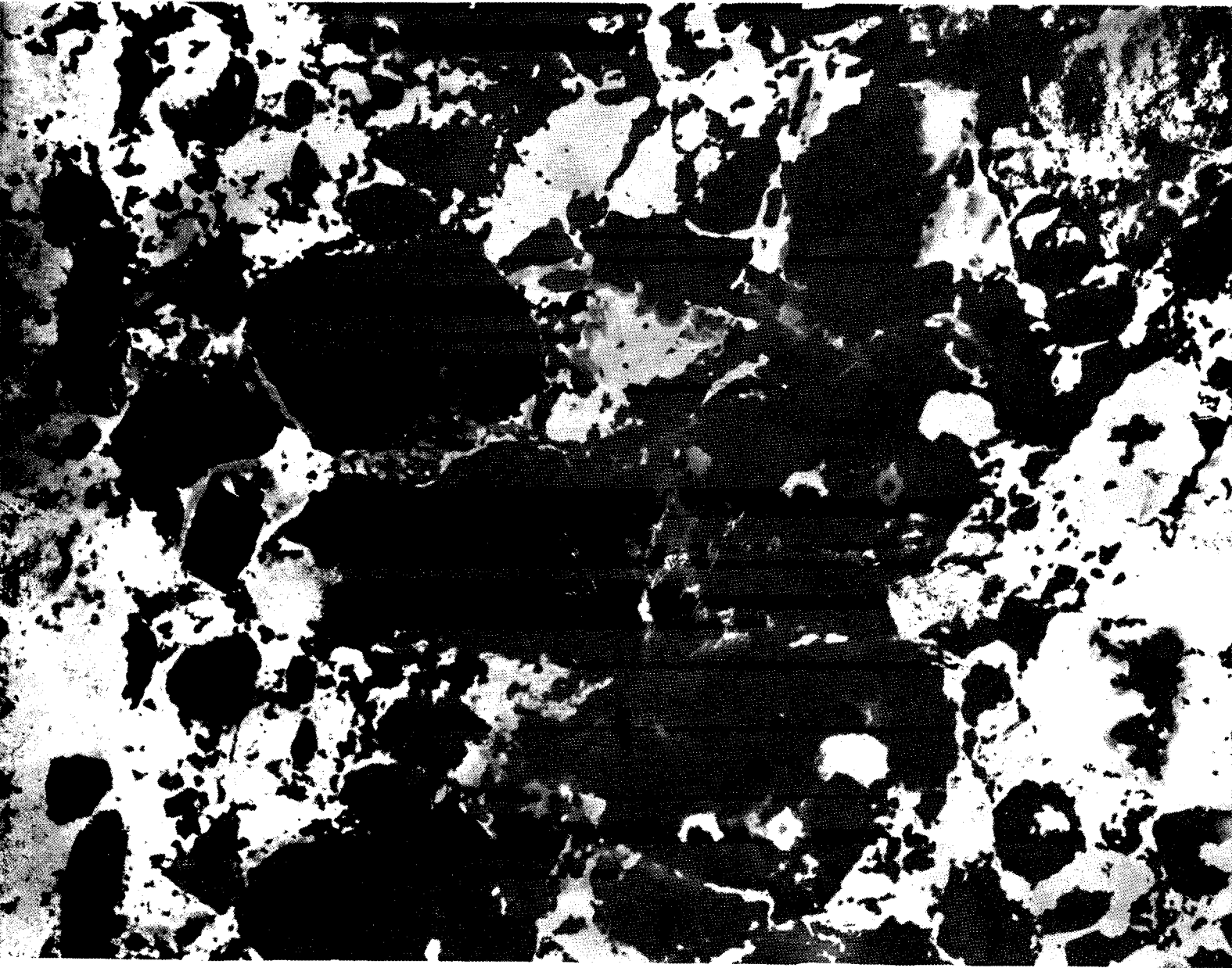


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

2
2002



2002, № 2



"КАРАТ"

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

СОВРЕМЕННЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Измерители прочности
склерометрические

ОНИКС-2.X (1...100 МПа)

Влагомер универсальный
ВИМС-1 (0...200 %)

Измерители напряжений
в арматуре
ИНК-2.X (1...100 МПа)

Измерители параметров
армирования
ПОИСК-2.X

Виброанализатор
ВИБРАН-01
(1...1000 Гц; 1мкм...2,0 мм)

Измеритель
теплопроводности
МИТ-1
(0,01...2 Вт/м °К)

Ультразвуковой тестер
ПУЛЬСАР-1 (500...9000 м/с)

Виброметры **ВИСТ-2.X**
(5...500 Гц; 0,001...3 мм)

Мобильный
термографический
комплекс **ТЕРМОКОМ-4**

Прибор обслуживания
термографов
ТЕРМОСКОП-1



Вихретоковый
дефектоскоп **ВДЛ-5M**

Малоинерционные
термометры
ТЕМП-X (-50...+900 °С)

Термогигрорегистратор
ТГ-1 (0...100%; -40...+60 °С)

Влагомер древесины
ВИМС-1.Д
(0...200%)

Измеритель
прочности **ОНИКС-ОС**
(отрыв со скалыванием)

Многоканальные
терморегистраторы
ТЕРЕМ (-40...+125 °С)

Многоканальный
регистратор-регулятор
температуры
РТМ-5 (0...+125 °С)

Прибор для сбора
данных регистрации
ТЕРМОТРАНСФЕР

- ряд модификаций
- расширенные диапазоны
- высокая достоверность
- дисплей с подсветкой
- инфракрасный интерфейс
- легкие и удобные датчики
- аккумуляторное питание

454080, Челябинск-80, а/я 9544
т./ф: (3512) 655-638, 608-742
E-mail: carat@chel.surnet.ru
Http://www.carat-ndt.ru

Представительства:
а.Москва НИИЖБ тел.: 174-75-13,
E-mail: carat@niizhb.ru 174-74-49
г.Санкт-Петербург тел. 273-32-98

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ЗВЕЗДОВ А.И., ЗАЛЕСОВ А.С., МУХАМЕДИЕВ Т.А., ЧИСТЯКОВ Е.А.</i> О новых нормах проектирования железобетонных и бетонных конструкций	2
БЕТОНЫ	
<i>ДВОРКИН Л.И., ДВОРКИН О.Л.</i> Многопараметрические задачи проектирования составов бетона	6
<i>ПИРАДОВ К.А., МАМАЕВ Т.Л., КОЖАБЕКОВ Т.А., МАРЧЕНКО С.М.</i> Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона	10
<i>ПОМАЗКИН В.А., МАКАЕВА А.А.</i> Опыт использования электроактивированной воды для затворения бетонных смесей	13
<i>ЧЕРНЯВСКИЙ В.Л., КРУШЕДОЛЬСКАЯ В.Е.</i> Об адаптационных свойствах бетонов на шлакопортландцементе	15
КОНСТРУКЦИИ	
<i>МАИЛЯН Д.Р., МАИЛЯН Р.Л., ОСИПОВ М.В.</i> Железобетонные балки с предварительным напряжением на отдельных участках	18
В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ	
<i>ЗВЕЗДОВ А.И., ЗАЛЕСОВ А.С., МУХАМЕДИЕВ Т.А., ЧИСТЯКОВ Е.А.</i> Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам	21
ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА	
<i>БАХТИН Б.И., ЗЕЛЕНОВ И.Б., ЗЕЛЕНОВ К.И., УСОВ Б.А., ИВАШОВ А.И.</i> Газодинамическая ударно-волновая технология изготовления бетонов	26
К 75-ЛЕТИЮ НИИЖБ	
Лаборатория бетонов и ограждающих конструкций	30



О новых нормах проектирования железобетонных и бетонных конструкций

По заданию Госстроя РФ специалистами НИИЖБ разработана редакция нового СНиП 52-01 "Железобетонные и бетонные конструкции. Основные положения". СНиП разработан взамен действующих нормативных документов, относящихся к различным видам бетонных и железобетонных конструкций, а также взамен комплексных нормативных документов - в части, относящейся к бетонным и железобетонным конструкциям.

Структура и содержание СНиП приняты в соответствии с положениями СНиП 10-01-94 и Техническим заданием на разработку СНиП, согласованным с Управлением Технормирования Госстроя РФ.

Согласно новой системе нормативных документов в строительстве [1] основные нормативные документы для бетонных и железобетонных конструкций состоят из Строительных Норм и Правил (СНиП) и Свода Правил (СП).

СНиП распространяется на все виды бетонных и железобетонных конструкций различного назначения и содержит обязательные для выполнения требования к бетонным и железобетонным конструкциям в целом, а также к бетону и арматуре, расчету, конструированию, изготовлению и эксплуатации конструкций. Эти требования сформулированы в виде принципиальных положений с указанием предельных показателей.

Своды Правил разрабатываются для отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций и включают рекомендуемые для применения методы расчета и конструирования, развивающие и конкретизирующие положения СНиП и обеспечивающие их практическую реализацию.

В целом комплекс СНиП и Сводов Правил создает общую нормативную базу для проектирования, изготовления и эксплуатации всех бетонных и железобетонных конструкций.

Вопросы, связанные с конкретными типами бетонных и железобетонных конструкций и особыми видами воздействий, рассматриваются в специальных Строительных Нормах и Правилах (СНиП), относящихся к зданиям и сооружениям различного назначения (промышленным, гражданским, транспортным, гидротехническим, энерготехническим и т.д.), к конструкциям особого назначения (основания и фундаменты), а также к различным опасным воздействиям (пожары, сейсмика, оползни, лавины, радиация и т.д.).

В развитие этих нормативных документов также разрабатываются соответствующие Своды Правил на основе указанных выше принципов. При этом вопросы, связанные с бетонными и железобетонными конструкциями, должны быть согласованы с основными нор-

мативными документами по бетонным и железобетонным конструкциям с учетом особенностей работы специальных конструкций.

Принятая структура нормативных документов имеет целый ряд положительных качеств. Она, при наличии общего СНиП, обеспечивает единый принципиальный подход к назначению характеристик бетона и арматуры, к расчету, конструированию, возведению и эксплуатации всех бетонных и железобетонных конструкций. Отсутствие в СНиП жесткого конкретного нормирования позволяет реализовать через Своды Правил последние достижения в области новых материалов и конструктивных решений, методов расчета и конструирования.

В то же время такой подход обладает рядом дискуссионных моментов.

Прежде всего это связано с установившейся традицией, по которой нормативные документы (СНиП) должны содержать подробно изложенные конкретные обязательные методы расчета и конструирования, выполнение которых обеспечивает юридическую защиту инженеров от возможных последствий. Следует отметить, что действующие нормативные документы далеко не в полной мере отвечают этим требованиям, так как содержат лишь ограниченный перечень правил по проектированию и изготовлению бетонных и железобетонных конструкций. С другой стороны разрабатываемые Своды Правил являются по статусу нормативными документами и тем самым обеспечивают достаточную юридическую защиту инженеров.

Тем не менее, учитывая существующие традиции, было принято решение включить в СНиП в виде Приложений конкретные данные по основным характеристикам бетона и арматуры, по основным расчетным зависимостям и по конструктивным требованиям для наиболее массовых железобетонных конструкций.

Практическое же проектирование должно производиться по соответствующим Сводам Правил. В связи с этим предполагается разработать комплекс Сводов Правил для промышленного и гражданского строительства, охватывающий железобетонные конструкции из различных видов бетона (тяжелые, легкие, ячеистые, напрягающие, жаростойкие и т.д.), различные типы железобетонных конструкций (обычные, преднапряженные, сборно-монолитные, сталежелезобетонные, фибробетонные, усиленные и т.д.), железобетонные конструкции, подвергающиеся различным нагрузкам и воздействиям (динамическим, повторным, сейсмическим нагрузкам, агрессивным, пониженным и повышенным температурным воздействиям и т.д.), различные конструктивные системы (каркасные, стеновые, простран-

ственные и т. д.). Предполагается выпустить следующие Своды Правил:

1. СП "Бетонные и железобетонные конструкции"
2. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из легкого бетона"
3. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из ячеистого бетона"
4. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из силикатного бетона"
5. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из напрягающего и безусадочного бетона"
6. СП "Железобетонные конструкции из высокопрочного высококачественного бетона"
7. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из низкопрочного особо легкого бетона"
8. СП "Бетонные и железобетонные конструкции из жаростойкого бетона"
9. СП "Сборно-монолитные железобетонные конструкции"
10. СП "Сталежелезобетонные конструкции"
11. СП "Фибробетонные конструкции"
12. СП "Бетонные и железобетонные конструкции в агрессивных условиях"
13. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии повышенных температур"
14. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии пожара"
15. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии пониженных температур"
16. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии динамических нагрузок"
17. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии сейсмических нагрузок"
18. СП "Бетонные и железобетонные конструкции при воздействии повторных нагрузок"
19. СП "Железобетонные несущие конструкции зданий каркасной системы"
20. СП "Железобетонные несущие конструкции зданий стеновой системы"
21. СП "Железобетонные несущие конструкции зданий каркасно-стеновой системы"
22. СП "Железобетонные пространственные конструкции"
23. СП "Реконструкция, усиление и восстановление бетонных и железобетонных конструкций"
24. СП "Железобетонные ограждающие конструкции"
25. СП "Закладные детали бетонных и железобетонных конструкций"
26. СП "Предварительно напряженные железобетонные конструкции"
27. СП "Самонапряженные железобетонные конструкции"
28. СП "Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений"
29. СП "Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений"
30. СП "Бетонные и железобетонные конструкции энергетических сооружений".

В первую очередь предполагается выпуск одновременно со СНиП основного свода Правил для наиболее массовых железобетонных конструкций из тяже-

лого бетона без предварительного напряжения - с тем, чтобы обеспечить практическую реализацию основных положений нового СНиП при проектировании. В дальнейшем будет последовательно осуществляться выпуск и остальных Сводов Правил. При этом, до выпуска соответствующих Сводов Правил, проектирование отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций может осуществляться по действующим нормативным документам, но с соблюдением обязательных требований по новой редакции основного СНиП.

Следует отметить, что Своды Правил, являющиеся нормативными документами, не будут содержать различные вспомогательные материалы (таблицы, графики, примеры расчета и т.п.). По своему содержанию они соответствуют действующим Строительным Нормам и Правилам (СНиП), только имеют не обязательный, а рекомендательный характер. Что касается вспомогательных материалов, то в связи с массовым использованием при проектировании компьютерных программ они потеряли свое значение, но в случае необходимости могут быть разработаны специально в соответствии с требованиями проектных организаций.

Для обеспечения практической реализации основных положений новых СНиП и свода Правил предусматривается также параллельная разработка соответствующих компьютерных программ.

В новые СНиП и свод Правил внесен ряд принципиально новых методов расчета и конструирования, а также произведено усовершенствование существующих. Главная цель заключалась в том, чтобы эти методы основывались на универсальных, физических и теоретических, достаточно простых расчетных моделях, освобожденных от излишнего эмпиризма, учитывающих физический характер работы железобетонных элементов и обеспечивающих необходимую надежность и оптимальный расход материалов. Методы включались после тщательного анализа и отбора методов расчета и конструирования, содержащихся в действующих отечественных, международных и национальных нормативных документах, а также в отечественных и зарубежных разработках.

В первую очередь отметим, что за основу расчета бетонных и железобетонных элементов на действие изгибающих моментов и продольных сил по всем предельным состояниям принята новая деформационная модель, использующая помимо уравнений равновесия условие деформирования в виде гипотезы плоских сечений и полные диаграммы состояния (деформирования) бетона и арматуры. Такая модель позволяет вести расчет с единых методических позиций любых бетонных и железобетонных элементов с различной конфигурацией поперечного сечения и расположением продольной арматуры, и одновременно в полной мере учитывать упруго-пластические свойства бетона, арматуры и напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента. Деформационная модель принята в международных, а также в большинстве национальных норм [3].

В то же время для простых, но широко распространенных железобетонных элементов в новый СНиП и свод Правил включены более простые методы расчета:

для расчета прочности - расчет по предельным усилиям, принятый в действующем СНиП, учитывающий условно пластическую работу бетона и арматуры [2];

для расчета по образованию трещин, раскрытию трещин и деформациям - расчет с применением общих правил строительной механики и сопротивления материалов для железобетонных конструкций.

При этом для оценки ширины раскрытия нормальных трещин принята физически более обоснованная расчетная модель, основанная на определении взаимных смещений арматуры и бетона на длине участка между трещинами, предложенная в свое время В.И. Мурашевым [4] и принятая в настоящее время в международных нормах [3]. Это позволило отказаться от эмпирического подхода к расчету раскрытия нормальных трещин и деформаций, принятого в действующем СНиП [2].

Что касается расчета прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил и крутящих моментов, то проведенный анализ показал, что многочисленные новые разработки в этой области еще не достигли такого уровня, чтобы могли быть приняты в качестве нормативных методов расчета. Поэтому было принято решение включить в новые СНиП и Свод Правил расчетные модели по наклонным и пространственным сечениям, содержащиеся в действующем СНиП и предложенные в свое время М.С. Боришанским и Н.Н. Лессиг [5], но с рядом дополнений и усовершенствований, позволяющих получить более универсальный подход к расчету. Для расчета по раскрытию наклонных трещин при действии поперечных сил принята расчетная зависимость, более полно учитывающая влияние основных факторов и согласующаяся с методикой, содержащейся в международных нормативных документах.

В настоящее время в связи с широким применением в отечественном строительстве монолитных многоэтажных каркасных зданий с плоскими перекрытиями важное значение приобретает правильная оценка сопротивления плит на продавливание. Поэтому в новые СНиП и Свод Правил включена методика расчета на продавливание, принятая в международных нормативных документах и ряде национальных норм [3], позволяющая с единых позиций оценивать сопротивление плит продавливанию с учетом совместного действия сосредоточенных сил и моментов при различных схемах загрузки и опирания плит.

Другим важным вопросом, обусловленным широким применением в строительстве вязаной арматуры различного профиля, является расчет анкеровки и соединения арматуры внахлестку. В новые СНиП и Свод Правил взамен эмпирической зависимости действующего СНиП включена физически и теоретически более обоснованная и более универсальная методика, принятая в международных нормативных документах.

Рассмотрим краткое содержание нового СНиП.

Как уже отмечалось выше, разработанный проект СНиП включает обязательные требования, относящиеся ко всем типам бетонных и железобетонных конструкций различного назначения, ко всем видам бетона и арматуры, к расчету, конструированию, воздействию

и эксплуатации железобетонных и бетонных конструкций. Помимо общих принципов нормирования характеристик материалов, методов расчета и конструирования железобетонных и бетонных конструкций в Приложениях к СНиП приведены конкретные данные, относящиеся к наиболее массовым типам железобетонных и бетонных конструкций и к основным методам их расчета и конструирования. В качестве массовых рассмотрены железобетонные конструкции без предварительного напряжения с прямоугольной и тавровой (двутавровой) формой поперечного сечения, из тяжелого бетона классов В15-В60 и арматуры классов А240-А500 и В500, загруженные статической нагрузкой кратковременного и длительного действия и эксплуатирующиеся в нормальных температурно-влажностных условиях. В качестве основных методов расчета приняты методы расчета прочности по нормальным и наклонным сечениям по предельным усилиям на действие в плоскости оси симметрии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил; метод расчета прочности по нормальным сечениям по деформационной (на основе диаграмм деформирования бетона и арматуры) модели; методы расчета деформаций железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил; методы расчета по раскрытию нормальных и наклонных трещин. Конструктивные требования приведены для железобетонных элементов из тяжелого бетона классов В15-В60 и арматуры классов А240-А500, В500 и включают требования по анкеровке арматуры, минимальному проценту армирования, толщине защитного слоя и другие.

Подготовленный проект СНиП 52-01 состоит из девяти разделов:

- Раздел 1. Область применения;
- Раздел 2. Нормативные ссылки;
- Раздел 3. Определения;
- раздел 4. Общие требования к бетонным и железобетонным конструкциям;
- раздел 5. Требования к бетону и арматуре;
- раздел 6. Требования к расчету бетонных и железобетонных конструкций;
- раздел 7. Конструктивные требования;
- раздел 8. Требования к изготовлению, возведению и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций;
- раздел 9. Требования к восстановлению и усилению железобетонных конструкций.

В разделе 4 впервые сформулированы основные требования к бетонным и железобетонным конструкциям, включающие требования по безопасности (несущей способности, огнестойкости), эксплуатационной пригодности (трещиностойкости, деформативности) и долговечности.

Установлено, что требования по трещиностойкости разделяются на две категории: по отсутствию трещин и ограничению ширины их раскрытия. Определен круг конструкций, к которым относится то или иное требование. Исключено, как достаточно условное, ранее действовавшее дополнительное требование по закрытию трещин.

Принято, что требования к бетонным и железобетонным конструкциям обеспечиваются выполнением

требований к материалам (бетону и арматуре), расчету, конструированию, изготовлению и эксплуатации.

Сформулированы основные положения, обеспечивающие надежность бетонных и железобетонных конструкций при их расчете полувероятностным методом. Указано о возможности применения полного вероятностного расчета для оценки надежности конструкций.

В разделе 5 приведен полный перечень видов бетона и арматуры и их контролируемых показателей (классов и марок), которые применяются в бетонных и железобетонных конструкциях. При этом установлены максимально широкие диапазоны классов и марок бетона: классов по прочности на сжатие от B0,5 до B120, марок по плотности от D200 до D5000, марок по морозостойкости от F15 до F500, марок по водонепроницаемости от W2 до W30.

Сформулированы основные принципы назначения нормативных и расчетных, прочностных и деформативных характеристик бетона и арматуры. Впервые включены указания по диаграммам состояния бетона и арматуры, необходимые для расчета бетонных и железобетонных конструкций по деформационной модели.

Характеристики тяжелого бетона классов B7,5 - B60 и арматуры классов A240 -A500, B500 представлены в Приложениях к СНиП.

В разделе 6 установлен полный перечень предельных состояний, по которым должен производиться расчет железобетонных конструкций, и основные принципы расчета по каждому предельному состоянию.

Приведены общие положения по расчету бетонных и железобетонных конструкций, устанавливающие требования по учету неупругих свойств и образованию трещин в конструкциях, по учету расчетных ситуаций, характера действующих на конструкции нагрузок и воздействий, стадий работы конструкций.

Представлены указания по расчету основных видов бетонных и железобетонных конструкций, в том числе статически неопределимых, плоскостных, пространственных, объемных и массивных, предварительно напряженных, сборно-монолитных, сталежелезобетонных и фибробетонных.

Установлены основные принципы расчета прочности бетонных и железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил, поперечных сил, крутящих моментов и при местном действии нагрузки (смятие, продавливание).

Для расчета железобетонных элементов с простой формой поперечного сечения (прямоугольной и тавровой) и с сосредоточенным расположением продольной арматуры на действие изгибающих моментов и продольных сил принят метод расчета по предельным усилиям, представленный в действующих нормах, но с дополнительными усовершенствованиями в части определения граничного значения высоты сжатой зоны и учета продольного изгиба.

Для общего случая расчета железобетонных конструкций с различными формой поперечного сечения и расположением продольной арматуры, различным направлением действующих усилий и т.д. принята деформационная модель, позволяющая на единой методологической основе более полно и точно оценивать

напряженно-деформированное состояние и прочность различного типа железобетонных элементов.

Для коротких железобетонных элементов (коротких консолей и т.п.) предлагается использовать каркасно-стержневую модель, принятую в действующих нормах, и позволяющую более точно оценивать особенности работы таких элементов.

Установлены основные принципы и приведены основные зависимости расчета железобетонных элементов при действии поперечных сил. Расчет производится на основе моделей наклонных сечений аналогично методам расчета, принятым в действующем СНиП. При этом внесены усовершенствования в определение поперечных усилий, воспринимаемых бетоном и поперечной арматурой в наклонном сечении, что позволяет унифицировать методику расчета при сохранении уровня безопасности, принятой в действующих нормах.

Сформулированы основные принципы расчета железобетонных элементов на местное действие нагрузки (на смятие и продавливание). При этом расчет на продавливание предлагается производить на совместное действие продавливающей силы и момента, что обеспечивает безопасность плоских железобетонных элементов при различных схемах нагружения и опирания.

Установлены основные принципы расчета по образованию нормальных и наклонных трещин. Расчет по образованию нормальных трещин предлагается производить по предельным (при образовании трещин) усилиям и по деформационной модели с учетом неупругих деформаций бетона.

Представлены основные принципы и зависимости для расчета железобетонных элементов по раскрытию нормальных и наклонных трещин. Для расчета по раскрытию нормальных трещин предложена новая методика, физически и теоретически более обоснованная по сравнению с полуэмпирической зависимостью, содержащейся в действующих нормах. Для расчета по раскрытию наклонных трещин принята более простая зависимость, которая в прямом виде учитывает влияние основных факторов (относительной величины шага и диаметра хомутов) на раскрытие наклонных трещин.

Приведены предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин.

Установлены основные принципы и зависимости для расчета железобетонных элементов по деформациям. Расчет по деформациям предлагается производить по деформационной модели и по новой методике определения жесткости железобетонных элементов, физически и теоретически более обоснованной и универсальной по сравнению с методикой, принятой в действующих нормах.

Приведены указания по назначению предельно допустимых прогибов железобетонных элементов.

Основные расчетные зависимости для оценки прочности железобетонных элементов по предельным усилиям и по деформационной модели, а также зависимости для определения ширины раскрытия трещин и деформаций представлены в Приложениях к СНиП.

В разделе 7 установлены принципиальные положения по конструктивным требованиям, которые долж-

ны соблюдаться для бетонных и железобетонных элементов, и приведены граничные конструктивные параметры и основные конструктивные требования по геометрическим размерам, толщине защитного слоя бетона, продольному и поперечному армированию, анкеровке арматуры и ее соединениям. При этом введены изменения в части конструктивных требований для продольной и поперечной арматуры, а также в методике расчета анкеровки арматуры, направленные на более точное отражение физического характера работы железобетонных элементов и обеспечение их надежности.

В разделе 8 приведены основные положения, которые должны соблюдаться при изготовлении, возведении и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций.

Установлены требования к подбору состава бетона, его приготовлению, транспортированию, укладке и твердению; требования к условиям хранения арматуры, ее установке и сварочным соединениям, требования к опалубке.

Установлены требования к изготовлению, транспортированию и монтажу сборных конструкций, назначению отпускной и передаточной прочности бетона, тре-

бования к возведению монолитных конструкций и назначению прочности бетона при снятии опалубки.

Установлены требования по контролю качества бетона, арматуры и конструкций в целом, в том числе путем испытаний контрольных образцов неразрушающими методами, с применением и без применения статистических методов контроля.

В разделе 9 приведены основные положения, которые должны соблюдаться при восстановлении и усилении бетонных и железобетонных конструкций. Установлены требования по обследованию конструкций, по поверочным расчетам, конструированию и расчету усиленных элементов.

Библиографический список

1. СНиП 10.01-94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения.
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции.
3. СЕВ-FIP MODEL CODE 1990. DESIGN CODE.
4. Мурашев В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. М., Стройиздат, 1950.
5. Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней и хомутов в изгибаемых железобетонных элементах по стадии разрушения. М., Стройиздат, 1946.

БЕТОНЫ

Л.И.ДВОРКИН, д-р техн. наук, проф., О.Л.ДВОРКИН, канд. техн. наук, доц. (Ровенский государственный технический университет, Украина)

Многопараметрические задачи проектирования составов бетона

Задачи проектирования составов бетона можно классифицировать в зависимости от количества нормируемых параметров.

Наиболее разработанными и реализуемыми на практике являются двухпараметрические задачи, когда нормируемым свойством бетона является его прочность на сжатие $R_{сж}$, а бетонной смеси - показатель удобоукладываемости (подвижность или жесткость). Для решения задач этого типа широко применяются расчетно-экспериментальные методы, использующие ряд известных технологических зависимостей: прочности бетона от цементно-водного отношения, правило постоянства водопотребности бетонных смесей, правило оптимального содержания песка и др. [1,2].

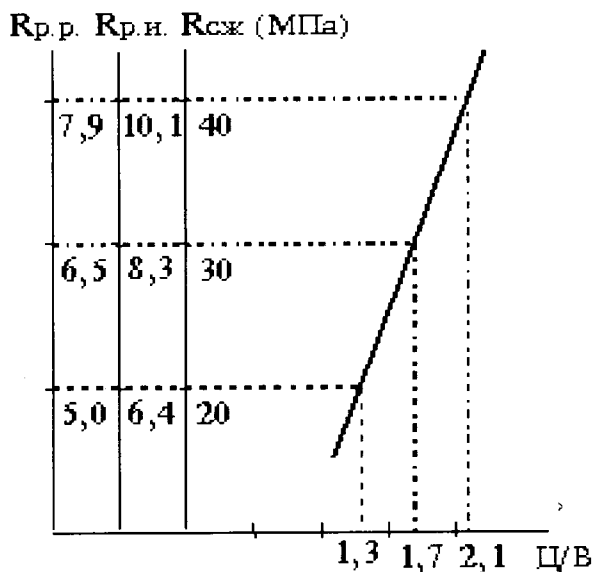
Недостаточно разработанны многопараметрические задачи, которые возникают особенно часто при проектировании различных специальных видов бетона: гидротехнического, дорожного, корро-

зионностойкого и др. Их можно разделить на три подгруппы:

1. с нормируемыми параметрами, однозначно связанными с прочностью бетона на сжатие.
2. с нормируемыми параметрами, неоднозначно связанными с прочностью на сжатие.
3. с нормируемыми параметрами, не связанными с прочностью на сжатие.

В первую подгруппу входят, например, задачи с нормируемыми показателями модуля упругости, прочности бетона (на растяжение, изгиб и др).

При расчете состава таких бетонов сначала находится определяющий параметр из нормируемых свойств бетона, соответствующая ему прочность на сжатие и устанавливается минимально возможное Ц/В, обеспечивающее весь набор свойств. Под "определяющим параметром" мы понимаем такой нормируемый параметр, достижение которо-



Влияние Ц/В на прочность на сжатие ($R_{сж}$), растяжении при изгибе ($R_{p,и}$) и растяжении при раскалывании ($R_{p,p}$)

го предполагает одновременно достижение и всех других параметров, указанных в условии задачи.

Например, из рис. 1. следует, что если нормируются:

$R_{сж} \geq 20$ МПа, $R_{p,и} \geq 8$ МПа, $R_{p,p} \geq 8$ МПа,

то, очевидно, определяющим параметром является $R_{p,p}$ и необходимое Ц/В, обеспечивающее все три показателя свойств, равно 2.1.

Принципиальной особенностью таких задач является существование области Ц/В, в пределах которой находится Ц/В, обеспечивающее все нормируемые показатели. Чем уже эта область (рис.) и чем в большей мере она сдвинута в сторону меньших значений Ц/В, тем ближе приближается состав к оптимальному и $C \rightarrow \min$. Для достижения этого условия могут использоваться различные технологические приемы: введение добавок - регуляторов свойств, изменение условий твердения, подбор исходных материалов и др.

Нормируемыми параметрами в задачах второй подгруппы, наряду с прочностью на сжатие, могут быть ползучесть, морозостойкость, тепловыделение и т.д.

При постоянном Ц/В и, следовательно, прочности бетона ползучесть его может существенно различаться [3] в зависимости от количества цементного камня в бетоне. Аналогично, можно показать неоднозначность зависимости прочности бетона на сжатие с группой свойств, определяемых капиллярной пористостью (водопоглощение, морозостойкость и др.).

Параметры, нормируемые в многопараметрических задачах, могут формироваться под влиянием как одних и тех же, так и существенно различающихся технологических факторов. В вышеприведенном примере прочность на сжатие и ползучесть определяются прежде всего цементно-водным отношением. Аналогично цементно-водное отношение является основным влияющим фактором, если нормируются прочность и морозостойкость (особенно при неиспользовании воздухововлекающей добавки). Однако, в отличие от задач первой подгруппы, здесь нормируемые параметры связаны менее жестко.

Для решения задач данной подгруппы, так же как и предыдущей, устанавливается область Ц/В, которая обеспечивает нормируемые параметры, рассматриваются технологические пути ее сужения и окончательно необходимое значение нормируемого Ц/В.

Регулирование необходимого Ц/В в этих задачах возможно, однако, за счет изменения других факторов состава, в частности количества цементного теста, объема вовлеченного воздуха и др.

Например, нормируются средняя прочность бетона $R_{сж} = 65$ МПа (B50) и ползучесть $C_m \times 10^6 = 3,5$. Подвижность бетонной смеси на гранитном щебне и среднезернистом кварцевом песке принята ОК=2 см. Активность цемента $R_u = 50$ МПа. По расчетной формуле прочности бетона $R_b = A R_u (C/V - 0,5)$ при $A = 0,6$, $C/V = 2,63$. При расходе воды $V = 175$ л/м³ и соответственно расходе цемента $C = 460$ кг/м³, мера ползучести не обеспечивается ($C_m \times 10^6 = 4,5$). Для достижения нормируемого значения $C_m \times 10^6$ необходимо увеличить значение Ц/В. Практическое совпадение Ц/В из условий прочности и ползучести можно достичь переходом на более жесткую смесь.

Мощным средством уменьшения “ножниц” по Ц/В в морозостойких бетонах является вовлечение воздуха. Характерно при этом, что значительно уменьшая Ц/В для достижения заданной морозостойкости, вовлеченный воздух в то же время увеличивает Ц/В из условия прочности. При этом общий положительный эффект уменьшения расхода цемента может быть весьма значительным особенно в бетонах с высокими значениями морозостойкости при умеренном нормируемом значении прочности.

Для ряда задач проектирования составов бетона (например, легких бетонов) Ц/В не является определяющим фактором, обеспечивающим комплекс нормируемых свойств. Для таких задач следует находить другой, существенный для всех нормируемых свойств фактор. Определение необходимого значения этого фактора становится главной задачей расчета составов.

Разработка достаточно общего и доступного

расчетно-экспериментального метода проектирования составов бетонных смесей с заданной удобоукладываемостью и прочностью бетона стала возможной благодаря использованию ряда допущений, сделанных на основе физических закономерностей, обусловленных влиянием структуры бетона на его свойства. Данные закономерности могут быть использованы и при многопараметрическом проектировании составов бетона. При этом общая схема метода следующая:

1. В тех случаях, когда нормируются свойства бетона, однозначно связанные с прочностью бетона на сжатие $R_{сж}$ (прочность при растяжении, изгибе, модуль упругости, условная ратяжимость и др.), определяется значение последней, обеспечивающее заданные свойства.
2. С учетом активности цемента, качественных особенностей заполнителей, условий твердения и других факторов определяется Ц/В, обеспечивающее заданные свойства.
3. Для достижения требуемого показателя удобоукладываемости и при необходимости других свойств бетонной смеси и бетона (например, усадки) при использовании данных исходных материалов и добавок определяется расход воды (В). При этом в случае выхода за пределы правила постоянства водопотребности расход воды корректируется с учетом Ц/В.
4. При нормировании морозостойкости бетона рассчитывается требуемый объем вовлеченного воздуха и уточняется необходимое Ц/В.
5. При найденных значениях В и Ц/В проверяется возможность достижения нормируемых свойств, которые определяются этими двумя технологическими параметрами. В случае недостижения нормируемых параметров производится дополнительное корректирование В и Ц/В с использованием при необходимости специальных технологических приемов (введение добавок и др.).
6. Рассчитывается с учетом окончательно найденных Ц/В и В расход цемента и проверяется выполнение ограничений, связанных с расходом цемента (тепловыделение, стойкость к коррозии и др.).
7. Рассчитывается состав мелкого и крупного заполнителя при введении нескольких фракций, а затем их расходы. При выборе соотношения заполнителей наряду с достижением наилучшей удобоукладываемости и прочности принимаются во внимание и другие условия (повышенная водонепроницаемость, толщина конструкции, степень армирования и др.).
8. Рассматривается возможность использования различных технологических решений, направленных на экономию цемента, снижение энер-

гозатрат, уменьшение стоимости бетонной смеси.

При выборе количественных зависимостей должны рассматриваться как целевая установка конкретной задачи, так и имеющаяся исходная информация. Например, для простейших задач, включающих определение прочности тяжелого бетона в условиях нормального твердения без минеральных наполнителей, воздухововлекающих и других добавок могут быть использованы наиболее известные формулы [1, 5]. При наличии развернутой информации о качестве исходных материалов коэффициент А уточняется согласно рекомендациям [2], в противном случае берется по укрупненным рекомендациям [1] или вообще не учитывается [4].

Для более сложных задач при введении в состав бетонных смесей минеральных наполнителей и добавок ПАВ при известных значениях $K_{ц.э}$ и pA целесообразно использование обобщенной формулы прочности [5]:

$$R_{сж} = pAR_{ц} \left(\frac{Ц + K_{ц.э} D}{В + V_{в}} - 0.5 \right), \quad (1)$$

где Ц, В, Д – соответственно расходы цемента, воды и минеральной добавки, $кг/м^3$; $K_{ц.э}$ – коэффициент "цементирующей эффективности" минеральной добавки; $V_{в}$ – объем вовлеченного воздуха, л; pA – мультипликативный коэффициент учитывающий различные факторы.

Различные количественные зависимости можно использовать и для определения расхода заполнителей. При известных значениях удельной поверхности и пустотности заполнителей можно воспользоваться для определения γ_{opt} формулой, приведенной в работе [6]. Если качество заполнителей характеризуется модулем крупности песка и максимальной крупностью щебня или гравия пригодны другие формулы [2]. В тех случаях, когда известны наряду с расходом цемента и Ц/В лишь водопотребность песка, расход щебня можно определить, рассчитав коэффициент раздвижки α по рекомендациям [1]. Если заданы пустотность песка и щебня (их можно легко вычислить, зная истинные и насыпные плотности заполнителей) расчет α следует вести по зависимостям [2] с соответствующими поправками. Таким образом, имеющаяся в современном бетоноведении эмпирическая база позволяет создать банк количественных зависимостей, представляющих возможность реализовать альтернативный подход при расчетах составов бетона. Этот банк количественных зависимостей стремительно увеличивается в последние годы особенно за счет полиномиальных уравнений регрессии – математических моделей, адекватных в определенном "факторном

пространстве". Наиболее значительную часть этих моделей получают с помощью методов планирования эксперимента.

Ниже приведен характерный пример многопараметрической задачи проектирования состава цементного бетона.

Пример. Рассчитать состав цементного бетона с классом по прочности на сжатие В20 и на осевое растяжение В_т1,2. Марка бетона по морозостойкости F300. Удобоукладываемость бетонной смеси по осадке стандартного конуса (ОК) составляет 2 см.

Исходные материалы: портландцемент М500, нормальная густота НГ=25,5%; кварцевый песок с модулем крупности М_к=2,2, содержанием отмучиваемых примесей 2,5%, истинной плотностью ρ_п=2,67 кг/л, насыпной плотностью ρ_{н.п}=1,55 кг/л, пустотностью 42%; гранитный щебень фракции 5-40 мм, истинной плотностью ρ_щ=2,7 кг/л, насыпной плотностью ρ_{н.щ}=1,4 кг/л, пустотностью 48%, содержанием отмучиваемых частиц 0,8%.

В бетонную смесь вводится воздухововлекающая добавка.

Расчетные зависимости, необходимые для решения задачи следующие:

- Прочность бетона при осевом растяжении, R_{о.р} [3, 5]:

$$R_{о.р} = 0,046 (10 R_{сж})^{2/3} \quad (2)$$

- Морозостойкость бетона, F [5]:

$$F = k \cdot A_1 \cdot R_{сж}^{A_2} \cdot \exp^{0,35 \cdot V_v}, \quad (3)$$

где V_v – объем воздуха, вовлекаемый в бетонную смесь воздухововлекающей добавкой, %; k – коэффициент, зависящий от вида исходных материалов; A₁, A₂ – коэффициенты, определяемые удобоукладываемостью смеси

Решение.

1. Определим средние уровни прочности бетона на сжатие и при осевом растяжении. В соответствии с ГОСТ 18105-86:

$$R_{сж} = \frac{1,1 \cdot B}{0,778} \cdot 1,12 = \frac{1,1 \cdot 20}{0,778} \cdot 1,12 = 31 \text{ МПа}$$

$$R_{о.р} = \frac{1,1 \cdot B_t}{0,778} \cdot 1,12 = \frac{1,1 \cdot 1,2}{0,778} \cdot 1,12 = 1,9 \text{ МПа}$$

2. По усредненной корреляционной формуле (2) определим необходимую прочность при сжатии (R_{сж}), обеспечивающую прочность при осевом растяжении.

$$R_{сж} = \left(\frac{R_{о.р}}{0,046} \right)^{1,5} / 10 = 26,5 \text{ МПа}$$

Для дальнейшего расчета примем R_{сж}=31 МПа.

3. По формуле (3) определим объем вовлеченного с помощью воздухововлекающей добавки

воздуха V_v, обеспечивающий при данной прочности необходимую марку по морозостойкости. Примем коэффициент k для заданных материалов равным 1, коэффициенты A₁, A₂ для заданной подвижности ОК=2см соответственно 0,91 и 1,47 [5]:

$$V_v = \frac{\ln\left(\frac{F}{0,91 \cdot R_{сж}^{1,47}}\right)}{0,35} = \frac{\ln\left(\frac{300}{0,91 \cdot 31^{1,47}}\right)}{0,35} = 2,2 \%$$

4. Введение в бетонную смесь 2,2 % воздуха снижает прочность бетона на 11% [5]:

$$R_{сж} = 31 - 0,11 \cdot 2,2 \cdot 31 = 27,6 \text{ МПа}$$

5. Прочность бетона на сжатие необходимая для обеспечения требуемого среднего уровня:

$$R_{сж} = 31 \cdot \frac{31}{27,6} = 34,8 \text{ МПа}$$

6. По формуле (3) уточним объем вовлеченного воздуха V_v, обеспечивающий при рассчитанной прочности необходимую марку по морозостойкости:

$$V_v = \frac{\ln\left(\frac{F}{0,91 \cdot R_{сж}^{1,47}}\right)}{0,35} = \frac{\ln\left(\frac{300}{0,91 \cdot 34,8^{1,47}}\right)}{0,35} = 1,7 \%$$

Для дальнейшего расчета принимаем средний объем вовлеченного добавкой воздуха V_v = (2,2+1,7)/2 ≈ 2 %.

7. Рассчитаем Ц/В, расходы воды (В), цемента (Ц), щебня (Щ) и песка (П) по известным методикам [1, 2]:

$$\text{Ц/В} = 1,77; \text{В} = 180 \text{ л/м}^3; \text{Ц} = 319 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{Щ} = 1216 \text{ кг/м}^3; \text{П} = 658 \text{ кг/м}^3.$$

Приведем расчетный состав бетона:

$$\text{Ц} = 319 \text{ кг/м}^3; \text{В} = 180 \text{ кг/м}^3; \text{Щ} = 1216 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{П} = 658 \text{ кг/м}^3; \text{V}_v = 20 \text{ л/м}^3;$$

Библиографический список

1. **Баженов Ю.М.** Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1975.
2. **Сизов В.П.** Проектирование составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1980.
3. **Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н.** Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971.
4. **Кайсер Л.А., Чехова Р.С.** Цементы и их рациональное использование при производстве сборных железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1972.
5. **Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.** Проектирование составов бетона с заданными свойствами. Ровно: РДТУ, 1999.
6. **Дворкин Л.И.** Оптимальное проектирование составов бетона. Львов: Вища школа, 1981.
7. **Рыбьев И.А.** Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1978.

Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона

Исследование структурных параметров бетона, влияние их на долговечность, физико-механические характеристики и параметры трещиностойкости удобнее всего изучить при помощи планового эксперимента. Так как выбор плана – это всегда компромиссное решение, то нами был выбран план эксперимента для полиномиальных моделей второго порядка. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие получаемые из эксперимента характеристики: K_{Ic} , K_{IIc} , G_b , R_m , R_{bt} , R_b , E_b , $\Pi_{\text{микро}}$, $\Pi_{\text{макро}}$ (K_{Ic} – критический коэффициент интенсивности напряжений при деформациях нормального отрыва; K_{IIc} – то же при поперечном сдвиге; G_b – удельные энергос затраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины; Π – пористость). Кроме того, по полученным структурным характеристикам рассчитана долговечность (теоретическая) каждого из составов бетона при фиксированном перепаде температур (-20–+20°C) по методике [1]. В качестве факторов варьирования были выбраны 4 независимые характеристики состава бетона: 1) количество цемента на 1 м^3 – C ; 2) водоцементное отношение – B/C ; 3) количество заполнителя в единице объема – $K_{из}$; 4) максимальный размер крупного заполнителя – d_{max} .

Нами выбран насыщенный трехуровневый план [2] со следующими характеристиками: число независимых переменных (размерность) – 4; число неизвестных параметров – 15; число наблюдений в плане – 15; определитель нормированной ковариационной матрицы – $1,24 \times 10^6$; приведенный определитель нормированной ковариационной матрицы – 1,6; эффективность плана по D -критерию (D -эффективность) – 0,894;

Составы бетонов, подобранных в соответствии с матрицей планирования эксперимента, приведены в табл.1. Некоторые из составов были «экстремальными»; в практике строительства такие составы не применяются. Однако сужение интервалов варьирования привело бы к уменьшению области определения полученных моделей, а проектирование эталонных составов с учетом всех традиционных технологических требований и условий вообще бы сократило число наблюдений в плане до 1: плановый эксперимент это всегда жесткие и литые бетонные смеси.

После реализации матрицы планирования были получены физико-механические и энергетические характеристики бетонов 15 составов, представленные в табл. 2. В последнем столбце таблицы приведены теоретические значения долговечности всех составов бетона. Использовался щебень фракции при: $d_{max}=10\text{ мм}$ – 5-10мм, $d_{max}=20\text{ мм}$ – 10-20мм и $d_{max}=30\text{ мм}$ – 20-30мм,

то есть при изготовлении смеси применялся крупный заполнитель только одной фракции.

Структуроформирующие параметры исследованных бетонов приведены в табл. 3.

Таблица 1

Состав	d_{max} , мм	Расход материалов, кг/м ³			
		цемент	песок	щебень	вода
1	10	350	1113	795	154
2	20	500	444	1033	260
3	20	425	520	1033	255
4	20	425	373	1272	221
5	30	425	610	1033	221
6	30	350	466	1272	210
7	30	500	312	1272	220
8	30	500	575	795	300
9	10	500	102	1272	300
10	30	350	613	1272	154
11	30	350	939	795	210
12	30	350	466	1272	210
13	10	500	575	795	300
14	10	500	312	1272	220
15	10	500	786	795	220

Таблица 2

состав	R_m , МПа	R_{bt} , МПа	R_b , МПа	K_{Ic} , МН/м ^{3/2}	K_{IIc} , МН/м ^{3/2}	G_b , Н/м	Долговечность, год
1	46,6	2,36	31,7	0,61	4,87	27,6	145
2	30,7	2,13	23,8	0,59	4,26	13,9	131
3	21,6	1,77	19,2	0,52	3,02	11,0	100
4	29,0	1,74	21,1	0,53	4,00	11,5	103
5	33,1	1,76	22,4	0,61	3,54	15,8	122
6	26,5	1,70	18,2	0,57	3,78	14,0	118
7	37,3	2,21	22,9	0,60	5,44	24,2	112
8	24,9	1,33	16,2	0,60	3,73	13,9	120
9	21,7	1,40	19,2	0,47	3,43	15,6	77
10	43,5	2,04	26,4	0,60	4,18	25,0	142
11	29,7	1,95	23,4	0,62	3,45	16,1	150
12	27,3	1,20	19,4	0,53	3,32	16,3	109
13	27,5	1,37	22,3	0,44	3,17	15,5	108
14	38,1	2,04	24,9	0,59	5,39	22,7	139
15	44,0	2,10	32,3	0,75	5,09	19,7	186

№ состава бетона	Макропоры(0.1-2,0 мм)				Микропоры(0.01-0,1 мм)			
	П _{макро} -%	Фактор формы	Расстояние между порами, мм	Средн. размер, мм	П _{микро} -%	Фактор формы	Расстояние между порами, мм	Средн. размер, мм
1	9,29	0,74	2,31	0,49	4,17	0,48	0,16	0,027
2	1,7	0,31	2,27	0,25	2,9	0,64	0,31	0,044
3	2,33	0,31	2,36	0,29	2,8	0,56	0,20	0,027
4	3,52	0,25	1,87	0,28	2,8	0,56	0,22	0,03
5	2,26	0,28	2,35	0,27	5,9	0,43	0,13	0,026
6	1,83	0,25	2,65	0,26	2,2	0,59	0,26	0,032
7	1,81	0,3	3,01	0,28	1,6	0,61	0,27	0,028
8	2,18	0,25	2,32	0,27	1,5	0,58	0,32	0,032
9	5,61	0,3	2,04	0,36	7,2	0,43	0,11	0,025
10	2,36	0,4	1,86	0,25	4,1	0,57	0,21	0,035
11	1,26	0,7	2,83	0,25	1,8	0,58	0,29	0,032
12	5,19	0,32	1,47	0,27	5,6	0,43	0,14	0,027
13	1,45	0,54	2,34	0,25	3,1	0,52	0,19	0,027
14	1,8	0,34	2,08	0,24	3,2	0,48	0,13	0,019
15	1,04	0,51	2,75	0,23	2,4	0,58	0,25	0,032

Окончательно были получены следующие полиномиальные модели для исследуемых характеристик (приведены некоторые из них):

$$R_b = 56,25 + 0,082Ц - 52,61(B/Ц) - 131,9K_{la} + 1687,7d_{max} - 1,992Ц \cdot d_{max} + 181,4(B/Ц) \cdot K_{la} - 1617,5(B/Ц) \cdot d_{max} \quad (1)$$

$$K_{IC} = 1644 + 0,000005Ц^2 - 0,003Ц - 0,767(B/Ц) - 0,967K_{la} + 15,466d_{max} - 0,002Ц \cdot (B/Ц) + 2,5(B/Ц) \cdot K_{la} - 28,89K_{la} \cdot d_{max} \quad (2)$$

$$K_{IIC} = 22,034 + 0,000066Ц^2 + 37,16K_{la}^2 - 0,04Ц - 1,454(B/Ц) - 29,73K_{la} - 206,22d_{max} - 0,029Ц \cdot (B/Ц) + 0,153Ц \cdot d_{max} + 27,125(B/Ц) \cdot d_{max} \quad (3)$$

$$G_i = 269,14 + 0,000458Ц^2 + 340,8(B/Ц)^2 - 164,3K_{la}^2 + 37288d_{max}^2 - 0,545Ц - 450,8(B/Ц) + 66,5K_{la} - 193,15d_{max} + 0,112Ц \cdot (B/Ц) + 0,153Ц \cdot K_{la} + 0,872Ц \cdot d_{max} \quad (4)$$

$$P_{микро} = 122,17 - 31,276(B/Ц)^2 + 77,45K_{la}^2 + 5398,3d_{max}^2 = 0,203Ц - 109,1(B/Ц) - 176,4K_{la} - 1000,06d_{max} + 0,211Ц \cdot (B/Ц) + 0,133K_{la} + 1,367Ц \cdot d_{max} + 118,13(B/Ц) \cdot K_{la} + 228,76(B/Ц) \cdot d_{max} \quad (5)$$

$$D = -114,92 + 0,0032Ц^2 - 166800d_{max}^2 - 0,802Ц + 1082,8(B/Ц) + 54,89K_{la} + 20420,7d_{max} - 3,014Ц \cdot (B/Ц) - 16,747Ц \cdot d_{max} - 13933K_{la} \cdot d_{max} \quad (6)$$

Приведем некоторые заслуживающие внимания выводы по результатам эксперимента:

- увеличение количества пор, микро- и макротрещин ведет к снижению параметров трещиностойкости и при нормальном отрыве и при поперечном сдвиге, а прочностные параметры менее чувствительны к изменению количества пор в структуре;

- увеличение округлости пор приводит к увеличению как силовых и энергетических параметров, так и прочности, что вполне оправдано, так как круглые поры имеют способность задерживать развитие трещины и гасить высокую концентрацию напряжений в вершинах этих трещин;

- структуроформирующие характеристики бетона хорошо коррелируют с параметрами его трещиностойкости K_{Ic} , K_{IIC} и плохо - с прочностными характеристиками (рис.1 и 2), что говорит о возможности с помощью констант механики разрушения интегрально оценивать и структуру, и трещиностойкость бетона;

- прогноз долговечности бетона может быть осуществлен по величине критического коэффициента интенсивности напряжений; связь между прочностью бетона и долговечностью неустойчива (рис.3), что говорит о том, что для прогноза долговечности применимы только параметры механики разрушения.

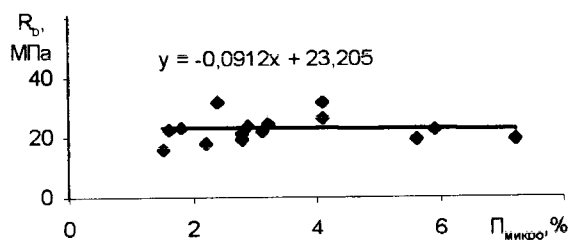
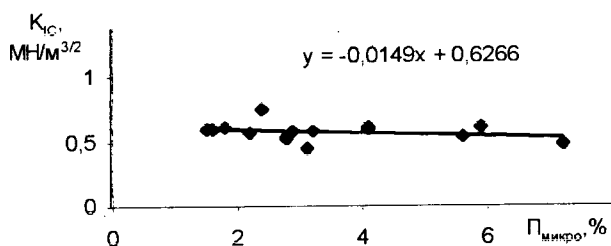


Рис. 1. Зависимость параметров K_{Ic} и R_b от микропористости

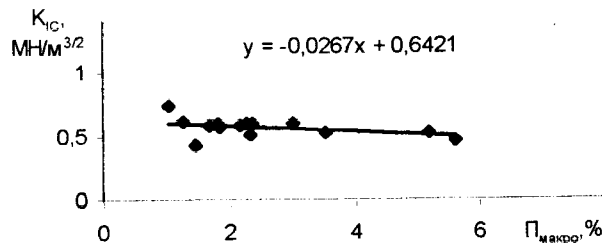
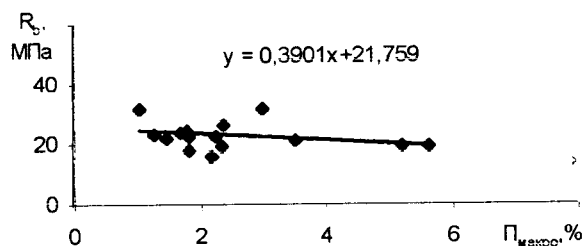


Рис. 2. Зависимость параметров K_{Ic} и R_b от макропористости

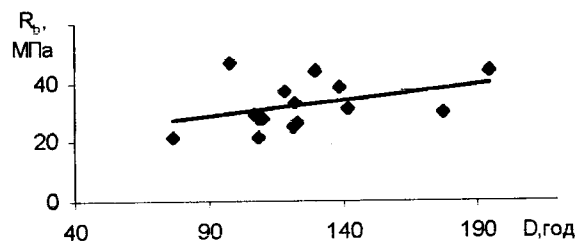
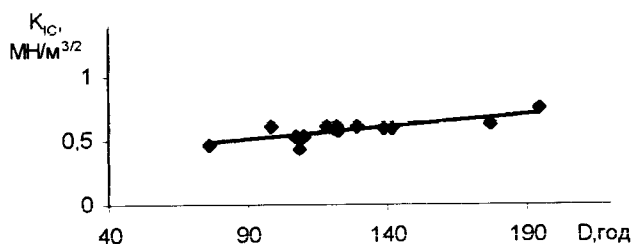


Рис. 3. Зависимость долговечности от параметров K_{Ic} и R_b

Отметим, что на базе зависимостей (1...6) разработана методика подбора состава бетона по его требуемой долговечности.

Библиографический список

1. Пирадов К.А Теоретические и эксперименталь-

ные основы механики разрушения бетона и железобетона. –Тбилиси:« Энергия »,1998. –318с.

2. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И. и др. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. –М.: «Металлургия», 1982. –752с.

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 редколлегию 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.

Опыт использования электроактивированной воды для затворения бетонных смесей

Целесообразность использования активации воды затворения бетонных смесей сегодня уже не вызывает никакого сомнения. Активировать воду возможно с помощью физических, механических или химических методов. Наиболее экономически и экологически оправданными являются методы физической активации. Особую популярность среди них (особенно в Европе) получил метод магнитной активации воды (МАВ) [1]. Опыт применения МАВ, включая наш собственный [2-3], доказывает высокую эффективность этих методик. Особенно целесообразно использование в этих целях специально разработанного нами аппарата [4]. Все чаще МАВ внедряется в технологические процессы промышленных строительных предприятий, где приносит реальную пользу и экономию [5].

Существует опыт применения электроактивированной воды, полученной за счет разделения её в электролизерах с помощью полупроницаемых мембран на анолит и католит ("живую"-"мертвую" воду) [6]. Однако возможность промышленного использования этих методик вызывает большие сомнения из-за достаточно непростой технологии получения используемого в технологических процессах католита, значительных энергетических, эксплуатационных и капитальных затрат, из-за необходимости утилизации более чем половины обрабатываемой воды и др. Поэтому нами разработан способ электроактивации [7] и экспресс-анализ эффективности электроактивации (ЭЭА) воды [8], которые позволяют просто и недорого готовить активированную воду для затворения бетонных смесей, получая при этом 100%-воспроизводимые результаты электроактивирования. Приоритет электроактивации перед магнитной активацией следует признать ещё и потому, что механизм влияния электро-

активации хотя бы на феноменологическом уровне поддается логической интерпретации. В данной работе мы пытаемся обобщить результаты использования электроактивированной по нашей методике [7-8] воды затворения бетонов, проведенные сотрудниками кафедр физики и ТеСМИ Оренбургского госуниверситета в течение более чем двух лет.

В настоящее время нет общепринятой научной теории, исчерпывающе раскрывающей механизм образования и твердения вяжущих при их взаимодействии с водой. Разработанные теории Ле Шателье (1887г.) и коллоидная теория твердения В.Михазлиса (1893г.) хотя и не утратили до сих пор своей актуальности, все же, даже несмотря на блестящее обобщение этих теорий А.А.Байковым (1923г.), не позволяют выявить тонкие механизмы образования цементного камня. Сегодня нет полной ясности в вопросе о том, как физико-химические свойства самой воды затворения (вязкость, поверхностное натяжение, смачивающая и диссоциирующие способности, коагуляционные свойства и др.) влияют на процессы твердения и созревания клинкерных минералов.

По утверждению А.А.Байкова [9], процессы твердения минеральных вяжущих веществ, образующих гидратные соединения, можно разделить на три этапа. Первый этап (начинающийся с момента смешивания связующего с водой) – вяжущее растворяется в воде и образуется его насыщенный раствор. Второй этап – идет присоединение воды к твердой фазе вяжущего. В результате возникают гидратные соединения высокой коллоидной дисперсности, происходит "схватывание" массы. Третий этап – коллоидные частицы новообразований перекристаллизовываются с образованием более крупных кри-

сталлов, что сопровождается твердением системы и ростом её прочности.

Следует отметить, что, как правило, все три этапа накладываются друг на друга, т.е. практически идут одновременно. Механизм образования гидратных соединений зависит от свойств исходных материалов и условий, при которых идет реакция между ними и водой [10].

Нами разработана методика обработки воды электрическим полем, которую можно использовать для затворения бетонных смесей, позволяющая в широких пределах изменять её физико-химические свойства, насыщая её до нужной концентрации электрическим зарядом [7]. Разработан и запатентован способ контроля степени её электроактивации [8]. Это открывает для нас возможность, используя чисто КТД-подход [11], активно вмешиваться в процесс на любом из этапов формирования цементного камня.

Так, увеличение смачивающей способности, диссоциирующих свойств воды и поверхностного натяжения безусловно облегчат образование насыщенного раствора на первом этапе. Обнаруженное нами уменьшение вязкости и поверхностного натяжения облегчают силам Ван-дер-Ваальса работу по образованию геля и "схватыванию массы", а насыщение воды затворения дополнительными центрами кристаллизации стимулируют процесс кристаллообразования в перенасыщенном растворе. Активизация после электрообработки процессов коагуляции способствует более интенсивному укрупнению кристаллов и т.д.

Водопотребность портландцементов обычно 24-28% [10]. Практически же в нашем случае для получения теста нормальной густоты водоцементное отношение составляет 0,39-0,56. С увеличением количества воды затворения пористость изделий, естественно, возра-

стает, а прочность уменьшается. Приобретение после обработки воды, по Помазкину, пластифицирующих свойств [2] позволяет значительно уменьшить расход воды, необходимый для обеспечения нужной при производстве изделий консистенции и удобоукладываемости без применения для этих целей дорогостоящих и ядовитых суперпластификаторов.

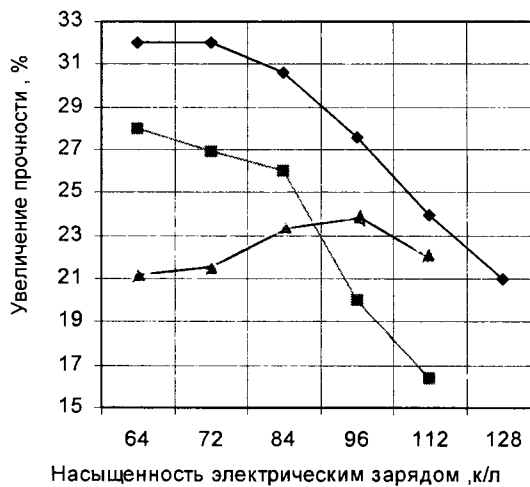
Чтобы экспериментально оценить эффективность электрообработки воды затворения по разработанной нами технологии, в лабораториях ТеСМИ Оренбургского государственного университета были проведены исследования бетонных стандартных кубов. Более чем на 400 образцах были исследованы подвижность бетонных смесей, затворенных необработанной и электроактивированной (ЭА) водой, и прочностные характеристики бетона. Подвижность бетонной смеси измеряли по осадке конуса Абрамса, жесткость – в соответствии с ГОСТ 10181.1-81 (Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости). Прочность определяли на образцах-кубах с ребром 0,1 м по величине разрушающего усилия на гидравлическом прессе П-125. Плотность насыщения воды электрическим зарядом (заряд единицы массы) Q'' вычисляли по формуле [7]

$$Q'' = It / V_0,$$

где I – ток, текущий между электродами при электрообработке; t – время заполнения через прибор объема V_0 .

Эффективность электроактивации (ЭА) воды определяли по оригинальной методике [8] с помощью прибора ТЛФП-579/67М. Рабочий состав бетонной смеси ($кг/м^3$): цемент (М400) – 312,3; щебень – 1211,8; песок – 772,6. Количество воды варьировали таким образом, чтобы получить примерно одинаковую удобоукладываемость бетонных смесей на обычной и ЭА воде. Испытания проводили на трех режимах жесткости, при этом в зависимости от плотности электроактивации воды водоцементное отношение приходилось варьировать от 0,39 до 0,56.

Исследовано 5 режимов электроактивации. Четко прослеживается



Эффективность применения электроактивации в зависимости от жесткости и насыщения зарядом

1 — жесткость 7 с; 2 — жесткость 5 с; 3 — жесткость 4 с

приобретение водой пластифицирующих свойств. Для того, чтобы получать смеси примерно одинаковой жесткости при их затворении простой и ЭА водой, как правило, приходилось брать ЭА воды на 12-20% меньше. При одинаковых объемах воды осадка конуса, затворенного ЭА водой, всегда была значительно больше.

Результаты исследования зависимости прочности от электроактивации воды и для разных значений её жесткости приведены на рисунке.

По вертикальной оси на рисунке отложен процент увеличения прочности куба по отношению к контрольному образцу той же жесткости, затворенному обычной водопроводной водой. По горизонтали – значение величины заряда единицы массы воды затворения, рассчитанная по вышеприведенной формуле. Видно, что прочность образцов, затворенных ЭА водой, по сравнению с контрольными образцами, выше. Характер зависимости изменения упрочняющего эффекта от насыщения воды затворения электрическим зарядом в значительной степени определяется жесткостью бетонной смеси. Так, у кривых для жесткости 5с и 7с с увеличением насыщенности электрическим зарядом (НЭЗ) воды наблюдается явное уменьшение эффекта. В диапазоне НЭЗ 84-112 Ккл/м³ этот спад происходит практически по линейному закону (жесткость 5с - DR/R = 0.43; жесткость 7с - DR/R = 0.34). Образцы с

жесткостью 4с ведут себя иначе. Сначала прочность в зависимости от НЭЗ растет (на 14%), а затем незначительно (на 8%) падает, причем, хотя это падение статистически достоверно, оно фактически находится в пределах погрешности используемых экспериментальных методик. Оптимальной НЭЗ для образцов с жесткостью 5с и 7с следует считать 64-84 Ккл/м³, а для жесткости 4с – 84-112 Ккл/м³. При этом среднее значение упрочняющего эффекта для оптимального значения НЭЗ у образцов с жесткостью 7с равно 31%, с жесткостью 5с – 27%, с жесткостью 4с – 23%.

Таким образом, видно, что электроактивация воды затворения по нашему способу улучшает характеристики бетонных изделий, в частности их прочность. Следовательно, соответственно скорректировав заводские нормы, можно выйти на солидную экономию вяжущего.

Выводы

1. Электроактивация воды затворения по нашему способу существенно улучшает характеристики бетонных изделий.

2. Эффективность упрочнения изделий в значительной степени зависит от жесткости бетонной смеси.

3. Поскольку ЭАВ обладает пластифицирующим эффектом, её применение в производстве бетонных и железобетонных конструкций может способствовать снижению ис-

пользования пластификаторов, а зачастую позволит вообще отказаться от их применения.

4. Корректировка заводских норм расхода исходных компонентов бетонной смеси позволит экономить цемент и воду, уменьшить продолжительность тепловой обработки изделий.

Библиографический список

1. Vermeiren T., Belg. Patent №460560, 1945.
2. Помазкин В.А., Макаева А.А. Бетонная смесь на омрагниченной воде затворения, Российская конф. "Теория и практика применения суперпластификаторов

в композиционных строительных материалах", Пенза, 1993. - 36с.

3. Помазкин В.А., Макаева А.А. Перспективы использования магнито-активированной воды для затворения бетонных смесей//Бетон и железобетон. — №3. — 1998. —26с.

4. Помазкин В.А. Аппарат Помазкина для магнитной активации воды, Патент РФ RU № 2096339 С1, Бюлл. № 32, 20.11.97.

5. Свиных В.Я., Парамонов Н.Д., Афанасьева В.Ф., Патрасенко В.С. Магнитная обработка воды в производстве сборного железобетона. Доклады Международной научно-практической конф. "Критические технологии в строительстве", М., Россия, 1998. С.104-106.

6. " Способ подготовки воды для

подпитки тепловых сетей", АС СССР №1122617, Бюлл. № 41, 7.11.84.

7. Помазкин В.А. Способ подготовки воды для теплоэнергетики, Патент РФ RU № 2096336 С1, Бюлл. №32, 20.11.97.

8. Помазкин В.А. Экспресс-анализ физической активации жидкостей, Патент РФ RU№2097659С1, Бюлл. № 32, 20.11.97.

9. Байков А.А. Сборник трудов, Т 5, Из-во АН СССР, М. — 1948.

10. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. — 464 с.

11. Pomazkin V.A. The quasimolecular-kinetic and quasithermodynamic conception of unspecific physical influence, Sci. Rep.3-d International Conf., St Petersburg-Onega-Ladoga, 1999, page 68.

В.Л.ЧЕРНЯВСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.Е.КРУШЕДОЛЬСКАЯ, канд. техн. наук (Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры)

Об адаптационных свойствах бетонов на шлакопортландцементе

Адаптируемость бетона к эксплуатационной среде определяется возможностью сохранения (поддержания) им потребительских характеристик (прочность, деформативность, проницаемость, стойкость) в установленном диапазоне значений в период службы строительных конструкций [1]. Необходимыми условиями адаптации цементного бетона как структурно изменяющейся системы следует считать, во-первых, присутствие в нем материальных ресурсов (прежде всего, реликтов вяжущего) и, во-вторых, наличие механизмов их использования (поздние стадии гидратации, ранние стадии коррозии). Мощность источников адаптации определяет степень конструк-

тивной перестройки структуры бетона в эксплуатационный период за счет соотношения созидательных и разрушительных процессов [2].

Шлакопортландцемент является именно тем вяжущим, в составе которого технологически предусмотрено присутствие медленно гидратирующихся шлаковых минералов, которые служат эффективным источником структурообразующих и как следствие, адаптационных процессов. Последние должны стать предметом систематических наблюдений, особенно в связи с действием сульфатсодержащих сред различного происхождения.

В качестве объектов исследования были выбраны бетоны, изготов-

ленные на балаклейском марки М400 (БШПЦ), анвросиевском марки М300 (АШПЦ) шлакопортландцементе и анвросиевском сульфатостойком портландцементе марки М400 (ССПЦ) (табл. 1), выпускаемых в настоящее время ОАО «Балцем» и ОАО «Донцемент» соответственно.

Добавка доменного шлака составляла в АШПЦ и БШПЦ соответственно 60 и 50 % по массе. Для изготовления бетонных образцов - кубов с ребром 7 см использовали мелкозернистый кварцевый песок Безлюдовского месторождения и гранитный щебень Барвенковского месторождения. Кроме бетонов нормального твердения исследовали

Таблица 1

Вид и марка цемента	Содержание главных минералов в клинкере, %			
	C ₃ S	β-C ₂ S	C ₃ A	C _x A _y F _z
БШПЦ М400	61,5	18,4	5,8	13,0
АШПЦ М300	45,2	20,8	6,4	23,3
ССПЦ М400	48,3	28,2	4,3	14,3

Индекс бетона	Вид цемента	Марка по водонепроницаемости	Нормальное твердение		Термовлажностная обработка	
			$R_{сж}^{(28)}$, МПа	pH	$R_{сж}^{(28)}$, МПа	pH
Б1	АШПЦ	W4	20,5	12,2	28,2	12,0
Б2	БШПЦ	W4	22,5	12,3	28,1	12,1
Б3	БШПЦ	W8	40,8	12,3	48,6	12,1
Б4	ССПЦ	W4	23,6	12,6	27,4	12,5
Б5	ССПЦ	W8	44,7	12,7	47,0	12,5

бетоны аналогичного состава, подвергавшиеся термовлажностной обработке (выдерживание при 20°C - 2ч, подъем температуры до 80°C - 8ч, изотермический прогрев - 6ч). Лабораторные режимы состояли из чередующихся циклов N увлажнения (24ч.) образцов водопроводной водой (200 мг/л ионов SO_4^{2-}) и нагрева (24ч.) при температурах 40; 60; 90°C (режимы IA, IIA, IIIA) или увлажнения 5 %-ным раствором сульфата натрия (33800 мг/л ионов SO_4^{2-}) с последующим нагревом при указанных ранее температурах (режимы IB, IIB, IIIB). При этом сознательно выполняли условия неполного увлажнения и высыхания бетона, т.к. в зависимости от его проницаемости, в массопереносе участвуют различные по глубине слои образцов, что отвечает реальному воздействию среды, например на конструкции основных цехов предприятий черной металлургии [3]. Свойства бетонов к началу лабораторных воздействий приведены в табл. 2.

В качестве параметров, определяющих свойства бетона как первичной защиты оценивали значения pH водной вытяжки из вяжущей составляющей бетона, отобранной из образцов с глубины 3...3,5 см, по разработанной ранее методике [4], а также относительную прочность $E_N = R_{сж}^{(N)}/R_{сж}^{(28)}$ и относительное капиллярное водопоглощение $M_N = W_C^{(N)}/W_C^{(28)}$. При проведении испытаний соблюдали правила их статистического обеспечения.

Анализ экспериментальных результатов, фрагмент которых приве-

ден на рисунке, позволил расширить представление о взаимосвязи созидательных и разрушительных процессов в бетоне при переменном воздействии водных растворов и повышенных температур, описанном ранее [2] для бетонов на портландских цементах. Так, при периодическом увлажнении сульфатсодержащим раствором и нагреве при 40°C вид использованного цемента несущественно влияет на относительную прочность бетонов. При этом снижение параметра E_N в первом случае происходит практически линейно, а во втором - с некоторым торможением. При периодическом увлажнении раствором сульфата натрия и температурах нагрева 60 и 90°C вид и марка цемента оказывают существенное влияние на E_N бетонов. В режиме воздействия IIB для бетонов на АШПЦ характерна линейная зависимость снижения этого параметра, а для бетонов на БШПЦ и ССПЦ - нелинейная с торможением. Значения E_N бетонов на БШПЦ в 1,1...1,2 раза выше, чем бетонов на ССПЦ аналогичных марок. Относительная прочность бетонов на АШПЦ и ССПЦ практически не отличались.

Различия в поведении исследованных бетонов в режиме IIIB возросли: E_N бетонов на АШПЦ и БШПЦ соответственно в 1,6...1,7 и 2,1...2,2 раза выше по сравнению с бетонами на ССПЦ независимо от условий их твердения и марки по водонепроницаемости. Бетоны на более активном БШПЦ М400 в этом режиме характеризуются большими в 1,3 раза значениями E_N , чем бетоны на АШПЦ М300. Для первых

снижение параметра E_N во времени происходит с торможением или линейно и менее интенсивно, чем у вторых, у которых отмечалось некоторое ускорение изменения указанной характеристики. Аналогичная, но не так ярко выраженная картина наблюдалась в режиме IIB. Более четко эта ситуация прослеживается в результате анализа зависимостей параметра E_N от температуры. Так, в режимах IA, IIA, IIIA с ростом температуры E_N бетонов изменяется незначительно. В режимах IB, IIB, IIIB E_N снижается более интенсивно, что для бетонов на АШПЦ и БШПЦ проявляется лишь в режимах IIB и IIIB. В режимах IA, IIA, IIIA, IB бетоны, подвергшиеся термовлажностной обработке в ранний период твердения на всех исследованных цементах оказались менее стойкими (на 10...15 %) по сравнению с нормально твердеющими бетонами. В режимах IIB, IIIB существенного влияния условий твердения на относительную прочность бетонов на шлакопортландцементе не обнаружено. Здесь E_N бетонов марки по водонепроницаемости W4, независимо от вида цемента в 1,4...1,6 раза ниже, чем бетонов марки W8.

Сопоставление зависимостей E_N -N и M_N -N показало, что одновременно с ростом значений E_N наблюдается снижение значений M_N и наоборот. Сравнительный анализ параметра M_N не выявил четкого влияния вида цемента на структурные свойства бетонов в режимах IA, IIA, IIIA, IB. В процессе этих воздействий значения M_N для всех исследованных бетонов одинаковой марки по водо-

непроницаемости, как и значения E_N , оказались близкими. В режимах ИБ, ИИБ интенсивность разуплотнения бетонов намного выше и зависит от вида цемента и марки бетона по водонепроницаемости так же, как интенсивность изменения параметра E_N . Видно, что изменение M_N в целом согласуется с изменением E_N , однако, четкая пропорциональная зависимость между ними не установлена. Так, не всегда совпадают по времени их экстремальные значения, а при значительном снижении $E_N < 0,5$ разброс абсолютных значений M_N колеблется в пределах 1,8...2,5.

Показано, что начальные значения рН водной вытяжки из бетонов на шлакопортландских цементах на 0,3...0,5 единицы ниже, чем при использовании портландцемента. В процессе воздействий характер снижения рН оказался идентичным для всех исследованных бетонов. Статистическая оценка различия значений рН показала, что интенсивность снижения рН у бетонов на АШПЦ и БШПЦ, отличается от таковой у бетонов на ССПЦ и степень этого отличия увеличивается с ростом концентрации сульфат-ионов в растворе и температурой нагрева. При этом менее интенсивно происходит снижение рН водной вытяжки из бетонов на шлакопортландских цементах, независимо от их состава и условий твердения. Для всех бетонов одной марки по водонепроницаемости в режимах IA, IIA, IIIA, IB вне зависимости от вида цемента значения рН практически одинаковы за весь

период воздействия. Для бетонов, испытываемых в режимах ИБ, ИИБ аналогичная оценка свойственна периоду снижения до значения $E_N \geq 0,5$.

Непосредственные исследования защитных свойств бетонов по отношению к стальной арматуре показали, что вид цемента практически не влияет на время наступления деактивации стали при всех режимах воздействия. Повышение марки бетона по водонепроницаемости с W4 до W8 существенно влияет на продолжительность периода сохранения защитных свойств. Например, в режиме IIIA защитная способность бетона марки W8 на шлакопортландских цементах оказалась примерно в 2 раза выше, чем у бетона W4, а в режиме ИИБ - в 2,5 раза соответственно.

Наибольшее влияние на защитные свойства по отношению к стальной арматуре исследованных бетонов оказывает характер агрессивного воздействия. Так, повышение температуры нагрева от 40 до 60°C при увлажнении водой снижает защитную способность бетонов примерно в 2 раза, а при увлажнении раствором сульфата натрия - в 1,2 раза. Влияние концентрации сульфат-ионов на защитные свойства бетонов проявляется особенно заметно при температурах 40 и 90°C: защитная способность бетонов с переходом от воды к сульфатсодержащему раствору снижается в 3,3 раза, при температуре 60°C - в 1,7 раза. При этом вид цемента на отмеченные зависимости существенного влияния не оказывает.

Таким образом, продолжительность периода сохранения потребительских свойств в условиях действия сульфатсодержащих водных растворов и повышенных температур бетонами на шлакопортландском и сульфатостойком портландском цементах, нормально твердевших и подвергавшихся термообработке, гарантированно идентичны. Полученные экспериментальные результаты могут служить основанием для существенного расширения сферы использования шлакопортландцемента в качестве вяжущего для коррозионно стойких бетонов.

Библиографический список

1. Чернявский В.Л. О практическом использовании адаптационных свойств бетона // Бетон и железобетон. - 1998. - №6. - С. 24-27.
2. Чернявский В.Л. Повышение антикоррозионных свойств бетона. - Киев: Будивельник, 1983. - 88 с.
3. Заславский И.Н., Флак В.Я., Чернявский В.Л. Долговечность зданий и сооружений предприятий черной металлургии. - М.: Стройиздат, 1979. - 72 с.
4. Алексеенко Л.Н., Чернявский В.Л. К методике определения величины рН водных вытяжек из цементных материалов // Изв. Вузов. Химия и химическая технология. - 1983. - т. XXVI, вып.3. - с.335-337.

Уважаемые читатели!

С 1 апреля с.г. началась подписка на журнал "БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН" на второе полугодие 2002 г. Сведения о подписке содержатся в Объединенном каталоге (он зеленого цвета) "Почта России" (АРЗИ).

Подписной индекс 70050.

Подписка принимается во всех отделениях связи без ограничений.

Тел. для справок 292-6205.

Д.Р.МАИЛЯН, Р.Л.МАИЛЯН, доктора техн. наук, профессора, М.В.ОСИПОВ, магистрант
(Ростовский-на-Дону государственный строительный ун-т)

Железобетонные балки с предварительным напряжением на отдельных участках

В изгибаемых свободно опертых по концам железобетонных элементах моменты достигают наибольших значений, как правило, на участках, расположенных посередине пролета, в сечениях же приопорных участков они существенно снижаются. В изгибаемых элементах с ненапрягаемой арматурой рабочая продольная арматура, подобранная по максимальным значениям изгибающих моментов, в целях сокращения ее расхода, в приопорных сечениях в соответствии с эпюрой моментов может быть частично оборвана, поскольку необходимость в ней на этих участках уменьшается.

В балках с предварительно напряженной арматурой при существующих способах их изготовления обрыв преднапряженной арматуры в пролете не представляется возможным, ее приходится протягивать на всю длину элемента и заанкеривать на торцах. Это приводит к излишнему расходу стали, а также к некоторым негативным явлениям, рассматриваемым ниже.

Предварительное растяжение арматуры растянутой зоны усилием P приводит к образованию моментов $M_p = P(y_c - a)$, где y_c – расстояние от линии действия усилия P до оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения железобетонной балки. Под действием этих моментов балка получает выгиб, который уменьшает суммарный прогиб балки при приложении внешней нагрузки q , что весьма важно, особенно в большепролетных конструкциях. Однако при достаточно большом значении момента M_p на верхней грани балки по всей длине возможно образование трещин. Эти трещины в пролетных сечениях бал-

ки под воздействием внешней нагрузки закрываются, тем не менее несколько снижают жесткость сечений.

Закрытие трещин происходит лишь в пролетных сечениях, в которых отрицательные моменты погашаются положительными моментами от внешней нагрузки. В приопорных же сечениях отрицательные моменты, вызванные преднапряжением, также как и трещины, вызванные ими, остаются непогашенными. Кроме того, усилия преднапряжения P , приложенные к торцам балки могут вызвать разрушение бетона от местного сосредоточенного сжатия. Во избежание этого, приопорные участки балки приходится дополнительно армировать сетками, устанавливаемыми в плоскостях сечений с определенным шагом. Такие сетки необходимы также для предотвращения образования трещин и раскола бетона при отпуске преднапряжения, сопровождающегося увеличением диаметра арматуры на длине зоны анкеровки l_p и связанного с ним радиального давления на бетон.

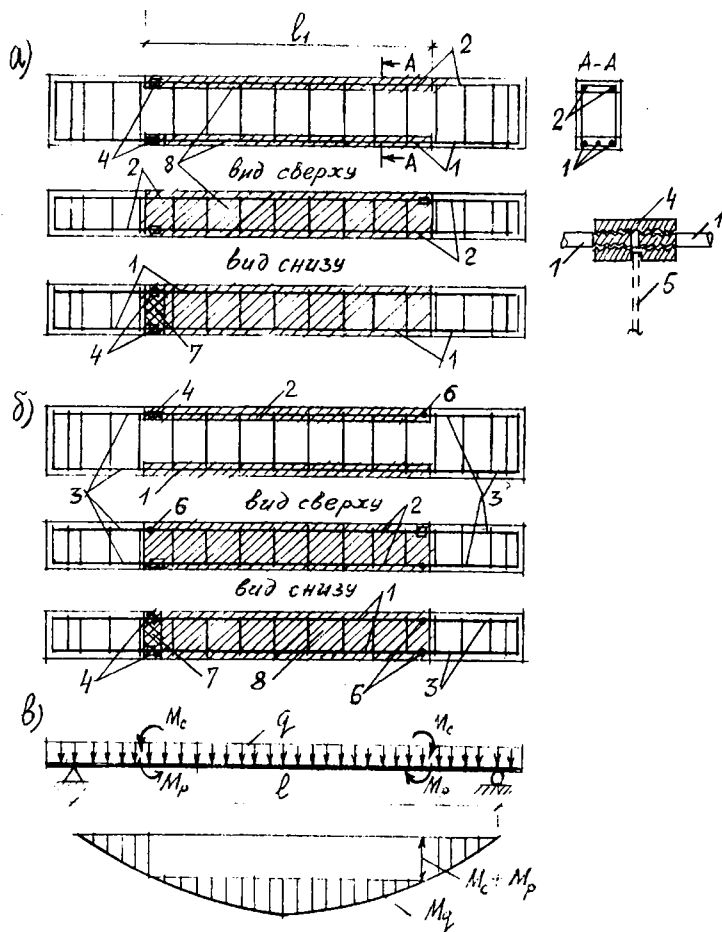
При больших значениях усилия преднапряжения P в целях уменьшения раскрытия трещин на верхней грани предварительно растянутую арматуру нередко располагают также у верхней грани балки. Это, однако, при значениях преднапряжения σ'_{sp} больше расчетного сопротивления арматуры сжатию R_{sc} , может привести к снижению несущей способности балки.

Во избежание разрушения торцов железобетонных балок и образования трещин на приопорных участках предварительно растянутую арматуру на концевых участках иногда отгибают, что увеличивает также сопротивление балок попе-

речным силам. Это, как правило, возможно лишь при натяжении арматуры на бетон, что требует устройства каналов и их инъецирования после натяжения арматуры.

Арматуру сжатой зоны железобетонных изгибаемых элементов, как известно, в ряде случаев (особенно при ξ близком к ξ_R) целесообразно подвергать предварительному сжатию. Это позволяет значительно увеличить предельные суммарные напряжения сжатия в арматуре, достигаемые при разрушении бетона сжатой зоны. Сжимающие напряжения в арматуре при этом составляют $R_{sc} + \sigma'_{sp}$, где σ'_{sp} – значение предварительного сжатия арматуры. Открыв таким образом путь к полной реализации механических свойств высокопрочной арматуры в сжатой зоне, можно существенно сократить расход расчетной сжатой арматуры.

При отпуске предварительно сжатой арматуры при существующих способах изготовления железобетонных конструкций проявляются те же недостатки, которые отмечены выше. Технологические трещины, образующиеся в зоне расположения предварительно сжатой арматуры, при воздействии внешней нагрузки закрываются только в пролетных сечениях, так как на приопорных участках отрицательные моменты не погашаются. При существующей технологии изготовления преднапряженных балок предварительное сжатие арматуры, как и предварительное растяжение приходится осуществлять по всей длине балки – от одного торца до другого, хотя необходимости преднапряжения на приопорных участках свободно опертых элементов, как правило, нет.



Предлагаемый способ изготовления железобетонных балок с предварительным напряжением на ограниченном участке

а – при арматуре одного класса по длине балки; б – при арматуре разных классов; в – эпюра изгибающих моментов от совместного действия усилий преднапряжений и внешней нагрузки

1 – высокопрочная арматура, подвергаемая предварительному растяжению; 2 – то же, подвергаемая предварительному сжатию; 3 – невысокопрочная арматура; 4 – муфта; 5 – съемный рычаг муфты; 6 – сварной стык; 7 – окна в набетонке; 8 – набетонка

При комбинированном преднапряжении, когда арматура растянутой зоны подвергается предварительному растяжению, а арматура сжатой – предварительному сжатию, отмеченные недостатки усугубляются, так как ширина раскрытия технологических трещин возрастает и непогашенные отрицательные моменты на приопорных участках увеличиваются.

В целях устранения указанных недостатков и повышения технико-экономических показателей железобетонных изгибаемых элементов с комбинированным преднапряжением предлагается создавать предварительное напряжение высокопроч-

ной арматуры на ограниченных участках – только на тех, где это необходимо для улучшения характеристик конструкций. За пределами таких участков следует отказаться от предварительного напряжения и переходить на обычную не высокопрочную арматуру. Реализация этой идеи позволит не только снизить расход дефицитной стали, но и повысить технические характеристики конструкции.

Для осуществления этого предложения авторами разработана специальная технология изготовления железобетонных конструкций с переменным вдоль элемента предварительным напряжением. При бето-

нировании элемента участки арматуры, которые следует подвергнуть предварительному сжатию или растяжению оставляют открытыми (см. рисунок). Если класс арматуры по длине балки не изменяется, то арматурные стержни 1 растянутой зоны и 2 сжатой зоны состояются из двух отрезков, соединяемых муфтами 4, имеющими внутреннюю нарезку. После набора бетоном передаточной прочности вращением муфты, снабженной съемным рычагом 5, в каждом арматурном стержне на участке длиной l_1 создается предварительное напряжение требуемого значения и знака. Устойчивость стержней 2 при предварительном сжатии обеспечивается их привязкой вязальной проволокой к замкнутым хомутам, располагаемым с шагом принятым в нормах.

Затем обнаженные участки 8 арматуры бетонируются, при этом оставляются открытыми окна 7 около муфт только на предварительно растянутой арматуре 1. Совместность работы набетонки с ранее уложенным бетоном обеспечивается поперечной арматурой, пересекающей поверхность сцепления слоев бетона. По достижении набетонкой достаточной прочности вращением муфты на предварительно растянутой арматуре в обратном направлении производится передача преднапряжений на набетонку, подвергающуюся обжатия. После этого окна 7 закрываются бетоном. В результате достигается поставленная цель – в высокопрочной арматуре 2 сжатой зоны на участке длиной l_1 создается предварительное сжатие, а в высокопрочной арматуре 1 растянутой зоны – предварительное растяжение. При этом предварительное растяжение бетона и образование трещин в набетонке с предварительно сжатой арматурой исключаются, а набетонка с предварительно растянутой арматурой подвергается обжатия, что повышает трещиностойкость.

Предложенная технология позволяет не только создавать преднапряжения на ограниченных участках, но и изменять класс и диаметр арматуры на слабо нагруженных участках. С этой целью арматурные

стержни состояются из трех отрезков – к средним из высокопрочной арматуры 1 или 2 с одного конца привариваются встык стержни 3 из невысокопрочной стали, а на другом конце такие же стержни 3 соединяются со средним с помощью муфт 4 (позиция б на рисунке).

При воздействии на железобетонный элемент предварительных напряжений на ограниченном участке длиной l_1 вдоль последнего образуются моменты $M_p = P(y_c - a)$ и $M_c = P_c(h - y_c - a')$ соответственно от усилия предварительного растяжения арматуры растянутой зоны и предварительного сжатия арматуры сжатой зоны. Эти моменты на участке l_1 частично погашают моменты M_q от внешней нагрузки (позиция в на рисунке). Поскольку на концевых участках балки моменты M_p и M_c равны нулю, то образование трещин на верхней грани балок на этих участках исключается.

При таком решении ликвидируется также основной недостаток железобетонных элементов с предварительно сжатой арматурой – передача растягивающих напряжений

на бетон при отпуске предварительно сжатой арматуры, что вызывает образование начальных технологических трещин. В предложенном способе набетонка 8 верхнего участка балки укладывается после создания предварительного сжатия арматуры, заанкеренной в бетоне на концевых участках балки, поэтому в набетонке 8 трещины не образуются.

При создании преднапряжений традиционными способами с помощью домкратов если натяжение стержней производится не одновременно в арматурных стержнях, натянутых ранее, преднапряжение уменьшается из-за дополнительного обжатия бетона, что снижает технические характеристики и учитывается при проектировании и расчете конструкций. При изготовлении же железобетонных конструкций предложенным способом в случае не одновременного натяжения арматурных стержней падение преднапряжения в ранее натянутых стержнях легко ликвидировать путем дополнительного поворота натяжных муфт.

Расчеты показывают, что созда-

ние требуемого преднапряжения в арматурных стержнях с помощью вращения муфт может осуществляться вручную. Так, при диаметре высокопрочной арматуры, равном 14 мм, для создания преднапряжения 600...800 МПа при муфте с углом наклона резьбы $2,1^\circ$ и шаге 1,5 мм требуемый крутящий момент составляет всего 6...8 кН·см.

Следует отметить, что устройство резьбы на концах арматурных стержней снижает площадь их сечений, что однако не влияет на несущую способность балки, так как ослабление сечений приходится на участки с пониженным значением изгибающих моментов.

Предложенное решение защищено Патентом России на изобретение №2170312.

Железобетонные балки с преднапряжением на отдельных участках наиболее рациональны, т.к. позволяют снизить расход высокопрочной стали, отказаться от усиления торцевых участков поперечными сетками, упростить технологию преднапряжения и повысить технические характеристики балок.

1-й конгресс ФИБ

Осака, 12–20 октября 2002 г.

Известные российской строительной общественности Международная федерация по железобетону – ФИП и Европейский комитет по бетону – ЕКБ после более чем 40-летнего сотрудничества объединились в 1998 г. в единую организацию – Международную федерацию по бетону и железобетону (**ФИБ**).

Первый конгресс новой объединенной организации пройдет в Японии, в городе Осака, в октябре 2002 г.

Основные темы, которые составят предмет рассмотрения на пленарных и секционных заседаниях конгресса, следующие:

- крупные строительные объекты и новые конструктивные решения зданий и сооружений из железобетона
- тоннели и подземные сооружения
- морские сооружения
- составные (композитные) конструкции
- расчет и проектирование

- нелинейный анализ и предельные состояния
- надежность железобетонных конструкций
- сейсмостойкость
- новые материалы
- долговечность
- высококачественный бетон
- эстетика
- эксплуатационный цикл железобетонных конструкций

Конгресс будет сопровождаться выставкой материалов и оборудования. Предусмотрены обширная культурная программа и экскурсии.

Зарегистрироваться в качестве делегата и получить необходимую информацию об условиях участия в первом конгрессе ФИБ можно в Интернете на сайте: <http://www.fib2002.com>

А.И.ЗВЕЗДОВ, А.С.ЗАЛЕСОВ, Т.А.МУХАМЕДИЕВ, Е.А.ЧИСТЯКОВ, доктора техн. наук (НИИЖБ)

Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам

Расчет прочности по нормальным сечениям железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил в общем случае предлагается производить на основе деформационной модели.

Деформационная модель для расчета прочности включает:

- уравнения равновесия внешних и внутренних сил в нормальном сечении

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{sxj}; \quad (1)$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{syj}; \quad (2)$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj}; \quad (3)$$

- уравнения, устанавливающие распределение деформаций в бетоне и арматуре по нормальному сечению исходя из условия плоского поворота и плоского смещения сечения (гипотезы плоских сечений)

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_o + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byi}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_o + \frac{1}{r_x} Z_{sxj} + \frac{1}{r_y} Z_{syj}; \quad (5)$$

- уравнения, определяющие связь между напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры

$$\sigma_{bi} = f(\varepsilon_{bi}); \quad (6)$$

$$\sigma_{sj} = f(\varepsilon_{sj}). \quad (7)$$

В уравнениях (1) ... (7) (рис. 1):

M_x, M_y, N - изгибающие моменты в плоскостях XOZ и YOZ и продольная сила от внешней нагрузки;

$A_{bi}, Z_{bxi}, Z_{byi}, \sigma_{bi}$ и ε_{bi} - площадь, координаты центра тяжести i -го элементарного участка сжатой зоны

бетона, напряжение и деформация на уровне его центра тяжести;

$A_{sj}, Z_{sxj}, Z_{syj}, \sigma_{sj}, \varepsilon_{sj}$ - площадь, координаты центра тяжести j -го стержня арматуры, напряжение и деформация в нем;

ε_o - относительная деформация волокна, расположенного на пересечении выбранных осей X и Y ;

$\frac{1}{r_x}, \frac{1}{r_y}$ - кривизны в плоскости действия моментов M_x, M_y .

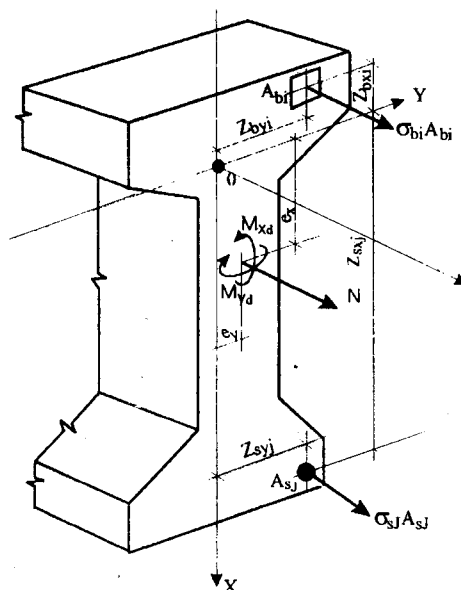


Рис. 1. Расчетная схема нормального сечения железобетонного элемента

За расчетные диаграммы состояния сжатого бетона принимают криволинейную диаграмму с ниспадающей ветвью (рис.2, а) или более простые диаграммы - трехлинейную и двухлинейную - типа диаграммы Прандтля (рис.2, б, в).

Аналитическая зависимость для описания криволинейной диаграммы с ниспадающей ветвью принята согласно рекомендациям международных норм* в виде

* СЕВ-FIP MODEL CODE, 1990.

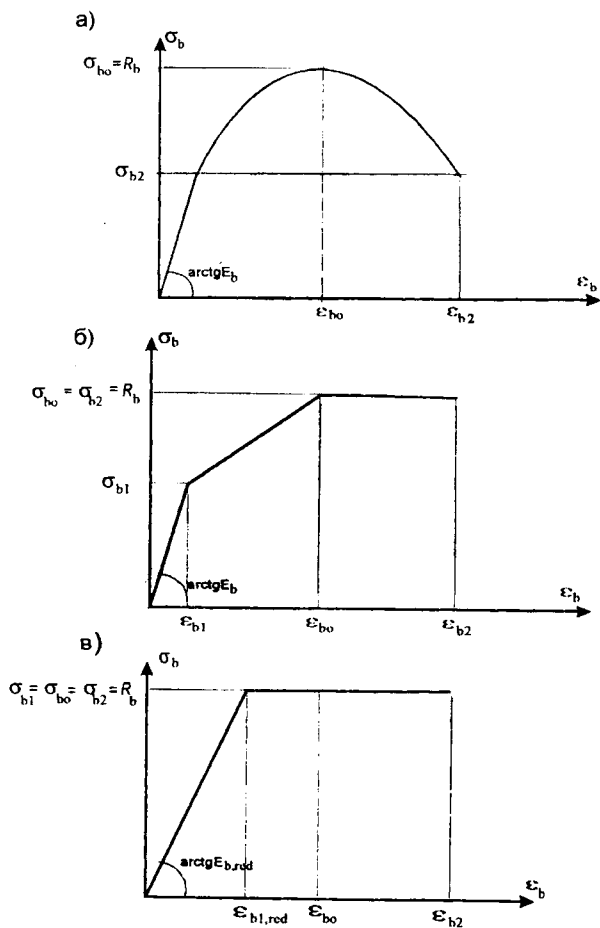


Рис. 2. Диаграммы состояния сжатого бетона
 а — криволинейная; б — трехлинейная; в — двухлинейная

$$\sigma_b = \frac{k \cdot n - n^2}{1 + (k - 2) \cdot n} \cdot R_b; \quad (8)$$

при этом $\varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$;

$$k = \frac{E_b \cdot \varepsilon_{bo}}{R_b};$$

$$n = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bo}}.$$

Значения максимальных относительных деформаций бетона ε_{b2} определяют по формуле

$$\varepsilon_{b2} = \frac{\varepsilon_{bo}}{2} \left[\left(\frac{k}{2} + 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{k}{2} + 1 \right)^2 - 2} \right]. \quad (9)$$

Эти значения деформаций соответствуют напряжениям $\sigma_b = 0,5 \cdot R_b$ в области ниспадающей ветви диаграммы.

Значения относительных деформаций ε_{bo} , отвечающих максимальным напряжениям R_b , принимают равными $\varepsilon_{bo} = 0,002$.

Зависимости для описания трехлинейной диаграммы приняты в виде

при $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$;

$$\sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b; \quad (10)$$

при $\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{bo}$;

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{bo} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] \cdot R_b; \quad (11)$$

при $\varepsilon_{bo} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$;

$$\sigma_b = R_b. \quad (12)$$

Граничные значения напряжений σ_{b1} и деформаций ε_{b1} упругого участка диаграммы принимают равными:

$$\sigma_{b1} = 0,6 \cdot R_b; \quad \varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b}.$$

Максимальные значения деформации на границе условно-пластического участка принимают равным $\varepsilon_{b2} = 0,0035$.

Двухлинейную диаграмму описывают зависимостями:

при $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1,red}$,

$$\sigma_b = E_{b,red} \cdot \varepsilon_b; \quad (13)$$

при $\varepsilon_{b1,red} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$,

$$\sigma_b = R_b. \quad (14)$$

Значения относительных деформаций $\varepsilon_{b1,red}$, отвечающих границе условно упругой работы бетона, принимают равными $\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$, а соответствующий приведенный модуль упругости

$$E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}}.$$

Приведенные параметры диаграмм относятся к тяжелому бетону класса по прочности на сжатие до В60 включительно при кратковременном статическом действии нагрузки и нормальных условиях окружающей среды. Для других случаев производят соответствующие корректировки параметров базовых точек диаграмм.

В качестве расчетной диаграммы состояния стержневой арматуры средней прочности класса до А500 включительно принимают двухлинейную диаграмму по типу диаграммы Прандтля (рис.3), которую описывают зависимостями:

при $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}$,

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s; \quad (15)$$

при $\varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$;

$$\sigma_s = R_s. \quad (16)$$

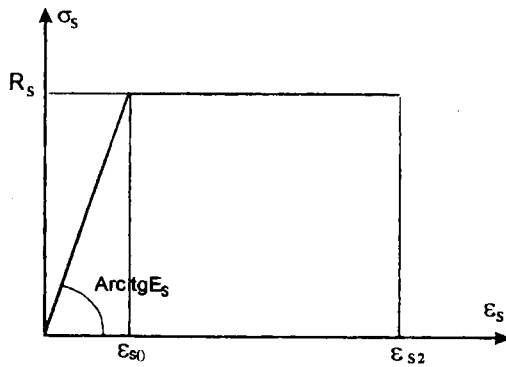


Рис. 3. Диаграмма состояния растянутой арматуры

Значение максимальной относительной деформации ε_{s2} , определяющей границу пластического участка диаграммы, принимают равной $\varepsilon_{s2}=0,025$.

Значение относительной деформации ε_{s0} , определяющей границу упругого участка диаграммы, принимают равной $\varepsilon_{s0} = \frac{R_s}{E_s}$.

Для высокопрочных арматурных сталей принимают криволинейную, трехлинейную или двухлинейную диаграммы.

Расчет прочности по нормальным сечениям железобетонных конструкций производят путем решения приведенной выше системы уравнений. При этом прочность сечения проверяют из условий

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b,ult}; \quad (17)$$

$$|\varepsilon_{s,max}| \leq \varepsilon_{s,ult}, \quad (18)$$

где $\varepsilon_{b,max}$, $\varepsilon_{s,max}$ - максимальные относительные деформации в сжатом бетоне и растянутой арматуре от действия внешней нагрузки;

$\varepsilon_{b,ult}$, $\varepsilon_{s,ult}$ - предельные относительные деформации сжатого бетона и растянутой арматуры.

Предельные относительные деформации сжатого бетона при двузначной эпюре деформаций в нормальном сечении принимают равными $\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2}$, при однозначной равномерной эпюре деформаций - $\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b0}$, при однозначной неравномерной эпюре - по линейной интерполяции.

Предельные относительные деформации растянутой арматуры принимают равными $\varepsilon_{s,ult} = \varepsilon_{s2}$.

Для общего случая система уравнений для расчета прочности по деформационной модели имеет вид:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{12} \frac{1}{r_y} + D_{13} \cdot \varepsilon_0; \quad (19)$$

$$M_y = D_{12} \frac{1}{r_x} + D_{22} \frac{1}{r_y} + D_{23} \cdot \varepsilon_0; \quad (20)$$

$$N = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{23} \frac{1}{r_y} + D_{33} \cdot \varepsilon_0. \quad (21)$$

где D_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) - жесткостные характеристики, определяемые по формулам

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}; \quad (22)$$

$$D_{22} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{syi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{syj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}; \quad (23)$$

$$D_{12} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot Z_{syj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}; \quad (24)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}; \quad (25)$$

$$D_{23} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{syj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}; \quad (26)$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj} \quad (27)$$

Коэффициенты упругости i -го участка бетона ν_{bi} и j -го стержня арматуры ν_{sj} определяют по формулам:

$$\nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \cdot \varepsilon_{bi}}; \quad (28)$$

$$\nu_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj} \cdot \varepsilon_{sj}}, \quad (29)$$

а напряжения и относительные деформации сжатого бетона и арматуры σ_{bi} , ε_{bi} , σ_{sj} , ε_{sj} определяют из приведенных выше зависимостей для диаграмм состояния бетона и арматуры.

Для железобетонных элементов, на которые действуют только изгибающие моменты двух направлений (косой изгиб), в уравнении (21) принимают $N=0$.

Для внецентренно сжатых в плоскости симметрии поперечного сечения железобетонных элементов и при расположении оси X в этой плоскости $M_y=0$ и

$D_{12}=D_{22}=D_{23}=0$. В этом случае уравнения для расчета прочности имеют вид:

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{13} \cdot \varepsilon_0; \quad (30)$$

$$N = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{33} \cdot \varepsilon_0. \quad (31)$$

Для изгибаемых в плоскости симметрии поперечного сечения железобетонных элементов и при расположении оси X в этой плоскости $N=0$, $M_y=0$ и $D_{12}=D_{22}=D_{23}=0$. В этом случае уравнения равновесия имеют вид:

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{13} \cdot \varepsilon_0; \quad (32)$$

$$0 = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{33} \cdot \varepsilon_0. \quad (33)$$

Система расчетных уравнений может также быть представлена и в матричной форме.

Расчет по деформационной модели производят с помощью вычислительной техники.

Деформационная модель позволяет производить расчет на единой методической основе любых железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения, с различным расположением арматуры в сечении, с составными и комбинированными сечениями, включающими различные виды и классы бетона и арматуры, с учетом начальных (предварительных) напряжений и деформаций в предварительно напряженных, сборно-монолитных, сталежелезобетонных и усиленных конструкциях, при различном характере внешних нагрузок и воздействий.

Деформационная модель широко используется в зарубежной нормативной практике и включена в последние международные нормативные документы. Она позволяет наиболее полно учитывать упругопластические свойства бетона и арматуры и оценивать фактические напряженно-деформированные состояния сечения.

Для железобетонных элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, с арматурой, сосредоточенной у сжатой и растянутой грани элемента, при действии внешних усилий в плоскости симметрии сечения расчет по прочности допускается производить с использованием более простой методики по предельным усилиям, принятой в действующем СНиП.

Предельное усилие в бетоне сжатой зоны определяется напряжениями, равными расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , равномерно распределенным по площади сжатой зоны (прямоугольная эпюра напряжений).

Предельное усилие в арматуре растянутой зоны определяется напряжениями, равными расчетным сопротивлениям арматуры растяжению R_s , а в сжатой зоне - расчетным сопротивлениям арматуры сжатию R_{sc} .

Предельное состояние в сечении в общем случае характеризуется одновременным достижением в бетоне и арматуре предельных усилий.

Расчет производят из условия

$$M + N \cdot \eta \cdot e_0 \leq R_b \cdot A_b \cdot Z_b + R_s \cdot A_s \cdot Z_s + R_{sc} \cdot A'_s \cdot Z'_s, \quad (34)$$

где площадь бетона сжатой зоны A_b определяют из уравнения

$$N = R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A'_s - R_s \cdot A_s, \quad (35)$$

здесь Z_b , Z_s , Z'_s - расстояние от точек приложения усилий соответственно в бетоне сжатой зоны, растянутой и сжатой арматуры до центра тяжести поперечного сечения элемента; η - коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба.

При высоте сжатой зоны x большей граничной x_R предельное состояние в сечении характеризуется достижением предельных усилий в сжатом бетоне и сжатой арматуре при напряжениях в растянутой арматуре меньших расчетных сопротивлений растяжению.

В этом случае расчет производят, заменяя расчетные сопротивления арматуры растяжению R_s напряжениями σ_s .

Значение напряжений σ_s определяют приближенно по линейной интерполяции в зависимости от высоты сжатой зоны x в пределах от $\sigma_s = R_s$ при $x = x_R$ до $\sigma_s = -R_{sc}$ при $x = h_0$.

Значение граничной высоты сжатой зоны определяют исходя из линейного распределения деформаций по высоте сечения при предельных деформациях бетона сжатой грани $\varepsilon_{b,ult}$ и деформациях растянутой арматуры ε_{s1} , отвечающих напряжениям, равным расчетным сопротивлениям арматуры растяжению R_s :

$$\varepsilon_{s1} = \frac{R_s}{E_s}$$

При этом принимается во внимание, что предельное усилие в бетоне определяют исходя из прямоугольной эпюры напряжений в сжатой зоне бетона. Поэтому полученное значение высоты сжатой зоны корректируют с помощью коэффициента эквивалентности, равного 0,8.

В результате граничную высоту сжатой зоны бетона определяют по формуле

$$x_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{b,ult}}} \cdot h_0 \quad (36)$$

Для тяжелого бетона и арматуры класса А500 при

$$\varepsilon_{s1} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{450}{2 \cdot 10^5} = 2,25 \cdot 10^{-3}$$

и $\varepsilon_{b,ult} = 3,5 \cdot 10^{-3}$, значение граничной высоты сжатой зоны равно $x_R \cong 0,5 \cdot h_0$.

При $x > x_R$ расчет изгибаемых элементов в запас прочности можно производить, принимая в расчетных зависимостях (34) и (35) $x = x_R$.

Коэффициент η , учитывающий влияние продольного изгиба при действии продольной сжимающей силы N , определяют по известной формуле с использованием условной критической продольной силы N_{cr}

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (37)$$

Условную критическую продольную силу определяют по формуле Л.Эйлера

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot D}{l_o^2}, \quad (38)$$

где D и l_o - жесткость и расчетная длина железобетонного элемента.

Жесткость железобетонного элемента следует определять по общим правилам, изложенным в соответствующих разделах нормативных документов, с учетом неупругих деформаций и наличия трещин. Для упрощения расчета условную критическую продольную силу допускается определять по приближенной эмпирической зависимости

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{l_o^2} \cdot \left(\frac{0,1 \cdot E_b \cdot I}{\varphi_l \cdot \delta_e} + E_s \cdot I_s \right), \quad (39)$$

где I , I_s - моменты инерции сечений бетона и арматуры относительно центра тяжести сечения элемента;

$$\delta_e = \frac{e_o}{h}, \text{ но не менее } 0,3;$$

φ_l - коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки.

Формула (39) получена путем некоторого упрощения аналогичной формулы действующего СНиП.

При небольших эксцентриситетах продольной силы

$$(e_o \leq \frac{h}{30}) \text{ и небольшой гибкости элемента } (\frac{l_o}{h} \leq 20)$$

расчет прямоугольных сечений с симметричной арматурой допускается производить как центрально сжатого элемента из условия

$$N \leq \varphi (R_s \cdot A + R_{sc} \cdot A_{s,tot}), \quad (40)$$

где A и $A_{s,tot}$ - соответственно, площадь бетонного сечения и площадь всей продольной арматуры в сечении; φ - коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба и принимаемый изменяющимся от

$\varphi = 0,9$ до $\varphi = 0,7$ при изменении гибкости от $\frac{l_o}{h} = 6$

до $\frac{l_o}{h} = 20$.

Расчетную длину l_o внецентренно сжатого элемента в общем случае определяют по общим правилам строительной механики как для элементов рамной конструкции с учетом ее деформированного состояния при наиболее невыгодном для данного элемента расположении нагрузки, принимая во внимание неупругие деформации бетона, арматуры и наличие трещин в элементе.

Допускается принимать приближенные значения относительной расчетной длины l_o/l (где l - фактическая длина элемента) для внецентренно сжатых элементов постоянного сечения в зависимости от сопротивления повороту и смещению его опор по следующим правилам.

Для элементов с шарнирным опиранием на двух концах $\frac{l_o}{l} = 1,0$.

Для элементов с жесткой заделкой (исключающей поворот опорного сечения) на одном конце и незакрепленным другим концом (консоль) $\frac{l_o}{l} = 2,0$.

Для элементов с шарнирным несмещаемым опиранием на одном конце, а на другом конце: с жесткой (без поворота) заделкой - $\frac{l_o}{l} = 0,7$; с податливой (допускающей ограниченный поворот) заделкой - $\frac{l_o}{l} = 0,9$.

Для элементов с податливым шарнирным опиранием (допускающим ограниченное смещение опоры) на одном конце, а на другом конце: с жесткой (без

поворота) заделкой $\frac{l_o}{l} = 1,5$; с податливой (с ограниченным поворотом) заделкой - $\frac{l_o}{l} = 2,0$.

Для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах: жесткими (без поворота) $\frac{l_o}{l} = 0,5$; податливыми (с ограниченным поворотом) - $\frac{l_o}{l} = 0,8$.

Для элементов с ограниченно смещаемыми заделками на двух концах: жесткими (без поворота)

$\frac{l_o}{l} = 0,8$; податливыми (с ограниченным поворотом)

$\frac{l_o}{l} = 1,2$.

В общем случае влияние продольного изгиба учитывают расчетом железобетонной конструктивной системы по деформированной схеме, определяя деформации железобетонных элементов с учетом их неупругой работы и наличия трещин.

Б.И.БАХТИН, канд.техн. наук (МЭИ); И.Б.ЗЕЛЕНОВ, канд.техн. наук, проф., К.И.ЗЕЛЕНОВ, инж., Б.А.УСОВ, канд.техн. наук (МГОУ); А.И.ИВАШОВ, канд.техн. наук (МГТУ им.Баумана)

Газодинамическая ударно-волновая технология изготовления бетонов

При изготовлении бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях, а также в монолитном строительстве широко применяют динамические воздействия на бетонную смесь с использованием гармонических колебаний или ударно-волновых процессов [1–4]. Практическая реализация таких воздействий чаще всего осуществляется с помощью различных типов электромеханических вибраторов. Как правило, они работают при неизменных (либо слабо изменяемых) амплитудно-частотных характеристиках, не обеспечивающих оптимальных условий формования и уплотнения бетонных смесей.

Предлагаемая [5–8] принципиально новая газодинамическая ударно-волновая технология (ГУВТ), не использовавшаяся ранее в строительной технике, позволяет регулировать динамическое воздействие в заданных пределах на различных этапах и стадиях обработки бетонной смеси. Технология основана на преобразовании тепловой энергии, выделяющейся при быстром сгорании (детонации) порций газовой или аэрозольной топливной смеси в ударно-волновых газодинамических устройствах (УВГУ). Реализация ГУВТ дает возможность, в частности, уплотнения жестких бетонных смесей, что является практически неразрешимой проблемой при применении традиционных технологий.

Этап уплотнения бетонных смесей принято подразделять на три стадии [2, 3]. На каждой из этих стадий требования по уровню амплитудно-частотных характеристик динамических воздействий, а также по величине статических нагрузок могут заметно отличаться. Судя по литературным данным, уточнение оптимальных значений указанных параметров продолжается до настоящего времени. Обобщение данных позволяет выделить ряд закономерностей процесса уплотнения бетон-

ных смесей. На всех стадиях процесса необходимо обеспечить условия виброожижения смеси, заключающиеся в том, что период колебаний должен быть меньше времени ее релаксации, которое возрастает с увеличением жесткости обрабатываемой среды. Для подвижных смесей этому условию отвечает минимальная частота вибровоздействия на уровне нескольких герц, для жестких смесей (90...100 с) частота может возрасти до 40...50 Гц.

На первой стадии уплотнения (переукладка составляющих смеси, вытеснение газовых пузырей) внешнюю статическую нагрузку применять не рекомендуется. Оптимальная частота гармонической динамической нагрузки составляет для подвижной бетонной смеси 15...25 Гц, что связывают с резонансной частотой крупных частиц заполнителя. Опыт показывает, что переход от гармонических колебаний к импульсным (ударным) и от моночастотных к поличастотным повышает эффективность уплотнения смеси. Это может быть объяснено выходом на резонансные частоты мелких частиц заполнителя и пузырьков воздуха (сотни герц и более), что сопоставимо с собственными частотами импульсов (f_c) ударных вибраторов. Амплитуда динамического давления должна быть выше некоторого минимального уровня (предположительно порядка 0,1 МПа).

На второй стадии уплотнения (сближение составляющих) требуемый эффект достигается главным образом путем увеличения амплитуды динамического давления (примерно до 0,3 МПа), а также статического давления (примерно до 0,1 МПа) за счет дополнительной внешней нагрузки. Для удаления мелких пузырьков воздуха желательнее также дальнейшее повышение частоты динамического воздействия. Выказывались даже предположения (не проверенные на практике) о

перспективности перехода к ультразвуковому частотному диапазону. Однако верхняя допустимая граница частотного диапазона вряд ли может выходить за пределы 1...5 кГц из-за сильного затухания высокочастотных волн в бетонной смеси.

На третьей стадии уплотнения (компрессия смеси) динамическую и статическую составляющие амплитуды давления целесообразно довести примерно до 1 МПа (дальнейшее увеличение заметного эффекта практически не дает). Требования по частоте динамического воздействия должны ограничиваться, по-видимому, из условия обеспечения виброожижения смеси.

С учетом изложенных закономерностей можно представить возможный характер изменения по времени параметров воздействий при виброуплотнении, например, жестких бетонных смесей (рис. 1) с использованием гипотетического ударно-волнового устройства, имеющего регулируемый уровень собственной частоты (f_c) и амплитуды давления (P), а также частоты следования импульсов, или частоты циклов ($f_{ц}$). Величина ($f_{ц, \min}$) соответствует нижнему пределу частотного диапазона, при котором обеспечивается условие виброожижения смеси. Статическое напряжение σ_c в начальный момент времени определяется собственным давлением в слое бетонной смеси (на графике принято условное значение ~0,02 МПа). Возрастание напряжения со временем создается с помощью внешней нагрузки.

Ни одна из существующих технологий не в состоянии обеспечить необходимое регулируемое изменение режимов обработки бетонной смеси, как показано на рис. 1. Большинство устройств работает при неизменных, фиксированных амплитудно-частотных характеристиках и предназначено для выполнения определенных операций с конкретны-

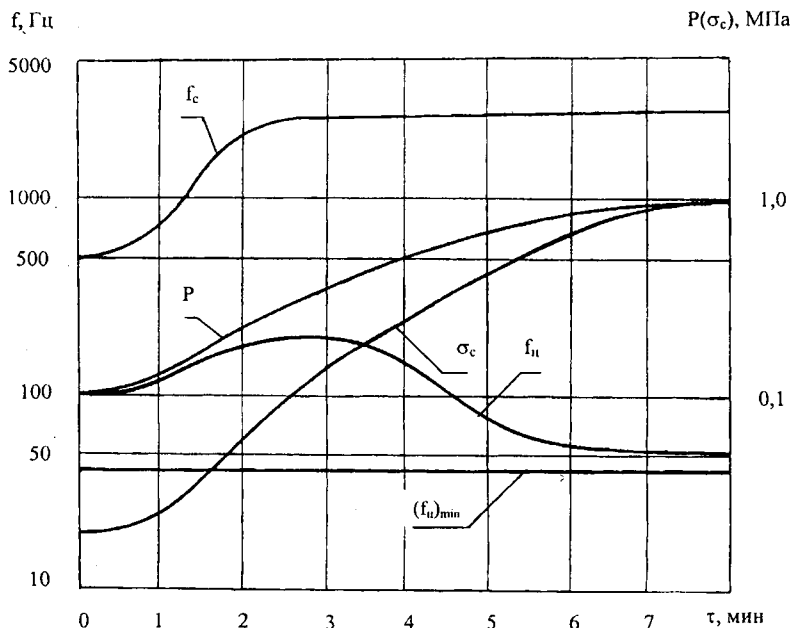


Рис. 1. Характер изменения по времени параметров воздействий при виброуплотнении жестких бетонных смесей

ми изделиями. Виброустройства с синусоидальной формой волны обычно функционируют на одной из дискретных частот в типичном диапазоне 50...100 Гц и не генерируют волн требуемого высококачественного уровня (сотни Гц — единицы кГц). Импульсные (ударные) устройства имеют собственную частоту импульса порядка 300...500 Гц, которую практически невозможно изменить.

Частота следования импульсов также обычно неизменна. Известны способы формирования в бетонной смеси поличастотного спектра волн путем использования группы локально действующих генераторов с относительным смещением фазы волн. Кинематическая сложность таких систем служит препятствием для их широкого использования, несмотря на положительные результаты, полученные в экспериментах. Повышение качества уплотнения смеси наблюдается также при применении виброустройств с так называемыми угловыми колебаниями, однако регулируемое изменение их характеристик в широком диапазоне представляет собой невыполнимую задачу.

Проблемы, связанные с виброуплотнением бетонной смеси, возрастают при выполнении этих операций на строительной площадке, так как устройства должны быть передвижными и при этом иметь воз-

можность подключения к источнику энергоснабжения. Таким образом, качественный скачок в технологии создания бетонных и железобетонных изделий возможен лишь при разработке принципиально новых конструкций, предназначенных для обработки бетонных смесей.

Аналитические и расчетно-экспериментальные проработки, проводившиеся авторами данной статьи на протяжении нескольких лет, позволяют предполагать, что рассматриваемые задачи могут быть успешно решены с помощью газодинамической ударно-волновой технологии.

В основе ГУВТ лежит воздействие от ударно-волновых газодинамических устройств с возможностью регламентированного рассеяния волновой энергии в материале и создании в материалах и средах знакопеременных напряжений сжатия-растяжения в импульсном режиме

с различными амплитудно-частотными характеристиками.

В качестве примера на рис.2 показана схема одного из возможных вариантов установки детонационного типа, работающего с непрерывной подачей газовых компонентов топлива в камеру сгорания.

Это устройство работает на газообразном топливе с частотой циклов до 100 Гц. Горючее и окислитель подаются по коллекторам 1-4, проходящим через холодильники 12 в форкамеру 5, переходник 6, конус 7 и в камеру сгорания 8. После заполнения их горючей смесью датчик 9 с помощью блока синхронизации 10 подает сигнал на поджиг горючей смеси в форкамере 5, осуществляемой свечой поджига 11. Горючая смесь воспламеняется, дефлаграционный режим горения переходит в детонационный с возникновением скачка давления, превышающего давление газов в коллекторах, что приводит к прерыванию подачи топливных компонентов. После истечения продуктов сгорания из камеры давление в ней и в коллекторах падает, и процесс повторяется.

Характер изменения по времени давления в волне детонации показан на рис.3.

Давление на фронте волны составляет $P_{\phi} = 2\rho_0 D^2 / (\gamma + 1)$, где ρ_0 — исходная плотность газовой смеси; D — скорость детонации; γ — показатель адиабаты.

Величина P_{ϕ} для газовых смесей лежит в пределах примерно 1...5 МПа. Химические реакции заканчиваются за время τ_1 , составляющее несколько микросекунд. За это время давление падает в два раза (точка Чепмена-Жуге): $P_{чж} = P_{\phi} / 2$. Если расширения продуктов детонации не происходит, то через время t_2 , равное примерно 3...5 мс, давление падает до некоторого остаточного (среднего) уровня, составляющего

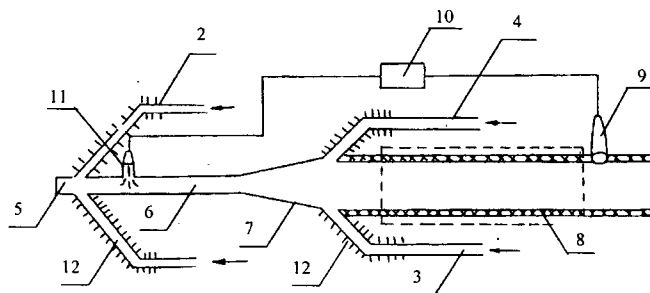


Рис. 2. Схема УВГУ детонационного типа с непрерывной подачей топливных компонентов

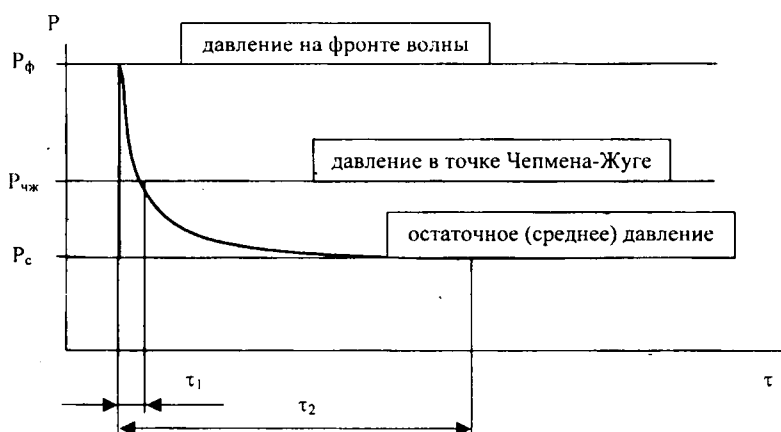


Рис. 3. Характер изменения давления в волне детонации

половину давления в точке Чемпена-Жуге: $P_{cp} = P_{чж}/2$.

В случае столкновения детонационной волны с жесткой поверхностью в обратную сторону начнет распространяться отраженная волна, давление в которой ($P_{от}$) возрастет по сравнению с давлением ($P_{чж}$) в падающей волне примерно в 2,5 раза.

При выходе детонационной волны на свободную границу с воздухом по воздуху пойдет ударная волна, а по продуктам детонации в противоположном направлении со скоростью звука будет двигаться волна разряжения. Ударная волна, скорость которой при перепаде давлений на ее фронте, равном 10, составляет примерно 1000 м/с, на некотором расстоянии от взрывной зоны перейдет в упругую (акустическую) волну. Давление в этой зоне падает по мере расширения продуктов детонации вплоть до уровня ниже давления невозмущенной окружающей среды. В таблице представлены параметры волны детонации для некоторых газовых смесей.

Таким образом, при детонации газовых смесей возможно появление коротких (микросекундных) импульсов давления с максимальной амплитудой примерно 5 МПа, однако их энергия будет составлять

лишь малую часть тепловой энергии продуктов детонации. Основная часть энергии продуктов детонации может быть реализована в волнах давления с амплитудой в пределах около 1 МПа.

Частотные характеристики ударно-волновых газодинамических устройств зависят от их конструктивных особенностей, состава топливной смеси, ее единичного объема. Потенциальные возможности УВГУ позволяют обеспечить любую частоту и амплитуду давления из указанного выше диапазона идеально-технологического цикла уплотнения жестких бетонных смесей и их дополнительной обработки. Высоко-частотная составляющая импульса (на уровне 1...5 кГц и более) достигается путем прямого удара детонационной волны по твердой поверхности, либо за счет преобразования кинетической энергии струи в акустическую энергию с помощью, например, резонаторов Гартмана. В последнем случае открывается возможность модулирования колебаний (наложение высококачественных пульсаций на основную кривую импульса давления), недоступная для механических виброустройств. Минимальная частота следования импульсов (частота циклов) может составлять доли герца, а расчетная

максимальная — достигать уровня 200...250 Гц (при малых объемах камеры сгорания).

Гораздо более сложной задачей является изменение режимов воздействия в требуемых пределах при уплотнении смеси. Как следует из представленных выше материалов, для смесей средней жесткости частота циклов должна изменяться примерно от 50 до 200 Гц, собственная частота от 500 Гц до 2,5 кГц, амплитуда давления — от 0,1 МПа до 1 МПа.

Указанная выше задача существенно упрощается, если УВГУ выполнять в виде группы взрывных камер с возможностью регулируемого управления их работой. Переход от одной камеры к группе многократно увеличивает вариации выходных характеристик УВГУ. Как известно, при синхронизации связанных колебательных систем, имеющих одинаковые или кратные частоты, возможно деление или умножение, изменение амплитуды и формы суммарного сигнала.

Не касаясь пока технической стороны синхронизации колебательных систем, рассмотрим в качестве иллюстрации некоторые возможные результаты сложения сигналов двух одинаковых импульсных систем (рис.4). При синфазном наложении сигналов (рис.4,а) амплитуда импульса удваивается, а характерные периоды импульса (τ_c) и цикла ($\tau_{ц}$) остаются неизменными, а следовательно, не изменяются собственная частота (f_c) и частота цикла ($f_{ц}$) суммарного сигнала.

Смещение по времени одного сигнала относительно другого на половину периода цикла (рис.4,в) приводит к удвоению частоты циклов суммарного сигнала. При смещении сигналов в пределах периода импульса изменяются форма и частотный спектр суммарного импульса (рис.4,с).

Относительное смещение фазы при работе взрывных камер несложно обеспечить, управляя моментом

Газовая смесь	Стехиометрический состав смеси	Скорость детонации D, м/с	Давление в точке Чемпена-Жуге $P_{чж}$, МПа	Давление в отраженной волне $P_{от}$, МПа	Тепловой эффект реакции Q, кДж/кг
Ацетилен+воздух	$C_2H_2+2,5O_2+9,4N_2$	2030	2,05	5,3	3400
Пропан+воздух	$C_3H_8+5O_2+18,8N_2$	1850	1,9	5,0	2800
Метан+воздух	$CH_4+2O_2+7,5N_2$	1750	1,6	4,0	3230
Водород+воздух	$H_2+O_2+7,5N_2$	1770	1,5	3,8	3030
Водород+кислород	$2H_2+O_2$	2800	1,8	4,8	13380

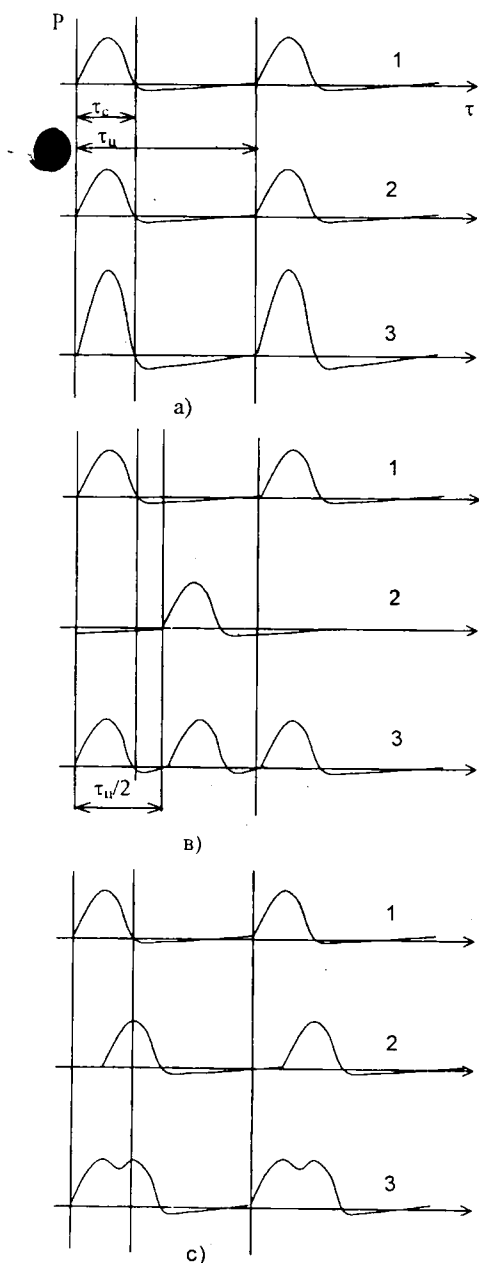


Рис. 4. Характер изменения импульсов при сложении волн

a — синфазное наложение сигналов; *в* — удвоение частоты циклов суммарного сигнала; *с* — изменение формы и частотного спектра суммарного импульса
1 — первый сигнал; 2 — второй сигнал; 3 — суммарный сигнал

поджига смеси, подобно тому, как это выполняется с помощью системы зажигания в двигателях внутреннего сгорания. Не представляет сложности также изменение в несколько раз частоты циклов в каждой отдельной камере. Варьируя степень заполнения объема камеры топливной смесью, можно в некоторых пределах независимо изменять частоту циклов и среднюю мощность выделения энергии в ней.

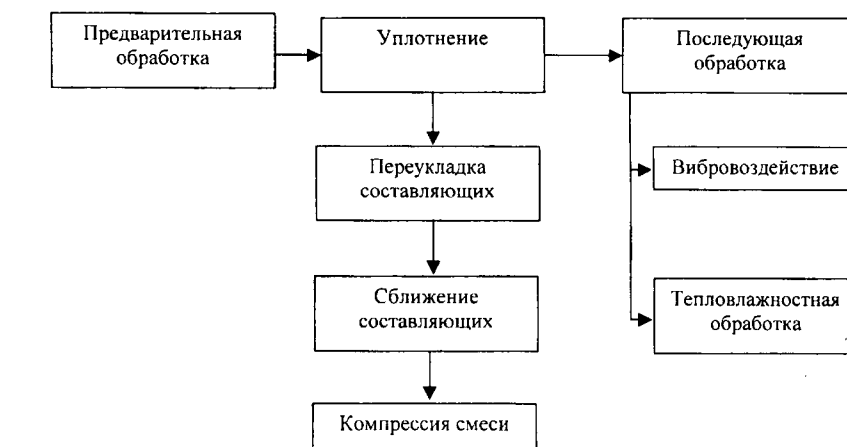


Рис. 5. Этапы комплексной обработки бетонной смеси на базе взрывных генераторов импульсов

Сложное волновое поле с широким поличастотным спектром может быть создано в объеме бетонной смеси при работе генератора импульсов с группой взрывных камер, разнесенных по поверхности изделия. При этом создается множество комбинаций их совместной работы с одновременным или последовательным инициированием детонации топлива в камерах (во втором случае возникает "блуждающий" источник колебаний), с разделением всех камер на синхронно действующие подгруппы.

УВГУ может быть использовано также на этапах обработки бетонной смеси до ее уплотнения и после. Режимы вибровоздействия на этих этапах существенно проще, чем при уплотнении смеси. Не исключен вариант применения одного и того же генератора импульсов на всех этапах обработки смеси. Кроме того, образующиеся при работе взрывных камер продукты сгорания имеют высокую температуру и содержат пары воды. Их целесообразно использовать для дополнительной тепловлажностной обработки смеси после уплотнения, что может быть особенно важным при монолитном строительстве в холодное время года. Автономность УВГУ дает неоспоримые преимущества технологиям на их основе (по сравнению с традиционными технологиями) в условиях проведения работ непосредственно на строительной площадке или на полигоне.

Таким образом, на базе УВГУ может быть создана комплексная, более совершенная газодинамическая ударно-волновая технология обработки бетонных смесей (в частно-

сти жестких) на всех ее этапах (рис.5) как в условиях заводского изготовления изделий, так и на строительной площадке.

В соответствии с предварительными расчетными оценками, внедрение ГУВТ в строительную индустрию может дать существенный технический и экономический эффект. Так, например, только за счет обработки с помощью ГУВТ бетонных смесей повышенной жесткости можно обеспечить снижение расхода цемента на 10...30%, увеличение прочности бетона на 30...70% или уменьшение расхода бетона при создании изделий и конструкций на 25...50%.

Более подробные сведения можно получить по тел. (095) 219-7070 (Зеленов Иван Борисович).

Библиографический список

1. Гусев Б.В. и др. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей. — М.: Стройиздат, 1982.
2. Стефанов Б.В., Русанова Н.Г., Волянский А.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982.
3. Афанасьев А.А. Технология импульсного уплотнения бетонных смесей. М.: Стройиздат, 1997.
4. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Вибрационная техника уплотнения и формирования бетонных смесей. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1986.
5. Зеленов И.Б., Усов Б.А., Зеленов К.И., Бахтин Б.И. Технология импульсно-частотной ударно-волновой обработки и уплотнения бетонных смесей. Сборник статей МГОУ Механика разрушений. — М.: Изд-во Исток, 1999.

6. Бахтин Б.И., Зеленов И.Б., Зеленов К.И., Ивашов А.И., Усов Б.А. Ударно-волновой способ обработки конгломератных сред при формировании искусственных строительных материалов. Заявка на изобретение № 99112982/03 от 22.06.99.

7. Бахтин Б.И., Зеленов И.Б., Зеленов

К.И., Ивашов А.И., Усов Б.А. Клиновья ударно-волновая газодинамическая установка. Заявка на изобретение № 99117760/03 от 16.08.99.

8. Бахтин Б.И., Зеленов И.Б., Зеленов К.И., Ивашов А.И., Усов Б.А. Ударно-волновая газодинамическая установка для формирования бетонных объектов с

пустотами. Заявка на изобретение № 99117759/03 от 16.08.99.

9. Бахтин Б.И., Зеленов И.Б., Зеленов К.И., Ивашов А.И., Усов Б.А. Поверхностная ударно-волновая газодинамическая установка. Заявка на изобретение № 99117579/03 от 16.08.99.

10. А.С.СССР № 2492193.

К 75-ЛЕТИЮ НИИЖБ

В этом году исполняется 75 лет со дня основания одного из ведущих институтов строительного комплекса НИИЖБ.

Институт ведет свою историю от сектора бетона, железобетона и каменных конструкций Государственного института сооружений — ГИС, преобразованного в 1932 г. в Центральный институт промышленных сооружений — ЦНИПС. Последний в 1957 г. разделился на три института: ЦНИИСК, НИИЖБ и НИИСФ.

Идя навстречу этой знаменательной дате, редколлегия журнала планирует опубликовать ряд статей об основных подразделениях современного НИИЖБ.

Ниже представляем лабораторию бетонов и ограждающих конструкций.

Лаборатория бетонов и ограждающих конструкций

Актуальнейшей проблемой современного строительства является повышение тепловой защиты зданий с целью экономии энергозатрат на их отопление. Одним из эффективных путей решения этой проблемы является создание и внедрение в практику строительства ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными свойствами и характеризующихся при этом достаточной долговечностью и надежностью в эксплуатации.

Для достижения этой цели в лаборатории легких бетонов и конструкций (преобразованной в лабораторию бетонов и ограждающих конструкций в 1990–2000 г.) выполнены исследовательские работы по следующим основным приоритетным направлениям:

- разработка теоретических основ технологий получения капиллярно-пористых строительных материалов (в частности, пористых заполнителей и легких бетонов) с улучшенными показателями теплотехнического качества;
- разработка технологии получения новых видов пористых заполнителей для легких бетонов, преимущественно на базе отходов или побочных продуктов промышленности;
- создание принципиально новой номенклатуры бесклнкерных и малоклнкерных низкотеплопроводных композиционных вяжущих, изготавливаемых на базе рационального использования продуктов переработки отходов или побочных продуктов промышленности для теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов;
- разработка активных дисперсных минеральных добавок в легкие бетоны, производимых на основе продуктов переработки отходов промышленности и способствующих экономии цемента и улучшению теплофизических свойств легких бетонов;
- разработка нового поколения конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на основе новых видов пористых заполнителей, композиционных бетонов, отличающихся пониженной плотностью (марки Д300 и ниже) и теплопроводностью, высокой конкурентоспособностью в сравнении с традиционными плитными утеплителями;
- разработка новых видов плитных утеплителей на основе легко вспучиваемых обжигаемых глинистых пород, продуктов переработки шлаков ТЭС, перлитового сырья и др.;
- разработка технических решений и технологий изготовления (в сборном варианте) или возведения (в монолитном варианте) однослойных или слоистых ограждающих конструкций на базе использования разработанных новых видов конструкционно-тепло-

изоляционных легких бетонов, особо легких теплоизоляционных бетонов или новых видов плитного утеплителя.

Исследовательские работы по вышеназванным направлениям выполнялись в основном по госбюджетной тематике.

В результате этой деятельности были разработаны, исследованы и внедрены в практику строительства:

Математические и физические модели теплопроводности капиллярно-пористых строительных материалов, основанные на решении системы дифференциальных уравнений Лапласа с их компьютерной реализацией. Работоспособность моделей подтверждена численными экспериментами при определении теплопроводности различных видов легких бетонов. В результате разработаны "Рекомендации по аналитическому определению коэффициента теплопроводности легких бетонов, по его регулированию и прогнозированию с помощью математических моделей с их компьютерной реализацией".

Экологически безопасная и низкоэнергоемкая технология производства гравиеподобных пористых заполнителей из доменных или электротермофосфорных шлаков текущего выхода. Такие заполнители не уступают керамзитовому гравию по теплотехническим показателям, не превосходят его по прочности на 25–50% и при этом энергозатраты на их производство ниже в 5 раз, а себестоимость меньше в 3 раза. Технология внедрена на Новолипецком металлургическом комбинате.

Универсальная экологически безопасная технология производства гравия из металлургических шлаков текущего выхода (доменных и ферросплавных). Универсальность технологии состоит в том, что, легко меняя режим поризации и диспергирования шлаковых расплавов, можно получать пористый шлаковый гравий двух классов: класс А — для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов (по технологическим показателям он превосходит керамзитовый гравий); класс Б — для конструкций легких бетонов (в том числе высокопрочных, классов В30–В50, по прочностным показателям он превосходит керамзитовый гравий на 30–60%). Энергозатраты на производство такого пористого шлакового гравия классов А и Б почти в 10 раз меньше по сравнению с соответствующими показателями керамзита, а себестоимость в 3–5 раз ниже. Технология внедрена на Карагандинском и Новолипецком металлургических комбинатах (НЛМК). Производительность 1-й технологической линии на НЛМК — 100 тыс.м³ пористого заполнителя в год. Принято решение о строительстве в 2002 г. 2-й технологической линии

такой же производительности. Имеются запросы на эту технологию от крупных металлургических фирм мира.

Номенклатура различных видов низкотеплопроводных композиционных бесклнкерных и малоклнкерных вяжущих на базе использования побочных продуктов промышленности черной и цветной металлургии. Композиционные вяжущие разрабатанных видов в затвердевшем виде характеризуются коэффициентом теплопроводности на 25–40% ниже, чем соответствующий показатель портландцементного камня; при этом сорбционная влажность в 1,25–1,5 раза меньше. Себестоимость таких вяжущих на 15–20% ниже в сравнении с равномарочным портландцементом. Вяжущие используются при производстве конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на заводах стройиндустрии Запорожья, Череповца, Павлодара.

Активные минеральные добавки, изготовленные на основе бокситовых и метизных шламов, молотых металлургических шлаков. Добавки применены при производстве легких бетонов на предприятиях стройиндустрии Череповца, Липецка, Челябинска, Павлодара и Запорожья.

Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны, изготовленные на основе низкотеплопроводных пористых заполнителей новых видов и композиционных вяжущих с использованием активных минеральных добавок и без них. У таких бетонов, в сравнении с традиционными керамзитобетоном равной плотности, коэффициент теплопроводности ниже на 15–25%, а сорбционная влажность меньше на 15–30%. Разработанные бетоны используются при производстве сборных стеновых изделий и конструкций более чем на 20 предприятиях стройиндустрии, а также в монолитном строительстве для возведения стен зданий.

Особо легкие теплоизоляционные бетоны, в частности модифицированный теплоизоляционный полистиролбетон марок по средней плотности D150–D250. Такой бетон имеет коэффициент теплопроводности на 30–35% ниже по сравнению с этим же показателем для традиционного полистиролбетона, сорбционная влажность его при одинаковых условиях также ниже. Этот бетон предназначен для устройства монолитной теплоизоляции в составе ограждающих конструкций.

Технология приготовления, транспортирования и укладки в опалубку полистиролбетонной смеси с помощью бетононасосов герметичного типа. Композиционный состав таких смесей и их структура таковы, что даже при высокой поризации (до 30%) цементной составляющей они не расслаиваются в процессе указанных технологических операций. Разработанные теплоизоляционные полистиролбетон и соответствующая технология применяются при возведении различных строительных объектов в Москве, Екатеринбурге и Московской области.

Технические решения и технологии возведения наружных стен зданий с монолитной теплоизоляцией из особо легких бетонов (марки по плотности D200–D250). Такие решения применены при возведении однослойных стен ряда офисных зданий в Москве. При этом была использована мобильная установка производительностью 2 м³/ч по изготовлению, транспортированию и укладке в опалубку особо легких бетонов. При толщине 0,35 м стена удовлетворяет требованиям по сопротивлению теплопередаче, содержащимся в новой редакции СНиП II-3-79* "Строительная теплотехника".

Модифицированный конструкционно-теплоизоляционный полистиролбетон марок по плотности D300–D400. По технологическим показателям такой бетон превосходит традиционный полистиролбетон: коэффициент теплопроводности ниже на 24–30%, сорбционная влажность при равных условиях меньше на 25–30%. Разработаны технологии производства из таких бетонов стеновых блоков с фактурным слоем полной заводской готовности, плит для теплоизоляции покрытий и перекрытий зданий, сборных сегментов теплоизоляции металлических трубопроводов теплотрасс, трехслойных панелей наружных стен со средним слоем из теплоизоляционного полистиролбетона. Технологии внедрены на предприятиях стройиндустрии Калуги, Екатеринбургa, Иваново, Рязани, в Тульской области.

Технология плитного утеплителя из легковспучиваемого обжигаемого глинистого сырья (пенокерамика). Такой утеплитель отличается от традиционного (пенполистирольного или минераловатного) тем, что он не горюч, не токсичен, долговечен и надежен в эксплуатации. Технология внедрена на Новочеркасском заводе строительных материалов.

Технические решения и технологии изготовления трехслойных наружных стеновых панелей с эффективным утеплителем и гибкими композитными (базальтопластиковыми) связями. Использование стойких в щелочной среде бетона базаль-

топластиковых связей взамен традиционных железобетонных "шпонок" или дискретных связей из нержавеющей стали увеличивает теплотехническую однородность стеновых панелей, повышает надежность ее в эксплуатации и снижает трудоемкость изготовления.

Технические решения и технология изготовления трехслойных наружных стеновых панелей и плит покрытий типа "сэндвич-бетон" со средним слоем из модифицированного теплоизоляционного полистиролбетона марок по плотности D300–D400 наружными слоями из конструктивного керамзитобетона. Такие ограждающие конструкции, в которых все три слоя работают совместно единым монолитным сечением, выгодно отличаются от традиционных с плитным утеплителем и связями различных видов: они существенно более пожаростойки, долговечны и надежны в эксплуатации. При этом трудоемкость их изготовления на 20–25% ниже. Для этих конструкций разработаны предложения по расчету трещиностойкости и деформативности, а также по обеспечению прочности на действие поперечных сил. Проверена возможность увеличения прочности их приопорных зон за счет установки наклонной поперечной арматуры. Проведены испытания стеновых панелей горизонтальной разрезки для промзданий. Разработаны альбомы рабочих чертежей панелей для стен отапливаемых производственных зданий. Для жилых зданий до 5 этажей разработаны несущие трехслойные стены из мелких двухслойных блоков стандартных размеров из керамзитобетона и полистиролбетона. Опытно-промышленные партии отапливаемых стеновых панелей типа "сэндвич-бетон" изготовлены на предприятиях стройиндустрии Москвы, Челябинска и Липецкой области.

Были выполнены и внедрены в практику строительства следующие разработки:

Исследование цемента с различными минеральными добавками и тонкостью помола и определение области их применения.

Разработка производственных составов товарного бетона для строительства дорожных конструкций (B25–B40) W6–W12 и F200–F300 (2 метод).

Разработка рекомендаций по замене цемента ПЦ-400-D20-B на цемент ПЦ400-D5 для изготовления сборных трехслойных панелей (конвейерная технология).

Экспертиза технологии изготовления многослойных плит перекрытий методом экструзии на заводе ЖБК № 17; изучение возможных причин проскальзывания напрягаемой канатной арматуры; выдача рекомендаций по предотвращению проскальзывания; определение эффективности таких конструкций и областей их применения.

Экспертиза технологии изготовления железобетонных конструкций на заводах ЖБК.

Разработка системы контроля качества бетона на строительных объектах.

Изучение новых видов водоредуцирующих добавок, позволяющих обеспечить требуемую удобоукладываемость товарных смесей и при этом повысить основные показатели качества бетонов (прежде всего, прочность — до класса B40 и показатели долговечности: водонепроницаемость до марки W12 и морозостойкость до марки F300), разработка технических условий на новые виды добавок.

Разработка энергосберегающих технологий изготовления сборных железобетонных конструкций из тяжелых бетонов, позволяющих за счет использования соответствующих цемента и добавок снизить при тепловлажностной обработке температуру изотермического прогрева изделий до 30°C.

Указанные разработки внедрены более чем на 20 предприятиях стройиндустрии и строительных объектах Москвы и Московской области.

Лабораторией получено 32 авторских свидетельства на изобретения и патентов. Разработан ряд нормативных рекомендательных документов, в том числе:

● Рекомендации по подбору составов легких бетонов (ГОСТ 27006-86)

● ГОСТ 25820-93 "Бетоны легкие. Технические условия"

● ГОСТ 5578-94 "Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов"

● ГОСТ 7473-94 "Смеси бетонные. Технические условия"

● Рекомендации по технологии и проектированию конструкций из легких бетонов (в качестве дополнения к международным рекомендациям ФИП-ЕКБ "Модель код 90").

Зав. лабораторией
В.Н.Ярмаковский, канд.техн. наук;
Ведущий научный сотрудник
С.А.Подмазова, канд.техн. наук

ПАМЯТИ А.В.ЗАБЕГАЕВА



20 февраля 2002 г. на 55 году жизни скоропостижно скончался первый проректор Московского государственного строительного университета, заведующий кафедрой железобетонных конструкций профессор, доктор технических наук **Александр Владимирович Забегаев**.

Александр Владимирович — потомственный строи-

тель. В 1971 г. он с отличием окончил МИСИ им. В.В.Куйбышева, в 1972–1974 гг. служил в кадрах офицерского состава Советской Армии, участвовал в строительстве Центра космической связи для программы "Союз-Аполлон".

С 1974 г. он работал на кафедре Железобетонных конструкций, где прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой. В 1977 г. защитил кандидатскую, а в 1992 г. — докторскую диссертацию.

С 1986 г. А.В.Забегаев трудился на посту проректора по учебной работе МИСИ — МГСУ. Крупный ученый и педагог, он являлся ведущим российским и международным специалистом в области интенсивной динамики железобетонных конструкций, был одним из авторов учебника по курсу железобетонных и каменных конструкций. Им опубликовано более 170 научных статей. В 1998 г. по инициативе А.В.Забегаева был организован Институт инженерной безопасности МГСУ, в котором он стал научным руководителем. Он являлся акаде-

миком Международной академии информатизации, членом Правления Российского общества инженеров строительства, вице-президентом РНТО строителей, председателем Совета проректоров по учебной работе Ассоциации строительных вузов, членом экспортного совета по строительству и архитектуре ВАК, членом Комиссий по присуждению премий Президента РФ и Правительства РФ, старшим действительным членом Международного института инженеров-строителей, членом Международной ассоциации инженеров-конструкторов и мостовиков, членом Международного совета по строительству и других престижных международных научных и профессиональных обществ.

За высокие достижения в профессиональной деятельности А.В.Забегаеву присвоены звания "Заслуженный деятель науки РФ" и "Почетный строитель Москвы", он был награжден медалями "Ветеран труда", "В память 850-летия Москвы".

Александр Владимирович увлекался литературой, музыкой, спортом, был членом Национальной сборной ветеранов по легкой атлетике, участником двух чемпионатов мира, призером ряда российских и международных соревнований.

Коллеги, преподаватели, сотрудники, студенты Московского государственного строительного университета, коллектив редакции нашего журнала выражают глубокое соболезнование родным и близким покойного.

Светлая память об Александре Владимировиче Забегаеве навсегда сохранится в наших сердцах.

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), В.Р.Фаликман, Ю.Г.Хаютин, А.А.Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н.Щербаков

Подписано в печать 26.03.2002. Формат 60x88^{1/8}. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 4,0. Заказ № 404

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

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

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

UltraTest™

ассоциация
СТРОЙПРИБОР

Представляет:

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ РАССТОЯНИЙ

Электронная
рулетка
BOSCH DMB5



Ультразвуковой
дальномер
BOSCH DUS20



Лазерный
дальномер
BOSCH DLE30



Лазерный
дальномер
DISTO classic



DMB 5 конструктивно выполнена в виде традиционной рулетки со стальной крашеной лентой. Особенностью модели является цифровая индикация результата, возможность хранения его в памяти, функция суммирования, возможность измерения расстояния с учетом корпуса прибора.

DUS 20 прибор имеет узкий (от 4 градусов) угол распространения ультразвука, что сводит к минимуму недостаток ультразвука перед лазером и делает его самым удобным и точным в классе ультразвуковых дальномеров, прибор оснащен целеуказателем, имеет функции суммирования и умножения, хранит в памяти 6 результатов.

DLE 30 прибор гармонично сочетает в себе простоту использования и высочайшую точность. Режимы измерения линейных расстояний, площадей от оператора перемножения цифр. Режим непрерывного измерения позволяет определять кратчайшие расстояния между объектами, производить монтажные работы. Режим вычисления неизвестного катета позволяет проводить косвенные измерения в случаях, когда нет доступа к объекту или на пути лазера встречаются препятствия (например: измерение высоты стены с балконом). Прибор оснащен откидным угольником, а для работы в условиях недостаточной видимости имеет подсветку экрана.

DISTO classic профессиональный дальномер, кроме перечисленных для DLE30 функций позволяет складывать и вычитать результаты замеров, хранит в памяти 20 значений, предусмотрено крепление прибора на штатив, установка диоптрического прицела, пузырькового уровня. Богатый набор сервисных функций.

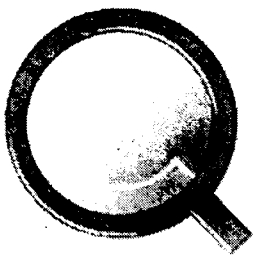
	DMB 5	DUS 20	DLE 30	DISTO classic
Диапазон измеряемых дистанций	0-5 м	0,6-20 м	0,3-30 м	0,3-100 м с отражателем*
Погрешность измерений	-	1%	3 мм	3 мм
Количество измерений от одного комплекта батарей	-	-	5000	3000
Диапазон рабочих температур	-5...+50°C	-5...+50°C	-10...+50°C	-10...+50°C
Питание	1,5 В	4*1,5В	4*1,5 В	4*1,5 В
Вес	220 г	200 г	480 г	360г

БЕСКОНТАКТНЫЕ ИК-ТЕРМОМЕТРЫ



Наименование характеристики	Модификации							
	MT	ST20	ST30	ST60	ST80	MX4	3iM	3iM
Диапазон измерения температуры, °C	-18...+260	-32...+400	-32...+545	-32...+600	-32...+760	-30...+900	600...3000	200...1800
Пределы допускаемой основной относительной погрешности	±2%, но не менее ±2°C и не более -2°C при t _{изм} от -18°C до +1°C, ±3°C при t _{изм} от -1°C до 260°C	±1%, но не более -1°C или не менее +1°C для t _{изм} 23°C, но не более -2°C или не менее +2°C при t _{изм} = -18...+23°C, но не более 2,5°C или не менее +2,5°C для t _{изм} = -26...-18°C, но не более -3°C или не менее +3°C для t _{изм} = -32...-26°C			±1%, но не более 1°C или не менее +1°C для t _{изм} >23°C, но не более -2°C или не менее -2°C при t _{изм} = -18...+23°C, но не более -2,5°C или не менее +2,5°C для t _{изм} = -26...-18°C, но не более -3°C или не менее +3°C для t _{изм} = -32...-26°C		±1% при t _{изм} = 23 ±3°C, но не более -1°C или не менее +1°C	
Показатель низирования	1:6	12:1	12:1	30:1	50:1	1:60	1:180	1:90
Спектральный интервал, мкм	7-18	7-18	7-18	7-18	7-18	8...14	1,0	1,6
Время установл. показаний (95%), мс	500	500	500	500	500	250	550	550
Диапазон коррекции показаний на излучательную способность	0,95	0,95	0,95	0,1...1,0	0,1...1,0	0,3...1,0	0,10-1,00, шаг 0,01	
Габаритные размеры, мм	152 x 101 x 38	200 x 160 x 55	200 x 160 x 55	200 x 160 x 55	200 x 160 x 55	200 x 170 x 50	208 x 257 x 71	208 x 257 x 71
Масса, г	227	320	320	320	320	485	794	794
Питание, В	9 ± 0,9 В	9 В	9 В	9 В	9 В	4 В	6-9 В, 200 мА	6-9 В, 200 мА

454084, Челябинск, а/я 17544. Телефон/факс: /3512/ 93 66 13, 93 66 85. E-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
Москва: представительство в НИИЖБ. Телефон /095/ 174 78 01
Санкт-Петербург: телефон /812/ 430 20 65

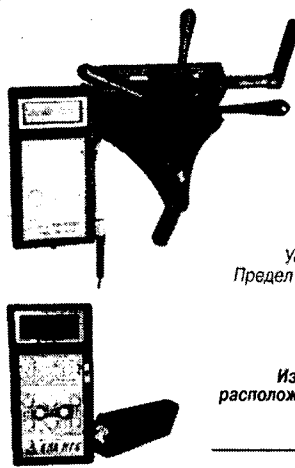


Специальное конструкторское бюро СКБ СТРОЙПРИБОР

www.stroypribor.ru

Индекс 70050

ПОКУПАТЕЛЮ КОМПЛЕКТА – ПОДАРОК СОТОВЫЙ ТЕЛЕФОН



ПОС-МГ4 с электронным силоизмерителем

Измеритель прочности бетона - предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.

Приборы фиксируют максимальную нагрузку, индицируют скорость нагружения и текущую нагрузку, обеспечивают автоматическую обработку измерений, хранят результаты в памяти.
Диапазон 5...100 МПа
Усилие вырыва до 49,0 кН (5000кгс)
Предел основ.относ.погреш. не более 2 %
Масса прибора 5,2 кг

ИПА-МГ4

Измеритель защитного слоя бетона, расположения арматуры в железобетонных конструкциях магнитным методом по ГОСТ 22904.

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

ПСО-МГ4 с электронным силоизмерителем

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

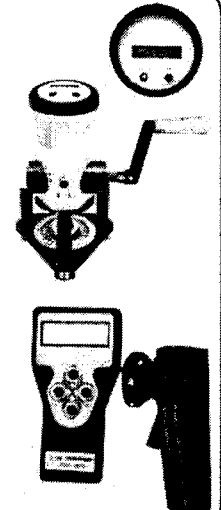
Диапазон 0,1...20 МПа
Усилие отрыва до 4,9 кН (500кгс)
Предел основ.относ.погреш. не более 0,8 %
Масса прибора 1,8 кг

ИПС-МГ4 ПЛЮС

Измеритель прочности бетона, раствора, кирпича методом ударного импульса по ГОСТ 22690.

Расширенный режим с возможностью учесть вид заполнителя, возраст и условия твердения бетона. Более 25 зависимостей.

Диапазон 3-100 МПа.



Семейство приборов Влагомер-МГ4

МГ-4Д Измеритель влажности древесины по ГОСТ 16588.
Диапазон 4...60 %. Семь пород древесины.

МГ-4Б Измеритель влажности бетона, кирпича по ГОСТ 21718.
Диапазон 1...45 %. Более 20 зависимостей.

МГ-4У Универсальный измеритель влажности строительных материалов по ГОСТ 21718. Диапазон 1...15 %. Более 27 зависимостей.

ДО-МГ4

Электронный измеритель силы натяжения арматуры методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362.

Диаметр контролируемой арматуры: 3, 4, 5, 6 мм
Свободная длина контролируемой арматуры от 1 метра
Диапазон контролируемых усилий: 200...4500кгс (1,96...44кН)
Основная относительная погрешность не более: 3%

ЭИН-МГ4

Измеритель напряжений в арматуре ж/б изделий частотным методом по ГОСТ 22362. Обеспечивается автоматический расчет значений коррективы расстояния между временными анкерами и заданного удлинения арматуры.

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

Влагомер-МГ4В

Измеритель температуры и влажности воздуха с возможностью регистрации данных и вывода на компьютер.

Температурный диапазон от -50 до +80°С
Диапазон влажности от 0 до 100%

Вибротест

Измеритель амплитуды и частоты колебаний виброплощадок.

Диапазон частоты 10-100 Гц, амплитуды 0,2-2,5 мм.

ИТП-МГ4

Измеритель теплопроводности строительных материалов методами стационарного теплового потока по ГОСТ7076 и теплового зонда

Диапазон 0,03-0,8 Вт/(м·С)

Терм-1

Термометр цифровой зондовый для измерения температуры жидкостей, газов, бетонных и асфальтобетонных смесей.

Температурный диапазон от 50 до +200°С
Длина зонда 400мм, Ø 4...6 мм.

Гарантия 18 месяцев

Сервисное и метрологическое обеспечение на весь период эксплуатации

454084, Челябинск. а/я 17544. Телефон/факс: /3512/ 93 66 13, 93 66 85. E-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
Москва: представительство в НИИЖБ. Телефон /095/ 174 78 01

★ Предложение действительно с 1 января по 8 марта 2002 года, только при получении продукции в офисе СКБ Стройприбор или представителстве в НИИЖБ.
Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ISSN 0005-9889 Бетон и железобетон. — 2002. № 2. 1-32