформативных характеристик бетона [1] определяли: коэффициент поперечной деформации; дифференциальный коэффициент поперечной деформации; удельные поперечные деформации; изменение объема бетона при нагружении.

На рис. 1 приведены графики изменения продольных и поперечных деформаций контрольных и пропитанных маслом И-30 призм от напряжений осевого сжатия и уровня напряжений. Заметим, что призмная прочность испытываемых элементов была одинаковой и равнялась 30,6 МПа. Из полученных данных следует, что у пропитанного маслом бетона продольные деформации меньше, а поперечные значительно больше, чем у контрольного.

Объяснить это можно тем, что в пропитанном нефтепродуктами бетоне поры и капилляры заполнены практически несжимаемой жидкостью, которая при внешних сжима-

ющих воздействиях оказывает сопротивление деформированию образца по направлению действия силы и в то же время способствует деформированию его в поперечном направлении, поскольку она давит во всех направлениях с равной силой.

Изменение коэффициентов поперечной деформации и дифференциальных коэффициентов поперечных деформаций контрольного и пропитанного маслом бетона от напряжений осевого сжатия и уровня напряжений показано на рис. 2. Из него видно, что коэффициент поперечной деформации пропитанного маслом бетона (v_M) почти в 2 раза больше соответствующего коэффициента контрольного бетона (v_K). Также из него следует, что отклонение графиков Δv_K и Δv_M и даже v_K и v_M от приблизительно постоянного значения для пропитанного минеральным маслом бетона начинается раньше, чем для контрольного. Если для последнего отклонение в сторону увеличения Δv_K происходит на уров-

не напряжения в бетоне, примерно равном $(0,45 - 0,5) R_{np}$, то в пропитанном маслом бетоне — $(0,33 - 0,4) R_{np}$.

На рис. 3 приведены графики изменения удельных поперечных деформаций контрольного и пропитанного минеральным маслом бетона от напряжений осевого сжатия и уровня напряжений. Также и здесь заметное отклонение графика удельных поперечных деформаций контрольного бетона от приблизительно постоянного значения начинается после уровня напряжений, равного $0,5 R_{np}$, а аналогичного графика пропитанного минеральным маслом бетона после уровня $0,39 R_{np}$. Следовательно, можно считать, что нижняя граница образования микротрещин в пропитанном минеральным маслом бетоне имеет меньшую величину по сравнению с аналогичной границей контрольного бетона. Поэтому если принять нижнюю границу для контрольного бетона при $\sigma/R_{np} = 0,5$ за 100%, то соответствующая граница для пропитанно-

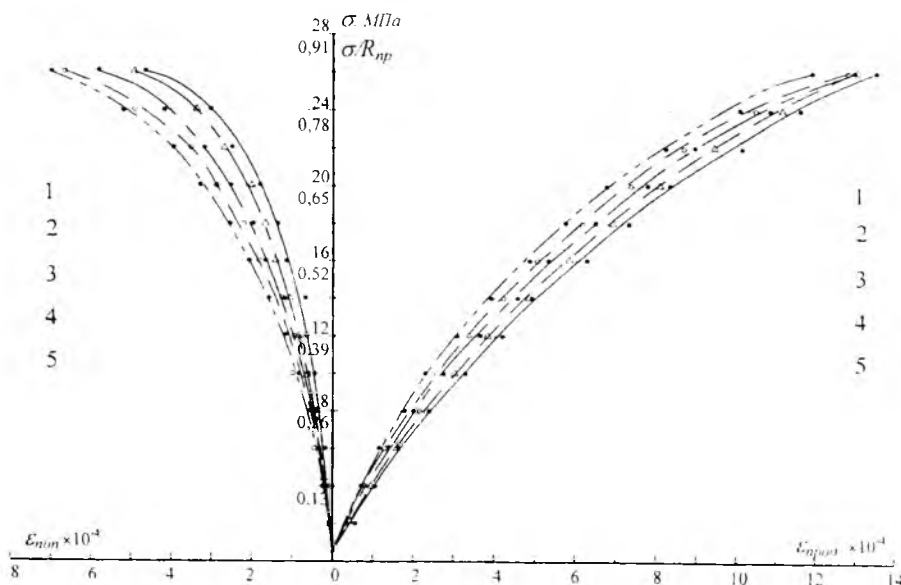


Рис. 1. Зависимость линейных деформаций (продольных — $\epsilon_{прод}$ и поперечных $\epsilon_{поп}$) от напряжений (σ) и уровней напряжений (σ/R_{np}) осевого сжатия в контрольном и пропитанном нефтепродуктами бетоне

1 — бетон контрольный; 2 — бетон, пропитанный керосином; 3 — то же, дизтопливом; 4 — то же, маслом И-30; 5 — то же, мазутом

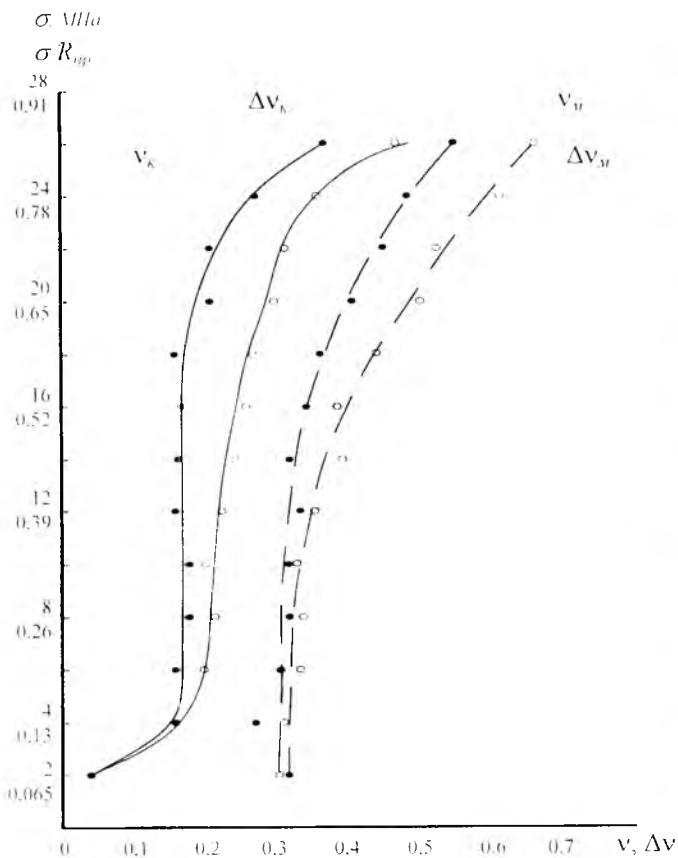


Рис. 2. Зависимость коэффициентов поперечной деформации (v) и дифференциальных коэффициентов поперечной деформации (Δv) от уровней напряжений осевого сжатия (σ/R_{sp}) и величины напряжений (σ) в контрольном и пропитанном маслом бетоне

го минеральным маслом бетона будет на 20 % меньше.

Рис. 4 иллюстрирует, что с увеличением нагружения образцов внешний объем их уменьшается, а затем наступает резкое отклонение графиков к оси ординат. Это указывает на то, что сокращение объема бетона прекратилось, и началось увеличение. Причем для пропитанного минеральным маслом бетона график объемных деформаций даже пересекает ось ординат, что свидетельствует о том, что объем образца стал несколько больше исходного, т.е. того, который был до нагружения.

По мнению В. Н. Ярмаковского*, наиболее объективным методом

* Ярмаковский В. Н. Исследование физико-механических характеристик бетона при воздействии статических и динамических нагрузок и агрессивной среды в сочетании с периодическим замораживанием и оттаиванием. Дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – М.: НИИЖБ, 1971.

Рис. 4. Зависимость объемных деформаций (θ) от напряжений осевого сжатия и уровней напряжений в контрольном и пропитанном маслом бетоне
 — контрольный бетон; - - - - - пропитанный маслом бетон

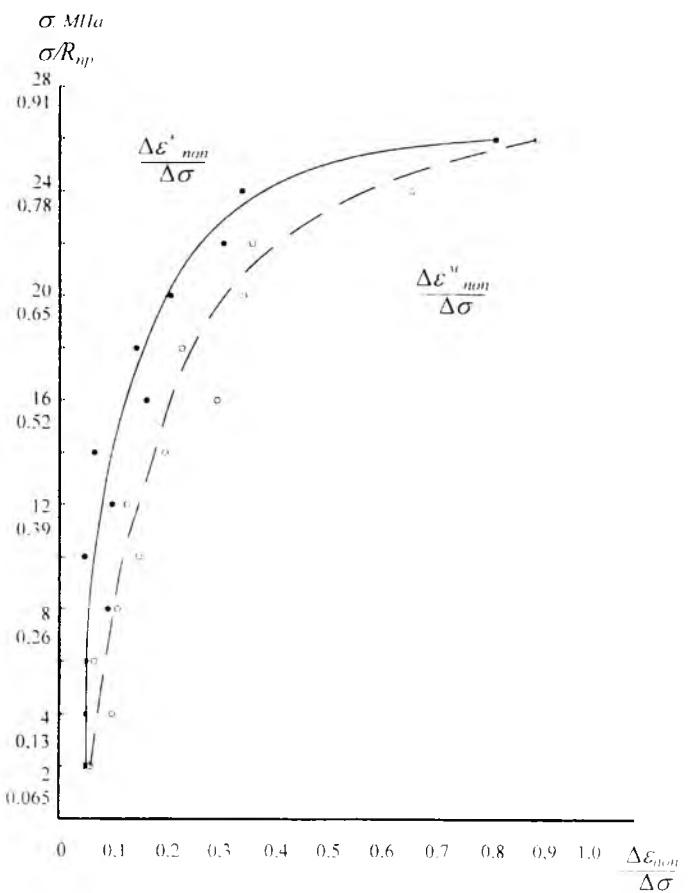
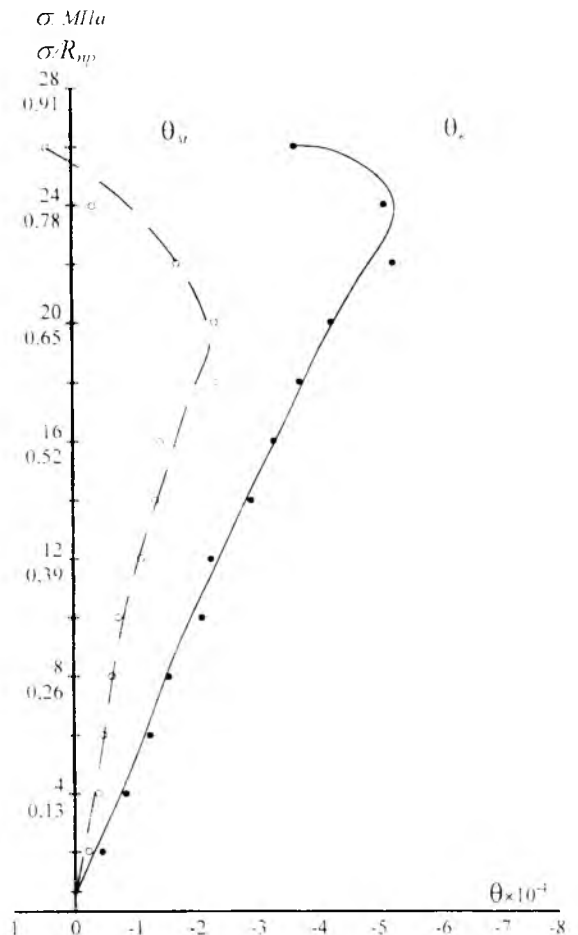


Рис. 3. Зависимость удельных поперечных деформаций контрольного и пропитанного маслом бетона от напряжений осевого сжатия и уровня напряжений



определения верхних границ микротрещинообразования бетона является нахождение точек или участков перегиба линий, характеризующих изменение деформаций бетона в зависимости от напряжений или уровня напряжений. На графиках рис. 4 указанные перегибы имеют место на уровне нагружения $(0,75-0,8) R_{пр}$ для контрольного бетона и $(0,6-0,65) R_{пр}$ – для образца, пропитанного минеральным маслом, т.е. верхняя граница микротрещинообразования последнего также ниже

по сравнению с контрольным бетоном.

Выводы

1. При кратковременном сжимающим нагружении продольные деформации пропитанного машинным маслом бетона, по сравнению с контрольным, уменьшаются, а поперечные вырастают.

2. Деформативные характеристики пропитанного нефтепродуктами бетона, по которым можно опреде-

лять границы области возникновения и развития микротрещин, значительно отличаются от контрольного. При пропитке бетона минеральным маслом И-30:

- коэффициент поперечной деформации при $\sigma = 0,3 R_{кр}$ на 72 % больше контрольного;
- дифференциальный коэффициент поперечной деформации на 57 % больше;
- удельные поперечные деформации на 78 % больше;
- объемные деформации на 158 % меньше.

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

М.Б.ЛАПИН, инж. (НИИЖБ)

Компьютерный расчет кривой диаграммы растяжения

В практике проектирования железобетонных конструкций используется много различных видов высокопрочной стержневой проволоки и канатов. Для расчета железобетонных конструкций с учетом диаграммы работы материалов требуется достаточно достоверное математическое выражение этих диаграмм.

В настоящее время за рубежом широкое применение нашла стабилизированная проволочная арматура (СПА), которую используют в наиболее ответственных преднапряженных железобетонных конструкциях. Стабилизированные канаты и проволоку характеризуют высокие прочностные и упругие свойства (временное сопротивление $\sigma_B \geq 1770 \text{ Н/мм}^2$, условный предел текучести $\sigma_{0,2} \geq 1670 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,02} \geq 1470 \text{ Н/мм}^2$) при гарантированном полном удлинении перед разрывом не менее 3,5% [1].

Целью проведенных в лаборатории арматуры НИИЖБ исследований являлось создание программного комплекса по расчету набора значений, теоретически определяющих свойства растяжения и релаксации. Преобладающими образцами для экспериментов являлись стабилизированные проволока и канаты.

Общепризнанно, что существующие в России компьютерные методы расчетов различных графиков, зависимостей и т.п. не в полной мере отвечают потребностям многих инженеров и проектировщиков. В настоящее время порой бывает очень трудно рассчитать какую-либо математическую величину, зависящую от нескольких параметров, не прибегая к помощи вычислительной машины. Особенно, когда в уравнении присутствует степень. А еще труднее в случае, когда степень является одной из неизвестных. Именно таким случаем является теоретический расчет кривой растяжения.

На сегодняшний день существует множество подходов к теоретическому расчету процесса растяжения. Из всех найденных нами подходов большинство по различным причинам непригодны для комплексного решения задачи работы арматуры в составе железобетонного элемента с учетом реологических свойств и факторов упрочнения стали. Однако имеются наиболее подходящие подходы [2, 3] для компьютерного расчета, включающие в себя только системы уравнений и не имеющие таких моментов в расчете, которые зависят исключительно от опытного видения ситуации. Эти методы описаны и скомбинированы в один универсальный подход-метод [4], который принят нами как самый подходящий для создания на его базе компьютерного расчета.

График кривой разбивается на четыре области [4], в каждой из которых существует своя зависимость (рис. 1).

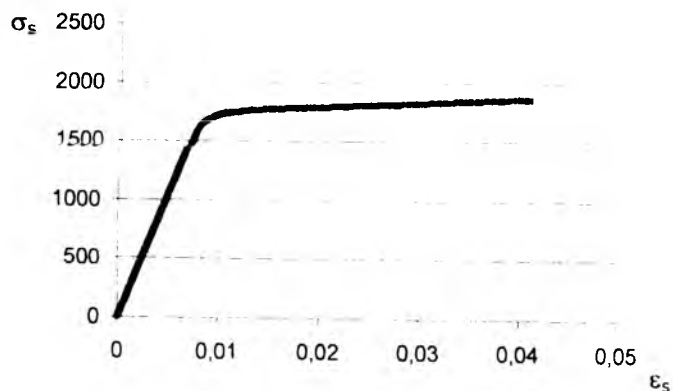


Рис. 1 Диаграмма растяжения стабилизированных трехпроволочных канатов из проволоки диаметром 3 мм

При: $0 \leq \sigma_s \leq \sigma_{el}$ $\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$

при $\sigma_{el} \leq \sigma_s \leq \sigma_{0,2}$: $\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - \eta_1 \right)^{n_1}$

при $\sigma_{0,2} \leq \sigma_s \leq \sigma_{0,5}$:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - \eta_1 \right)^{n_1} + m_2 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - 1 \right)^{n_2}$$

при $\sigma_{0,5} \leq \sigma_s \leq \sigma_s$:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - \eta_1 \right)^{n_1} + m_2 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - 1 \right)^{n_2} + m_3 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{0,2}} - \eta_3 \right)^{n_3}$$

где $m_1 = \frac{0,002}{(1 - \eta_1)^{n_1}}$; $m_2 = \frac{0,005 - m_1(\eta_3 - \eta_1)^{n_1}}{(\eta_3 - 1)^{n_2}}$;

$$m_3 = \frac{\delta_p - m_1(\eta_4 - \eta_1)^{n_1} - m_2(\eta_4 - 1)^{n_2}}{(\eta_4 - \eta_3)^{n_3}}$$

где $\delta_p = \delta_n - \sigma_s / E_s$.

В случае, когда арматура уже известна и для нее уже подобраны степени членов уравнения, то все достаточно несложно. Нужно взять калькулятор и рассчитать характерные точки для построения кривой. Проблема возникает в том случае, когда свойства исследуемой арматуры еще не известны и, соответственно, степени не подобраны. Тогда приходится производить расчет характерных точек, поочередно меняя степени и сравнивая полученный результат с экспериментальными данными. В данном случае степень может быть от 3 до 7, и число неизвестных степеней равно трем.

Программа рассчитана на расчет неизвестных степеней, а также на обыкновенный просчет характерных точек кривой. Код приложения написан на языке высокого уровня программирования Borland Delphi 5.0 (Build 5.62). Программа состоит из одного модального окна, 4 процедур и отдельного модуля, включающего в себя основной расчет.

Для этого в программе существует два режима расчета:

1. Случай, когда степени неизвестны.
2. Случай, когда степени известны.

Количество полей для входных данных всегда одинаково и равно 9.

Поля такие: σ_{el} ; $\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,5}$; σ_B ; E_A ; δ_p ; σ .

В режиме, когда степени неизвестны, необходимо ввести $\sigma_{0,1}$; $\sigma_{0,3}$; $\sigma_{2,0}$.

В режиме, когда степени известны, необходимо ввести N_1 ; N_2 ; N_3 .

Теоретический расчет кривой растяжения

σ_{el} <input style="width: 80%;" type="text" value="1725"/>	<input type="checkbox"/> Известны степени
$\sigma_{0,2}$ <input style="width: 80%;" type="text" value="1949"/>	$\sigma_{0,1}$ <input style="width: 80%;" type="text" value="1924"/>
$\sigma_{0,5}$ <input style="width: 80%;" type="text" value="2011"/>	$\sigma_{0,3}$ <input style="width: 80%;" type="text" value="1970"/>
σ_B <input style="width: 80%;" type="text" value="2131"/>	$\sigma_{2,0}$ <input style="width: 80%;" type="text" value="2100"/>
E_A <input style="width: 80%;" type="text" value="2120000"/>	δ_p <input style="width: 80%;" type="text" value="0,05"/>

n1=0.885; n2=1.000; n3=1.032; n4=1.093
N1=6; N2=1; N3=1

Посчитать

Рис.2 Рабочее окно программы расчета

Для переключения режимов необходимо установить или снять флаг "Известны степени". При установленном флаге включается режим, когда степени известны (рис. 2).

После того, как все поля заполнены, активизируется кнопка "Посчитать", при нажатии на которую в правой части формы приложения указывается информация о степенях (если используется режим, когда степени неизвестны), η_{1-4} и m_{1-3} . При режиме, когда степени известны, дополнительно рассчитывается значение удлинения при заданном напряжении σ .

Данный компьютерный метод расчета позволяет существенно уменьшить время кропотливой работы с калькулятором (до 20 раз), а также повысить точность результатов – ошибки или мелкие неточности, связанные с округлением, полностью исключены.

Практика применения изложенного подхода показывает, что в наибольшей степени его преимущества проявляются при проведении большого количества экспериментов, а также при взаимодействии с другой прикладной программой – "Расчет релаксации", разработанной для расчета $P_{0,02}$ - $P_{0,5}$ и построения графика в процессе эксперимента.

Библиографический список

1. Короткий А.С., Бедарев Н.В. Свойства стабилизированных арматурных канатов и проволоки//Бетон и железобетон. – 2001. – №1. – стр. 9-10
2. Байков В.Н., Мадатян С.А., Дудолодов Л.С., Митасов В.М. Об уточнении аналитических зависимостей диаграмм растяжения арматурных сталей// Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1983. №9 – С. 1-5.
3. Мадатян С.А., Федоров Д.А. Влияние преднапряжения на диаграмму растяжения арматуры класса К-7// Бетон и железобетон. – 1990. - №10 – С. 26-28.
4. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. – М., 2000.

С.Б.КРЫЛОВ канд.техн.наук (НИИЖБ)

Уравнение поперечного и продольного изгиба железобетонного стержня с учетом ползучести бетона

При деформировании железобетонных элементов ползучесть проявляется в более сложной форме, чем при деформировании бетонных образцов при одноосном сжатии. Это связано с неоднородностью напряженного и деформированного состояния бетона в сечении элемента, а также с неоднородностями самого материала (наличие трещин, армирования). Из-за сложности проявления ползучести в большинстве современных теорий расчета железобетонных стержневых конструкций применяются не вполне строгие подходы к построению уравнений изгиба.

Проведенные в НИИЖБе исследования позволили построить уравнения изгиба в наиболее строгой форме в рамках теории стержневых систем. При этом все сложные явления, связанные с ползучестью, учитывались не на стадии описания работы отдельного волокна, а интегрально, для всего сечения в целом. Окончательные уравнения представлены не в виде уравнений для упругого материала (метод упругих решений), а в виде уравнений для упруго-ползучего тела.

При выводе уравнения изгиба принимались обычные предпосылки стержневой теории. Материал рассматривался как однородный и обладающий симметрией упругости и ползучести при растяжении и сжатии. Характеристики упругости и ползучести подбираются в зависимости от продольной силы N и изгибающего момента M в данном сечении так, чтобы кривизна оси расчетной модели совпадала с кривизной оси железобетонного стержня в той же точке. Правило знаков принималось в соответствии с расчетной моделью (см. рисунок).

Для произвольного сечения стержня можно составить два уравнения равновесия

$$\int_{\Phi} \sigma dF = N \quad (1)$$

$$\int_{\Phi} \sigma \cdot y dF = -M$$

где dF – элемент площади; Φ – область интегрирования, соответствующая данному поперечному сечению.

Для перехода от напряжений к относительным деформациям воспользуемся уравнением линейной теории ползучести (в форме закона релаксации). Под ядром релаксации будем понимать некоторое усредненное по всему сечению ядро, а для участка с трещинами оно будет усредненным еще и по длине участка между трещинами. Очевидно, что такое ядро не будет

совпадать с соответствующими ядрами, используемыми при описании ползучести бетона. Тем не менее проведенные исследования показывают, что такое ядро удастся построить на основании известных ядер теории ползучести бетона.

В соответствии с изложенным запишем уравнение следующим образом:

$$\sigma(t) = \varepsilon(t)E(t) - E(t) \int_{t_0}^t \varepsilon(\tau) \cdot RS(t, \tau) d\tau \quad (2)$$

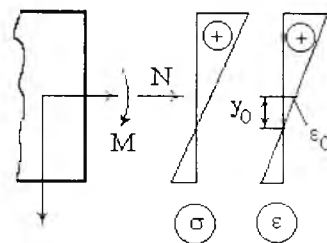
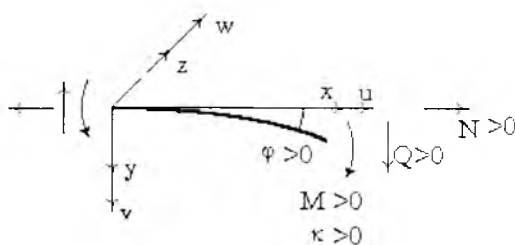
где $RS(t, \tau)$ обозначено ядро релаксации, относящееся к сечению в целом (на некотором участке длины стержня).

С учетом сделанных замечаний и допущений подставляем выражение для напряжений (2) в уравнения (1)

$$\int_{\Phi} \left[E(t)\varepsilon(t) - E(t) \int_{t_0}^t \varepsilon(\tau)RS(t, \tau) d\tau \right] dF = N$$

$$\int_{\Phi} \left[E(t)\varepsilon(t)y - E(t)y \int_{t_0}^t \varepsilon(\tau)RS(t, \tau) d\tau \right] dF = -M$$

Для перехода от относительных деформаций к кривизне воспользуемся законом плоских сечений (см. рисунок)



Расчетная модель

$\varepsilon = -k \cdot (y - y_0)$,
 где y_0 – координата оси, соответствующая нулевым относительным деформациям, зависящая от t при меняющихся во времени N и M .

Подставляем это выражение для ε в последнюю систему уравнений и интегрируем по dF . В том случае, когда оси в сечении совмещены с его центром тяжести, статические моменты обращаются в ноль и система приобретает следующий вид:

$$E(t)k(t)y_0(t)F - E(t)F \int_{t_0}^t k(\tau)y_0(\tau)RS(t, \tau)d\tau = N \quad (3.a)$$

$$-E(t)k(t)J + E(t)J \int_{t_0}^t k(\tau)RS(t, \tau)d\tau = -M \quad (3.б)$$

Система уравнений (3.а, 3.б) содержит две неизвестные величины $k(\tau)$ и $y_0(\tau)$. Причем во второе уравнение входит только кривизна $k(\tau)$. Поэтому это уравнение достаточно для описания изгиба стержня. Первое же уравнение может быть использовано для вычисления $y_0(\tau)$.

Ядро релаксации RS вычисляется из условий наилучшего соответствия уравнения изгиба экспериментальным данным или соответствующим аналитическим зависимостям для некоторой известной (ключевой) истории нагружения. При этом по экспериментальным или аналитическим данным для ключевого нагружения строится функция $k(M, t)$, построенная поверхность делится на участки, которые в направлении координаты M в любом временном сечении $t = \text{const}$ описываются линейной функцией (точно или приближенно). Соответственно, в направлении координаты t при $M = \text{const}$ каждый участок описывается нелинейной функцией.

В результате проведенных исследований для каждого i -го участка было предложено следующее наиболее универсальное выражение для ядра релаксации

$$RS_i(t^*, t, \tau) = B \cdot R(t, \tau) + C_i \cdot \delta(t, \tau) + A_i \cdot \delta(t^*, t^*) \quad (4)$$

Здесь B – неизвестная постоянная, которая является общей для всех линейных по M участков поверхности “ k - M ”; C_i и A_i – неизвестные постоянные, которые принимают разные значения на каждом i -м линейном по M участке. Слагаемое, содержащее A_i , создает недостающий резкий подъем поверхности, изображающей RS в момент перехода на новый кусочно-ли-

нейный по M участок зависимости “ k - M ”. Слагаемое, содержащее C_i , создает недостающий крутой подъем вдоль оси $t = \tau$.

Подстановка ядра (4) в формулу (3.б) с учетом условий стыковки отдельных частей поверхности $k(M, t)$ приводит к следующему уравнению:

$$\begin{aligned} & E(t)J(k(t, x) - k_{0i}(t)) - \\ & - E(t)J \cdot B \int_{t_0}^t (k(\tau, x) - k_{0i}(\tau))R(t, \tau)d\tau - \\ & - E(t)J \cdot C_i \cdot (k(t, x) - k_{0i}(t)) - \\ & - E(t)J \cdot A_i \cdot (k(t_0, x) - k_{0i}(t_0)) = \\ & = M(t, x) - M_{0i}(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $M_{0i}(t)$ и $k_{0i}(t)$ – начальная точка координатной системы i -го линейного участка; время t_0 – фиксированное, соответствует переходу на i -тый линейный участок.

Заменяем кривизну $k \approx \partial^2 v(x, t) / \partial x^2$ и затем дважды дифференцируем полученное уравнение для перехода к дифференциальному уравнению 4-го порядка, после преобразований окончательно получаем следующее уравнение изгиба:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^4 v(t, x)}{\partial x^4} (1 - C_i) - B \int_{t_0}^t \frac{\partial^4 v(\tau, x)}{\partial x^4} R(t, \tau)d\tau - \\ & - A_i \cdot \frac{\partial^4 v(t_0, x)}{\partial x^4} = \frac{1}{E(t) \cdot J} \frac{\partial^2 M(t, x)}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (6)$$

В ряде случаев возможно также использование дифференциального уравнения по переменной x второго порядка.

Полученное уравнение (6) позволяет выполнить четыре граничных условия, меняющихся во времени. Оно также позволяет корректно описать поведение стержневой конструкции при скачкообразном изменении нагрузки в некоторый момент времени, а также при нелинейном изменении механических свойств материала, например, при возникновении трещин (путем изменения величин A_i, C_i). Проведенное сопоставление решения уравнения (6) с опытными данными для балок на двух шарнирных опорах под действием поперечных сосредоточенных сил, вызывающих появление трещин, показало высокую степень совпадения теоретических и опытных результатов.

Уважаемые читатели!

Завершается подписка на журнал "БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН" на первое полугодие 2004 г.

Сведения о подписке содержатся в Объединенном каталоге (он зеленого цвета) "Пресса России" (стр. 189).

Подписной индекс 70050.

Подписка принимается во всех отделениях связи без ограничений.

Тел. для справок 292-6205, 703-9762.

Напряженное состояние элементов конструкций атомной техники с трещинами

Элементы конструкций атомной техники работают при высоких температурах, в условиях облучения и при наличии химически активных сред. Жесткие условия эксплуатации сопровождаются необратимыми изменениями теплофизических, механических и прочностных характеристик используемых материалов. Обеспечение безопасности эксплуатации и продление ресурса оборудования энергетических установок тесно переплетается с анализом напряженно-деформированного состояния наиболее ответственных элементов конструкций. Наличие трещин в корпусах и оборудовании энергетических установок ведет к повреждению материала за счет физико-химических процессов при высокой температуре. Современные методы контроля позволяют выявлять дефекты типа трещин еще на стадии изготовления изделий. Однако трещины могут быть пропущены при контроле или зарождаться в сложных условиях эксплуатации. Такие дефекты в поле напряжений растяжения (силовых или температурных) являются концентраторами напряжений. В окрестности вершины трещины ускоряются диффузионные процессы, снижается энергия разрушения и появляется возможность развития трещины до критической длины. Ее дальнейшее распространение приобретает катастрофический характер, то есть происходит разрушение элемента конструкции. Поэтому вопросам поведения трещин в элементах конструкций всех видов техники уделяется исключительно серьезное внимание. Об этом свидетельствуют многочисленные монографии и исследования различных авторов [1-6].

Актуальность этого направления исследований для энергетических установок обусловлена многими причинами. Во-первых, наличие концентраторов напряжений типа трещин активизирует протекание химических реакций на поверхности изделий (например, окисление и коррозионное растрескивание). Во-вторых, для типичных конструктивных схем атомной техники характерно наличие концентраторов напряжений, приводящих к возникновению и развитию трещин (например, место соединения патрубка с корпусом). И, наконец, до сих пор остается без ответа важнейший вопрос механики и физики разрушения: каковы предельные размеры трещин для конкретного материала при заданных условиях эксплуатации? Известно, что любой материал содержит структурные дефекты, которые определяют неповторимость и своеобразие свойств материала. Все конструкции эксплуатируются при наличии дефектов, среди которых трещины имеют особое значение. Поэтому изучение эксплуатационных возможностей элементов конструкций как из однородных, так и неоднородных материалов типа железобетона при наличии дефектов типа трещин представляет несомненный интерес для обеспечения ресурса и безопасности работы энергетических установок.

Одной из важнейших характеристик трещины любой конфигурации является коэффициент интенсивности напряжений. Рассмотрим, в частности, поле напряжений в окрестности эллиптического отверстия. Соотношения для определения напряжений имеют вид [7]

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= K_1 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2}\theta \right); \\ \sigma_{yy} &= K_1 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2}\theta \right); \\ \sigma_{xy} &= K_1 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2}\theta,\end{aligned}\quad (1)$$

где r и θ - полярные координаты. Величина $K_1 = \sigma \sqrt{\pi l}$ называется коэффициентом интенсивности напряжений (σ - напряжение растяжения, l - полудлина эллиптической трещины). Эта характеристика зависит от свойств материала. Такая зависимость вводится из энергетических соображений.

При продвижении вершины трещины совершается работа и происходит высвобождение упругой энергии. Из равенства указанных характеристик определяется критическая длина трещины и ее зависимость от плотности поверхностной энергии разрушения γ

$$\sigma \sqrt{\pi l_*} = \sqrt{2E\gamma}, \quad (2)$$

где l_* - критическая полудлина трещины, E - модуль Юнга, γ - плотность поверхностной энергии разрушения.

Величина $K_{1c} = \sqrt{2E\gamma}$ называется вязкостью разрушения. Она определяется экспериментально и считается постоянной для конкретного материала. Размерности коэффициента интенсивности напряжений и вязкости разрушения совпадают. Сопротивление хрупкому разрушению элементов конструкций считается обеспеченным, если для каждой точки фронта трещины выполняется условие: $nK_1 < K_{1c}$, где n - коэффициент запаса прочности. Величина K_{1c} не является строго определенной, а зависит от температуры и конфигурации трещины. Поэтому условие обеспечения хрупкой прочности следует рассматривать как некоторый вероятностный процесс, поскольку продвижение трещин и разрушение осуществляются по наиболее слабому участку материала.

Определение коэффициента интенсивности напряжений является весьма сложной задачей. Такая сложность обусловлена тем, что величина K_1 существенно зависит от типа трещины и распределения внешних

нагрузок (силовых или температурных). Существуют различные теоретические подходы определения коэффициента интенсивности напряжений для статических и динамических задач. Предполагается, что площадь эллиптической трещины мала по сравнению со всей площадью поперечного сечения рассматриваемого элемента. Поэтому в соответствии с принципом Сен-Венана перераспределение напряжений происходит лишь в малой окрестности ее вершины. На некотором расстоянии от вершины поле напряжений остается неизменным, так как оно определяется деформациями сплошного элемента конструкции. Таким образом, коэффициент интенсивности напряжений в экспериментальной трактовке следует рассматривать как различие в напряженных состояниях материала с трещиной и без нее. Отсюда вытекает возможность применения аналогового метода для его определения [8,9].

Пусть эллиптическая трещина расположена в длинном тепловыделяющем цилиндре произвольного поперечного сечения. Это соответствует состоянию плоской деформации. Функция напряжений для стационарного случая находится из решения бигармонического уравнения

$$\Delta \Delta F = \frac{\alpha E q_v}{(1-\nu)\lambda}, \quad (3)$$

где α - коэффициент линейного расширения, E - модуль Юнга, q_v - мощность внутреннего тепловыделения, ν - коэффициент Пуассона, λ - коэффициент теплопроводности.

На внешнем контуре функция F и ее производная принимают нулевое значение

$$F = \frac{\partial F}{\partial n} = 0. \quad (4)$$

На внутреннем контуре эллиптической трещины условия для функции F усложняются

$$F = ax + by + c, \\ \frac{\partial F}{\partial n} = a \frac{\partial x}{\partial n} + b \frac{\partial y}{\partial n}. \quad (5)$$

Постоянные a, b и c определяют из условия однозначности перемещений u, v и угла поворота ω относительно оси z . В интегральной форме они записываются так

$$\frac{1}{E} \int_{\Gamma} \frac{\partial}{\partial n} \Delta F dS = -\alpha \int_{\Gamma} \frac{\partial T}{\partial n} dS, \\ \frac{1}{E} \int_{\Gamma} \left(x \frac{\partial}{\partial S} - y \frac{\partial}{\partial n} \right) \Delta F dS = -\alpha \int_{\Gamma} \left(x \frac{\partial}{\partial S} - y \frac{\partial}{\partial n} \right) T dS, \\ \frac{1}{E} \int_{\Gamma} \left(y \frac{\partial}{\partial S} + x \frac{\partial}{\partial n} \right) \Delta F dS = -\alpha \int_{\Gamma} \left(y \frac{\partial}{\partial S} + x \frac{\partial}{\partial n} \right) T dS, \quad (6)$$

где n и S - нормаль и касательная к контуру эллиптической трещины Γ .

С точностью до обозначений плоская задача термоупругости эквивалентна задаче изгиба пластины рас-

пределенной нагрузкой, сосредоточенной силой и моментами. Последние приложены по контуру эллиптического включения модельной пластины и обеспечивают "перемещение" и "вращение" контура как единого целого. Это соответствует однозначности перемещений и угла поворота термоупругой задачи. Соответствие между функциями напряжений и прогиба определяется соотношением $[F] = [\chi w]$, F - функция напряжений, w - функция прогиба, χ - коэффициент пропорциональности для сохранения размерности. Из уравнения (3) получаем распределенную нагрузку для модельной пластины

$$P(x, y) = \frac{\alpha E D \chi^{-1} q_v}{(1-\nu)\lambda}, \quad (7)$$

где D - жесткость пластины.

Граничные условия на внешнем контуре пластины

$w = \frac{\partial w}{\partial n} = 0$ обеспечивают его жесткое защемление. Из граничных условий на внутреннем контуре эллиптической трещины (соотношение (6)) определяем сосредоточенную силу и моменты для нагружения модельной пластины

$$P = -\alpha D E \chi^{-1} \int_{\Gamma} \frac{\partial T}{\partial n} dS, \\ M_x = -\alpha D E \chi^{-1} \int_{\Gamma} \left(x \frac{\partial}{\partial S} - y \frac{\partial}{\partial n} \right) T dS, \quad (8) \\ M_y = -\alpha D E \chi^{-1} \int_{\Gamma} \left(x \frac{\partial}{\partial S} + y \frac{\partial}{\partial n} \right) T dS.$$

Нагружение модельной пластины осуществляют следующим образом. Во внутренний контур пластины вставляют невесомое жесткое включение и к нему прикладывают силу и моменты согласно соотношениям (8). Поле модельной пластины вне жесткого включения нагружают распределенным давлением (соотношение (7)). Внешний контур пластины жестко защемлен. Измеряемые с помощью тензорезисторов поверхностные деформации около вершины эллиптической трещины позволяют определить концентрацию термонапряжений. Другую модельную пластину идентичной конфигурации (без трещины) нагружают таким же распределенным давлением и определяют компоненты термонапряжений в той же точке. Для коэффициента интенсивности напряжений получаем приближенное выражение

$$K_I = (\sigma_1 - \sigma_2) \sqrt{\pi l}, \quad (9)$$

где σ_1 и σ_2 - компоненты тензора термонапряжений в системе с трещиной и без нее.

Значения σ_1 и σ_2 определяют экспериментально путем измерения поверхностных деформаций на модельной пластине с помощью тензорезисторов.

Определение термонапряжений в окрестности трещины на основе термомеханической аналогии осложняется тем, что жесткое включение имеет конеч-

ные размеры и форму эллипса. Для максимального напряжения у вершины эллипса имеется точное решение [3]

$$\sigma_y^* = p \frac{3 - 2m - m^2}{(1 - m)^2}, \quad (10)$$

где p – растягивающее напряжение, $m = (1 - \beta)/(1 + \beta)$, $\beta = b/a$ – отношение полуосей эллипса. Если $\beta = 1$, то $\sigma_y^* = 3p$ (концентрация напряжений в круге).

Для $\beta = 0$ (трещина в виде разреза) получаем асимптотическое приближение

$$\bar{\sigma}_y = \frac{\bar{K}_1}{\sqrt{2\pi(x - \ell)}}, \quad (11)$$

где $\bar{\sigma}_y = \frac{\sigma_y}{p}$, $\bar{K}_1 = \sqrt{\pi R}$, $R = \frac{a}{1 + m}$. При $m \rightarrow 1$ имеем

$$\bar{\sigma}_y^* = 2 \frac{1 + m}{1 - m}. \quad (12)$$

Отношение $\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_y^*}$ при $x = a = l + \rho$ (ρ – радиус кривизны

эллипса, l – полудлина трещины в виде разреза, a – большая полуось эллипса) определяется выражением

$$\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_y^*} = \frac{(1 + \beta)^{1/2}}{2\sqrt{2}\beta}. \quad (13)$$

Отсюда получаем рабочую формулу для определения истинного коэффициента интенсивности напряжений

$$K_1 = \frac{(1 - m)^{1/2}}{2(1 + m)\beta} \sigma_y^* \sqrt{2\pi\rho}. \quad (14)$$

Значения σ_y^* и ρ соответствуют термомеханичес-

кой модели эллиптической трещины. При этом отно-

шение $\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_y^*}$ не зависит от вида нагрузки, а только от

формы эллиптического включения. Оценки показыва-

ют, что для $\beta = 0,1$ $\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_y^*} = 1,17$. Это означает, что напря-

жения у вершины эллиптической трещины отличаются от напряжений у вершины трещины в случае разреза на 17% (на расстояние ρ от вершины). Поэтому аналогичный метод определения коэффициента интенсивности напряжений может быть распространен на трещины произвольной формы.

Библиографический список

1. Партон В.З., Борисовский В.Г. Динамика хрупкого разрушения. - М.: Машиностроение, 1988. – 237 с.
2. Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения. - М.: Металлургия, 1977. – 360 с.
3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения - М Наука, 1974. – 640 с.
4. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. - М.: Наука, 1985. – 504 с.
5. Болотин В.В. Объединенные модели в механике разрушения. - Изв. АН СССР, МТТ, 1984, № 3, с 127-137.
6. Борисовский В.Г. Анализ коэффициентов интенсивности напряжений в колеблющейся пластине с трещиной методом конечных элементов. - ПММ, 1979, № 4, с.764-768.
7. Тараторин Б.И. Прочность конструкций атомных станций. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 248 с.
8. Никулин А.А., Иванов А.С., Гудына Д.А., Гизатулин Н.Г. Определение термонапряженного состояния с учетом различного расположения макротрещин в поперечном сечении исследуемых стержней//Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2001. — №4. — с. 41-45.
9. Иванов А.С., Пахомов А.М., Никулин А.А., Булычев А.А. Определение технологических температурных напряжений в керамических изделиях, ослабленных вырезами различной формы//Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2001. — №2. — с.53-56.

Бетон и железобетон в XXI веке

Подготовлена НИИЖБом и вышла из печати монография, посвященная современному состоянию и перспективам развития железобетона в строительстве.

Железобетон, 150-летие со дня изобретения которого отмечалось совсем недавно, стал в настоящее время строительным материалом номер один. По оценкам, в мире ежегодно применяется свыше 3 млрд. м³ бетона и железобетона.

В монографии, состоящей из 7 глав, на основе обобщения отечественного и зарубежного опыта отражены вопросы, связанные с изучением свойств бетонов на плотных заполнителях, легких бетонов, спецбетонов, арматуры, в том числе неметаллической, изложена теория сопротивления бетона и железобетона, бетонных и железобетонных конструкций, в том числе конструктивных систем гражданских и производственных зданий, пространственных конструкций.

Описано производство бетонных и железобетонных работ, в том числе изготовление специальных конструкций, показаны

проблемы повышения долговечности железобетона и др. Приведены примеры наиболее выдающихся железобетонных сооружений отечественной и мировой строительной практики. Каждая глава заканчивается оценкой перспектив развития того или иного направления.

В подготовке монографии общим объемом 45 п.л. приняли участие все подразделения и ведущие научные сотрудники института.

В редколлегиях по подготовке монографии, возглавляемую директором НИИЖБ А.И.Звездовым, вошли: К.В.Михайлов, В.Г.Батраков, Ю.С.Волков, Н.И.Карпенко, В.А.Клевцов, Б.А.Крылов, Л.А.Малинина, В.Ф.Степанова, В.Р.Фаликман.

Заявки на приобретение книги следует направлять по адресу: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д.6, НИИЖБ. Факс (095) 174-7724.

К 75-летию ГрузНИИЭГС

В нынешнем году Грузинскому научно-исследовательскому институту энергетики (бывшему ТНИСГЭИ и затем ГрузНИИЭГС) исполнилось 75 лет. Созданный в 1928 г., институт находился в ведении Министерства энергетики и электрификации СССР и был одним из ведущих научно-исследовательских центров страны. Он внес значительный вклад в дело строительства важнейших объектов гидроэнергетики Грузии, таких, например, как ЗАГЭС, РионГЭС, ХрамГЭС-1 и 2 и многих других.

В конце 30-х годов и в последующее десятилетие институт развернул широкие исследования в области рационального использования водных ресурсов Грузии, проектирования, возведения и эксплуатации энергетических объектов и т.д. В конце 50-х годов в СССР началось строительство высокоэффективных ГЭС, сооружаемых в узких створах, способствующих созданию высоких напоров и концентрации больших мощностей. В числе этих сооружений Ингурская ГЭС, которая по праву считается уникальным гидроузлом. Специалисты ГрузНИИЭГС принимали самое деятельное участие в проектировании, строительстве и эксплуатации этого гидроузла, внося существенный вклад в развитие новых эффективных методов расчета арочных плотин. Именно в эти годы в институте создаются научные школы, снискавшие впоследствии всесоюзную известность в области технологии легкого бетона и конструкций из него, предварительно напряженных конструкций и др.

Особенно следует отметить отдел железобетонных опор ЛЭП и подстанционных сооружений, который был организован еще в 1933 г. В этом отделе была разработана технология изготовления кольцевых железобетонных элементов методом центрифугирования, применяемых в качестве опор, стоек и труб. Под руководством д-ра техн. наук В.В.Михайлова и Е.Э.Михельсона

было предложено изготавливать опоры воздушных линий (ВЛ) электропередачи из отдельных относительно коротких стоек. В условиях горного рельефа, где транспортирование длинномерных элементов сопряжено с большими трудностями, это решение явилось весьма эффективным. По этой технологии было построено более 30 тыс. км линий электропередачи, участки контактных сетей и линий связи. При разработке технологии было установлено, что под действием центробежных сил арматурные стержни изгибаются и отодвигаются к краю сечения трубы. Поэтому было решено предварительно напрягать их, чтобы одновременно обеспечивалось обжатие бетона при отпуске арматуры. Это мероприятие изменило физико-механические свойства элементов труб, что послужило основанием для создания одних из первых преднапряженных железобетонных конструкций. В дальнейшем была разработана теория их расчета. Несомненным прогрессом в опоростроении явилось применение легкого железобетона для изготовления элементов опор методом центрифугирования. В институте была разработана соответствующая технология и широко внедрены легкожелезобетонные опоры на пористом заполнителе.

В институте также проводились научно-исследовательские работы по внедрению в строительство энергетических сетей конструкций из бетона на карамзите, на глинозольном гравии, зольном аглопорите и т.д. Из них построено более 20 опытных линий электропередачи и 10 открытых и закрытых подстанций. Первые анкерно-угловые опоры на базе зольного аглопорита для ВЛ напряжением 110–330 кВ были разработаны ГрузНИИЭГС в 1983–1985 гг. и установлены трестом “Западэлектросетьстрой” на ВЛ 330 кВ в Мирадино-БМЗ (г.Жлобин).

Впервые железобетонные элементы, изготовленные с золошлако-

вым заполнителем, были использованы ТНИСГЭИ при строительстве метрополитена в Москве (1936–1938 гг.) для перекрытия одной из станций. В 1979–1980 гг. ГрузНИИЭГС проведены работы по использованию золошлака в качестве заполнителя для стоек опор линий электропередачи. Такие стойки установлены на ВЛ 110 кВ в гг.Рославль-Ершичи Смоленской области.

С 1979 г. в ГрузНИИЭГС разрабатываются новые конструкции бесспиральных (без поперечного армирования) вибрированных железобетонных опор воздушных линий напряжением до 35 кВ. К настоящему времени такие опоры установлены на ВЛ общей протяженностью более 9000 км. Изучена также несущая способность железобетонных элементов и стоек ВЛ на знакопеременные многократные повторные нагрузки. Одновременно показана возможность применения стоек из легкого железобетона для опор ВЛ напряжением до 750 кВ.

В настоящее время в ГрузНИИЭГС продолжают работы по изготовлению и внедрению цельных и сборных вибрированных железобетонных стоек для ВЛ и подстанций Грузии как на обычном, так и на легком (пористом) бетоне, на местных республиканских заполнителях — Ахалкалакской и Окамской пемзе. Изучается также возможность изготовления, испытания и внедрения сборных железобетонных грибовидных фундаментов подножников под металлические опоры из бетона марки 200, что дает экономию 100 кг цемента на каждый кубометр бетона и колоссальную денежную экономию.

Институт постоянно стремится поддерживать творческие связи с крупными научно-исследовательскими, проектными и строительными организациями России. Сейчас эти контакты несколько ослабели, но есть уверенность, что в скором времени они восстановятся на благо наших взаимных интересов.

Новая книга о расчете железобетонных конструкций

Вышла в свет монография кандидата технических наук С. Б. Крылова "Расчет железобетонных конструкций методом гладко сопряженных элементов на основе точных частных решений". Книга посвящена проблеме разработки численного метода расчета, который мог бы соперничать с методом конечных элементов по точности и эффективности. Рассматриваются вопросы расчета как конструкций из идеально упругих материалов, так и конструкций, обладающих характерными нелинейными особенностями работы материала, в частности, железобетонных.

Оригинальным разделам книги предшествует краткий обзор современных методов определения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и, в частности, железобетонных конструкций (гл. 1). Здесь же рассмотрены и основные особенности метода конечных элементов, включая его недостатки, и предпосылки для поиска путей их преодоления.

Развивая идею применения аппроксимирующих функций с ограниченной областью определения, автор формулирует концепцию расчета конструкций (гл. 2), включающую в себя разбивку расчетной схемы на элементы и вычисление усилий и перемещений из условий непрерывности искомой функции и ее производных высших порядков на границах между элементами. В качестве аппроксимирующих функций в данной работе применяются точные частные решения различных задач механики твердого деформируемого тела. Предлагаемый метод распространен на ряд упругих конструкций, описываемых расчетными схе-

мами в виде стержней, тонких изотропных пластинок, массивных тел, рассматриваемых в рамках плоской и пространственной задач теории упругости. Интересны результаты расчетов пластинок предложенным методом, подтверждающие точность решения и точность выполнения условий непрерывности его производных.

В книге прослеживаются два основных направления в изложении материала. В рамках первого направления формулируется метод расчета, исследуется его точность, рассматриваются различные условия сопряжения элементов. В рамках второго направления построены точные решения ряда задач механики железобетона, которые могут служить аппроксимирующими функциями при расчете конструкций, а кроме того, представляют самостоятельный теоретический и практический интерес.

В работе получена система дифференциальных уравнений изгиба железобетонной пластинки с трещинами общего вида на основании теории деформирования железобетона с трещинами Н. И. Карпенко (гл. 3). Для расчета таких пластинок предложенным методом построены частные решения системы уравнений и исследованы свойства этих решений.

Большой раздел книги (гл. 4) посвящен решению задач о продольном и поперечном изгибе железобетонных стержневых элементов с учетом ползучести бетона и трещинообразования. В кратком обзоре рассмотрены основные современные подходы к решению задач такого рода, отмечены их сильные стороны и погрешности. Для преодоления недостатков существующих подходов автор предлагает довольно интересную теорию расчета таких конструкций, сводя задачу о деформировании тела с некоторыми приведенными характерис-

тиками к задаче о деформировании упругоползучего тела, что качественно отличается от традиционных подходов, использующих метод упругих решений. Такой подход приводит к более сложным уравнениям, по сравнению с методом упругих решений, но позволяет более адекватно описать поведение конструкции. Заслуживает внимания процедура построения приведенного ядра ползучести материала на основе линейной теории ползучести бетона и опытных или известных аналитических данных об изгибе конструкции для некоторой (произвольной) "ключевой" истории нагружения. В заключение этого раздела книги предлагается способ построения решения полученного интегродифференциального уравнения изгиба. Автор приводит сравнение полученного решения с данными об изгибе железобетонных балок из опытов В. М. Бондаренко и обнаруживает согласие теоретических результатов и опытных данных.

Еще одним интересным вопросом, рассмотренным в книге, является расчет конструкций, сводящийся в итоге к решению обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (гл. 5). Такие задачи возникают при расчете железобетонных конструкций, у которых, в силу специфики изменения по длине сжимающих усилий, меняется и жесткость (мачты, башни, дымовые трубы и т. д.). Для построения решения таких задач автор использует метод решения в степенных рядах. Известно, что этот подход позволяет получать точные решения лишь в отдельных случаях из-за ряда присущих ему ограничений. Автор рассматривает причины, затрудняющие получение точного решения в общем случае, и предлагает способы преодоления их. Для демонстрации эффективности и универсальности предложенного подхода рассмотрено несколько

* С. Б. Крылов. Расчет железобетонных конструкций методом гладко сопряженных элементов на основе точных частных решений. — М.: Стройиздат, 2003, 252 С.

ю чисто тестовых задач, а затем приведен расчет стержня переменного сечения под действием продольных и поперечных распределенных и сосредоточенных нагрузок.

По содержанию монографии имеются некоторые замечания:

было бы целесообразно расширить круг элементов, используемых в расчетах пластин и массивных тел. Так, для расчетов пластин большое практическое значение имеют треугольные элементы и элементы не-

правильной четырехугольной формы;

следовало бы привести сравнение опытных и расчетных параметров деформированного состояния железобетонных балок с учетом ползучести при сложных историях нагружения.

В заключение можно с удовлетворением отметить, что рецензируемая монография содержит ряд новых и интересных подходов к расчету железобетонных конструкций.

Она будет полезной как с теоретической, так и с практической точек зрения для широкого круга специалистов.

В.И.Морозов, проректор по инновационному и научно-техническому развитию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, д-р техн. наук, проф.

Г.Н.Шоршнев, зав.кафедрой железобетонных и каменных конструкций СПб ГАСУ, Засл. деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук., проф.

Монография о качестве отделки строительных конструкций

В московском издательстве АСВ в 2002 г. вышла в свет книга Логаниной В.И., Орентлихер Л.П. "Качество отделки строительных изделий и конструкций красочными составами". Она предназначена для научных и инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, а также для студентов строительных вузов. В книге рассмотрен широкий круг вопросов, основные из которых следующие.

Известно, что выполнение отделочных работ требует около 30% трудозатрат при строительстве. В связи с этим остро встает вопрос о повышении качества отделки, практическом применении методов управления свойствами защитно-декоративных покрытий, которое должно заключаться в разработке и внедрении различного рода мероприятий, направленных, в первую очередь, на повышение срока службы и эксплуатационных свойств покрытий, а следовательно, снижение дополнительных затрат на ремонт.

Приведенный в монографии анализ причин преждевременного "отказа" покрытий, выполненный с помощью причинно-следственной диаграммы К.Исикава, показывает, что существует около 40 факторов, определяющих качество защитно-декоративных покрытий. Основные показатели качества закладываются в процессе изготовления лакок-

расочных материалов и последующего их нанесения на отделываемую бетонную поверхность. Следовательно, качество отделки напрямую зависит от уровня организации системы качества предприятия, предусматривающей применение статистических методов управления качеством продукции.

К сожалению, в настоящее время даже в нормативной документации, касающейся вопросов отделки строительных изделий и конструкций, отсутствует информация о статистическом приемочном контроле качества окрашенной поверхности. В связи с этим авторами монографии разработан план статистического приемочного контроля по альтернативному признаку (одноступенчатый тип плана), применение которого позволит обеспечить непрерывное улучшение качества отделки.

Анализ причин разрушения покрытий, выявленный в процессе натурных обследований состояния окрашенной поверхности фасадов зданий и проведенный с помощью диаграммы Парето, показал, что список дефектов, составляющих 80% кумулятивной кривой, состоит в основном из трещин вдоль вертикального стыка по торцу здания, разнотонности окраски, отслаивания покрытий. При этом такой дефект, как трещины, идет в диаграмме Парето на первом месте и составляет 22,6–66,6% от общего числа

дефектов в зависимости от вида покрытия и числа лет эксплуатации. Для выбора оптимального красочного состава с обеспеченной трещиностойкостью покрытий рассмотрены вопросы вероятностной оценки характера разрушения покрытий. На основе статистических данных исследований когезионной и адгезионной прочности покрытий авторами построены гистограммы распределения частот, формы которых позволили выдвинуть гипотезу о нормальных распределениях для всех рассматриваемых совокупностей. Анализ полученных вероятностей позволяет отметить, что, например, для поливинилацетатцементных (ПВАЦ) покрытий примерно в 85% случаев наблюдается адгезионный характер разрушения (отслаивание) и в 15% случаев — когезионный, что приводит к необходимости проведения исследований, направленных, в первую очередь, на повышение адгезионной прочности. Полученные результаты могут быть использованы для установления критических уровней адгезионной прочности при проведении статистического приемочного контроля качества защитно-декоративных покрытий непосредственно на объектах.

Процессы старения являются необратимыми, но они протекают в течение длительного времени. Последнее обстоятельство позволяет разбить их на ряд квазистационар-

ных процессов, для которых можно применить уравнения термодинамики обратимых процессов. Разрушение системы характеризуется убылью внутренней энергии, поэтому рассматривается связь свободной энергии с внутренними напряжениями, возникающими в системе. По полученным значениям убыли свободной энергии установлено влияние конкурирующих процессов структурообразования и деструкции на кинетику свойств в процессе старения.

Под действием климатических факторов наблюдается изменение площади поверхности покрытий вследствие разрушения их поверхностных слоев. В связи с этим по мере старения взаимодействие влаги с покрытием происходит уже на более пористой и шероховатой поверхности, что приводит к изменению теплофизических параметров покрытий и кинетики процессов взаимодействия влаги с покрытием. Установлено, что по мере старения наблюдается увеличение удельной теплоты смачивания, свидетельствующее о снижении гидрофобных свойств покрытий по мере старения.

При изучении закономерностей растрескивания покрытий значительное внимание уделено роли контактного слоя "покрытие-подложка". Получены значения давления водяных паров в порах зоны контакта, незаполненных красочным составом при окрашивании, при нестационар-

ных условиях диффузии водяного пара в наружной стене. Расчет влажностного состояния стены выполнен с учетом паропроницаемости покрытий. Установлено, что величина давления воздуха в порах материала при условии, что влажность материала стены не превышает предела сорбционного, не представляет опасности для целостности большинства покрытий.

Сравнительный анализ эксплуатационной стойкости защитно-декоративных покрытий наружных ограждений, оцененной по критериям, рекомендованными нормативной и технической литературой, а также по термодинамическим показателям, дал хорошую сходимость. Последние расширяют наши представления о процессах старения покрытий и возможных методах его торможения.

При оценке стойкости защитно-декоративных покрытий для математического описания закономерностей старения применен подход, основанный на наследственной теории старения. Установлено, что покрытия обладают свойством "памяти", т.е. поведение покрытия определяется не только текущим напряженным состоянием, но всеми прошлыми напряженными состояниями с учетом релаксации, т.е. материал покрытия адекватно "запоминает" эти прошедшие воздействия на структуру и свойства. Установлено, что влияние наследственного

фактора в изменении свойств покрытий зависит от вида покрытий, продолжительности и вида старения. В зависимости от вида старения на различных его этапах скорость изменения свойств определяют различные составляющие: непосредственно деструктивное воздействие окружающей среды, предистория старения. Знание этих факторов позволяет более реально оценить стойкость покрытий. Предложены математические модели свойств покрытий, учитывающие наследственный фактор и позволяющие более достоверно определить значение показателей качества. Значительное внимание уделено влиянию первоначального уровня накопления повреждений на кинетику старения покрытий.

В книге рассмотрены также вопросы надежности покрытий. Предложена модель интенсивности "отказа" покрытий, включающая две составляющие: одна не зависящая от возраста, другая — увеличивающаяся с возрастом. Предложен ряд апробированных материаловедческих факторов повышения надежности покрытий.

А.П.Прошин, проректор по научной работе Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, Заслуженный деятель науки РФ, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Государственное унитарное предприятие Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) имеет в свободной продаже следующую литературу:

В.Г.Батраков. Модифицированные бетоны. Теория и практика, 1998. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Об. 768 стр. Цена 250 руб.

С.А.Мадатян. Арматура железобетонных конструкций, 2000. Об. 256 стр. Цена 120 руб.

А.Ф.Милованов. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре, 1968. Об. 395 стр. Цена 80 руб.

В.И.Агаджанов. Методические рекомендации по определению экономической эффективности защиты от коррозии в строительстве, 1999. Об. 15 стр. Цена 50 руб.

Н.И.Карпенко. Общие модели механики железобетона, 1996. Об. 412 стр. Цена 80 руб.

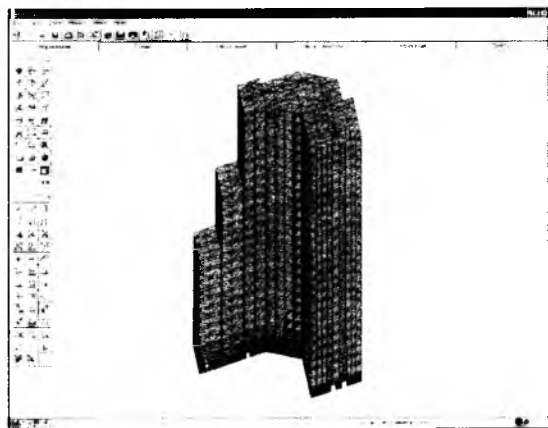
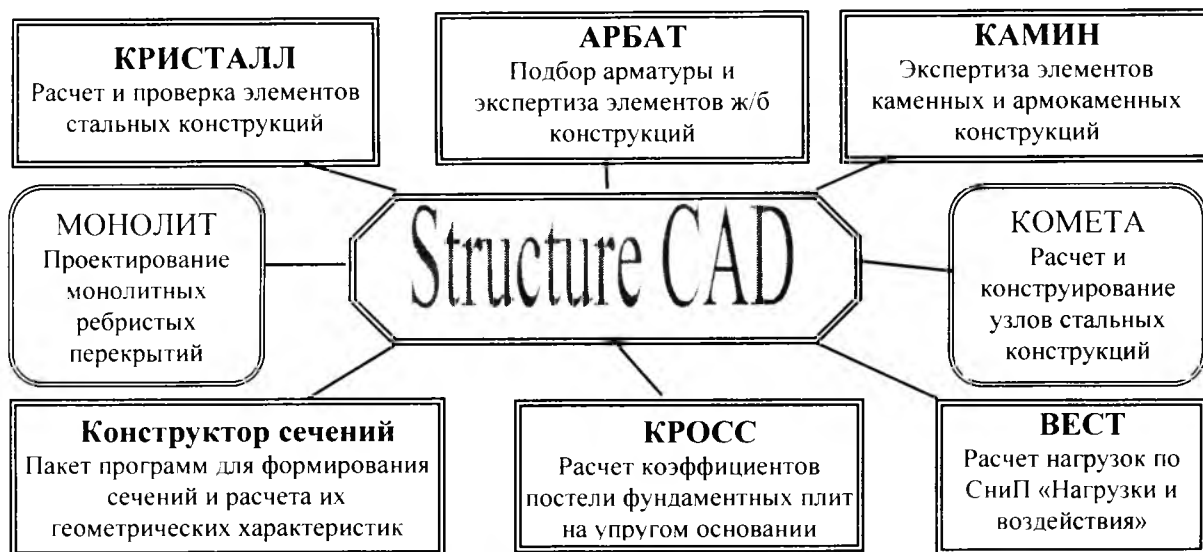
Справки по телефону: 174-7665, факс 174-7776



Пакет программ SCAD Office -

инструментарий инженера-проектировщика

Вычислительный комплекс SCAD является расчетной системой конечноэлементного анализа конструкций и ориентирован на решение задач проектирования зданий и сооружений достаточно сложной структуры, где основные трудности представляет определение напряженно-деформированного состояния конструкции. Комплекс снабжен модулями анализа прочности и подбора сечений элементов стальных конструкций, а также арматуры в элементах железобетонных конструкций.



Все программы пакета можно подразделить на три группы: проектно-аналитические – КРИСТАЛЛ, АРБАТ и КАМИН; проектно-конструкторские – КОМЕТА и МОНОЛИТ; вспомогательные расчетные программы – ВЕСТ, КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ, КОНСУЛ, СЕЗАМ, ТОНУС, КРОСС.

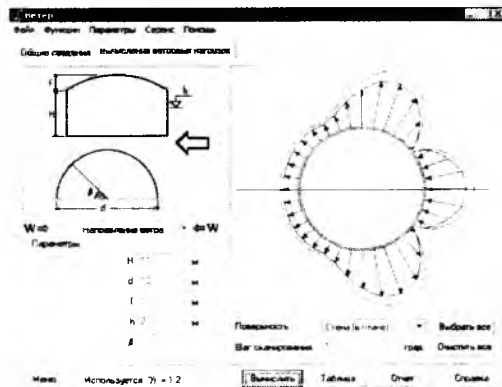
В основу разработки проектно-аналитических программ пакета положен принцип ориентации на строгое и, по возможности, полное выполнение требований, представленных в нормах по проектированию конструкций.

Проектно-конструкторские программы служат для разработки конструкторской документации на стадии детальной проработки проектного решения. От настоящих рабочих чертежей это отличается некоторыми принципиальными деталями.

Программа ВЕСТ предназначена для определения нагрузок и воздействий на элементы строительных конструкций.

ВК SCAD, программы КРИСТАЛЛ, АРБАТ и ВЕСТ сертифицированы ГОССТРОЕМ РОССИИ
ВК SCAD аттестован в НТЦ ЯРБ ГОСАТОМНАДЗОР.

ООО «СКАД СОФТ», (095) 267-40-76
www.scadgroup.com; scad-soft@mtu-net.ru



Об ошибке ГОСТ 22690-88 при определении прочности высокопрочного бетона методом отрыва со скалыванием

В соответствии с ГОСТ 22690-88, метод отрыва со скалыванием допускается к применению для контроля прочности бетона прочностью до 100 МПа. При этом для бетона прочностью выше 50 МПа должен применяться анкер I типа при глубине заделки 35 мм или анкер II типа при глубине заделки 30 мм. Наибольшее применение при контроле имеет анкер II типа. Для этих анкеров переход от усилия вырыва "Р" к прочности бетона "R" осуществляется по формуле, приведенной в приложении 5 ГОСТ 22690-88 при $m_2 = 2,5$. Коэффициент 2,5 был получен по данным испытаний НИИСКА, проведенных около 30 лет назад, на бетонах прочностью от 60 до 100 МПа и с тех пор включался во все стандарты на метод отрыва со скалыванием начиная с ГОСТ 21243-75, разрабатывавшиеся еще при участии автора этого метода И. В. Вольфа. Включен он и в действующий ГОСТ 22690-88.

Однако исследования, проведенные в последние годы лабораторией железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБа, показали, что для используемых в настоящее время бетонов прочностью 50 МПа и выше при испытании прочности методом отрыва со ска-

лыванием формула ГОСТ 22690-88 сильно завышает прочность бетона.

Были проведены испытания анкером с глубиной заделки 48 мм и 30 мм бетона прочностью 50 МПа в возрасте около 4 лет и бетона прочностью 50 МПа и 60 МПа в возрасте 28 сут. В результате получено, что среднее значение переходного коэффициента от усилия вырыва к прочности бетона составляет: для старого бетона 1,6; для бетона в возрасте 28 сут — 1,8 (для бетона прочностью 50 МПа) и 2,1 (для бетона прочностью 60 МПа).

Таким образом, использование переходного коэффициента от усилия вырыва к прочности бетона, при использовании анкера с глубиной заделки 30 мм, приводит к завышению прочности бетона. Учитывая, что это ведет к снижению несущей способности конструкций, в ГОСТ 22690-88 должны быть в ближайшее время внесены соответствующие изменения.

М.Г.Коревицкая, Б.Х.Тухтаев,
кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

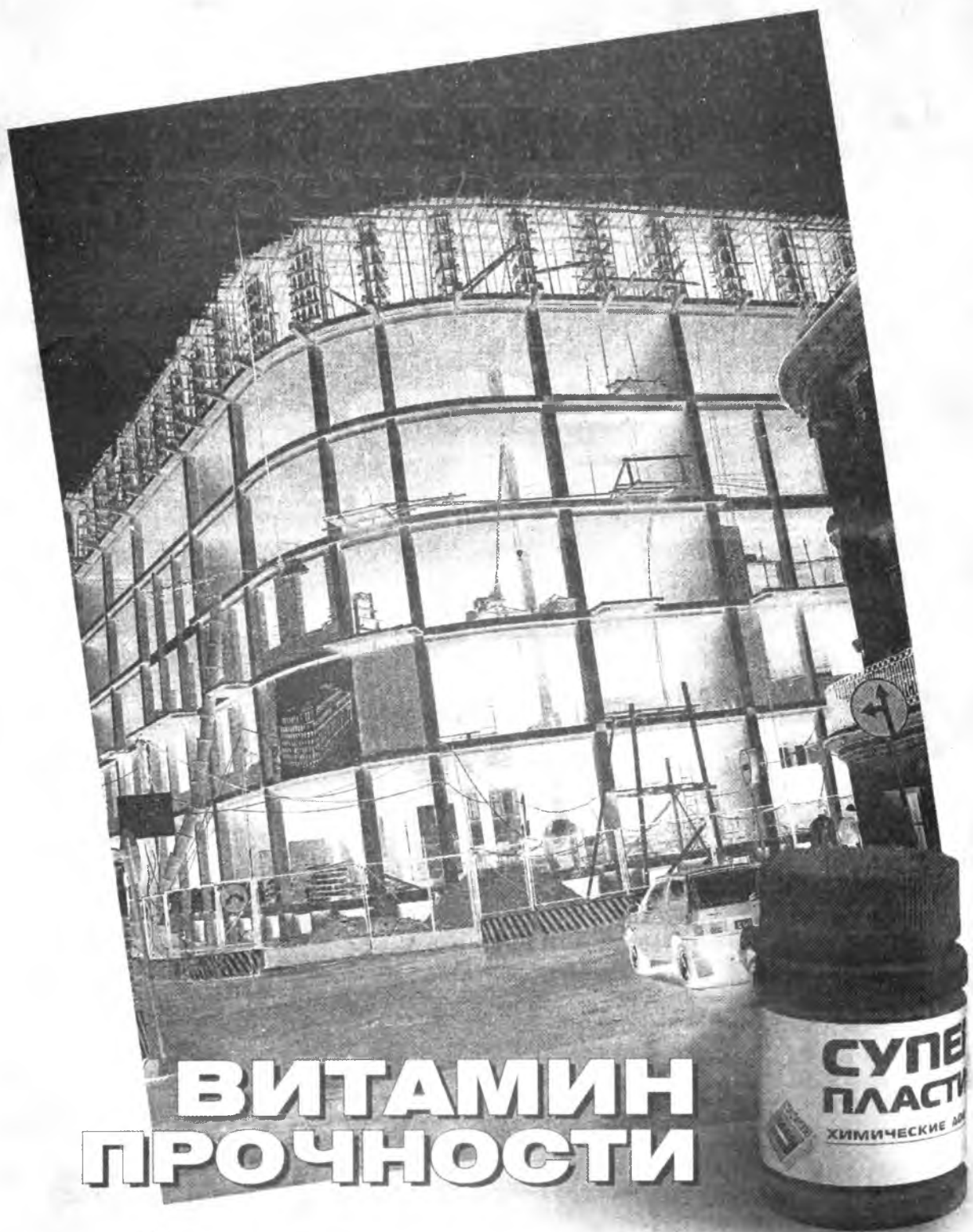
Редакционная коллегия: Ю.М.Баженов, В.Г.Батраков, В.М.Бондаренко, Ю.С.Волков, В.В.Гранев, В.Г.Довжик, А.И.Звездов, Б.И.Кормилицин, К.В.Михайлов, В.А.Рахманов, И.Ф.Руденко, Р.Л.Серых (главный редактор), А.Г.Тамразян, В.Р.Фаликман, Ю.Г.Хаятин, А.А.Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н.Щербаков

Подписано в печать 20.11.03. Формат 60x88^{1/8}. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1
Усл.печ.л. 4,0 Заказ № 1901

Адрес редакции
Москва, Георгиевский пер., д.1, строение 3, 3-й этаж

E-mail: magbeton@rambler.ru
Тел. 292-6205, 703-9762

Отпечатано в ОАО Московская типография № 9
109033, Москва, Волочаевская ул., д.40



ВИТАМИН ПРОЧНОСТИ



ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ

Россия, 123001, Москва, Б. Козихинский пер. д. 22, офис 61
тел.: (095) 974-6328, 299-2793, факс: 209-0328
E-mail: sales@polyplast-un.ru, WWW: www.polyplast-un.ru

Представительство по Южному региону:
ООО "Полипласт-Юг" 350020, Краснодар, ул. Коммунаров, д. 262, литер В
т/ф (8612) 55-46-43, т. 64-08-98 E-mail: polyplast-ug@mail.ru

Представительство по Северо-Западному региону
ООО "Полипласт Северо-Запад" 193230 Санкт-Петербург пер. Челиева д. 13
т/ф (812) 446-32-42, т. (812) 446-67-34 E-mail: polyplast-nws@peterlink.ru

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

www.stroypribor.ru

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

ИПС-МГ4



Измерители прочности бетона методом ударного импульса по ГОСТ 22690

Возможность занесения 16 индивидуальных градуировочных зависимостей.

ИПС-МГ4+



Расширенный режим с возможностью учета вида заполнителя, возраста и условия твердения бетона. Более 100 зависимостей, связь с компьютером.

Диапазон измерения прочности.....3...100МПа
Относительная погрешность.....не более + 10%

ПОС-МГ4 «Отрыв»



Измеритель прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690

Приборы фиксируют максимальную нагрузку, индицируют скорость нагружения и текущую нагрузку, обеспечивают автоматическую обработку измерений, оснащены энергонезависимой памятью.

Диапазон.....5...100МПа
Усилие вырыва анкера:
ПОС-30МГ4.....29,4 кН (3000кгс)
ПОС-50МГ4.....49,0 кН (5000кгс)

ПОС-МГ4 «Екол»



Измеритель прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.

Диапазон:
методом скалывания.....10...70МПа
методом отрыва.....5...100МПа

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-МГ4



Измеритель силы натяжения арматуры методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362

Диаметр контролируемой арматуры.....3, 4, 5, 6 мм
Диапазон усилий.....200...4500кгс(1,96...44 кН)

ЭИН-МГ4



Измеритель напряжений в арматуре железобетонных изделий частотным методом по ГОСТ 2236

Диапазон напряжений 150-1500 МПа в стержневой, проволочной и канатной арматуре диаметром 3-32 мм длиной 3-18 м

ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ИТП-МГ4 «100/250»



Измеритель теплопроводности и термического сопротивления строительных и теплоизоляционных материалов при стационарном режиме по ГОСТ 7076-99 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256

Диапазон определения коэффициента теплопроводности.....0,02...1,5 Вт/м·К
Размеры испытываемого образца.....100x100мм/250x250мм

ИТП-МГ4 «Поток+»



Измеритель тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции зданий и сооружений по ГОСТ 25380

Диапазон измерения плотности тепловых потоков.....2...500 Вт/м²
Диапазон измерения температуры...-30...+100°С

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

МГ4Д - измеритель влажности древесины по ГОСТ 16 588. Диапазон 4...60%. Семь пород древесины.

МГ4Б - измеритель влажности бетона, кирпича по ГОСТ 21718. Диапазон 1...45%. Более 20 зависимостей.

МГ4У - универсальный измеритель влажности строительных материалов по ГОСТ 21718. Диапазон 1...45%. Более 27 зависимостей.

МГ4В - измеритель температуры и влажности воздуха с возможностью регистрации данных и вывода на компьютер. Диапазон влажности 0...99,9%



ИПА-МГ4



Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры железобетонных конструкций магнитным методом по ГОСТ 22904

Диапазон измерения защитного слоя.....3...100 мм
при диаметре стержней3...40 мм

ПСО-МГ4



Измеритель адгезии предназначен для контроля прочности сцепления керамической плитки, штукатурки, защитных и др. покрытий с основанием методом отрыва стальных дисков (пластин) по ГОСТ 28089, 28574 и др.

Диапазон.....0,1...20 МПа
Основная погрешность.....не более +2%

ИСП-МГ4 (анемометр)



Измеритель скорости воздушных потоков и их температуры в вентиляционных системах промышленных и гражданских зданий, а также для измерения средней скорости ветра.

Диапазон измерения скорости воздушного потока.....0,3...30 м/с
Диапазон измерения температуры.....-10...+100°С

Вибротест-МГ4+



Измеритель пиковых значений виброскорости, виброускорения, амплитуды и частоты колебаний виброустановок и других объектов.

Диапазон измерения частоты.....2...1000Гц
Диапазон измерения амплитуды.....0,01...20мм

454084, Челябинск, а/я 8538. Т/ф (3512) 90-16-13, 90-16-85, e-mail: stroypribor@chel.su.net.ru
г. Москва, НИИ ЖБ, лаборатория №24, Рязанский пр., 61, т/ф. (095) 174-78-01, 174-72-05

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru