

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон

СОДЕРЖАНИЕ

ЗВЕЗДОВ А.И., ЗАЛЕСОВ А.С., МУХАМЕДИЕВ Т.А., ЧИСТЯКОВ Е.А.
О новых нормах проектирования железобетонных
и бетонных конструкций

БЕТОНЫ

ДВОРКИН Л.И., ДВОРКИН О.Л. Многопараметрические задачи
проектирования составов бетона

ПИРАДОВ К.А., МАМАЕВ Т.Л., КОЖАБЕКОВ Т.А., МАРЧЕНКО С.М.
Физико-механические, силовые, энергетические
и структуроформирующие параметры бетона

ПОМАЗКИН В.А., МАКАЕВА А.А. Опыт использования
электроактивированной воды для затворения бетонных смесей

ЧЕРНЯВСКИЙ В.Л., КРУШЕДОЛЬСКАЯ В.Е. Об адаптационных
свойствах бетонов на шлакопортландцементе

КОНСТРУКЦИИ

МАИЛЯН Д.Р., МАИЛЯН Р.Л., ОСИПОВ М.В. Железобетонные балки
с предварительным напряжением на отдельных участках

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

ЗВЕЗДОВ А.И., ЗАЛЕСОВ А.С., МУХАМЕДИЕВ Т.А., ЧИСТЯКОВ Е.А.
Расчет прочности железобетонных конструкций при действии
изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным
документам

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА

БАХТИН Б.И., ЗЕЛЕНОВ И.Б., ЗЕЛЕНОВ К.И., УСОВ Б.А., ИВАШОВ А.А.
Газодинамическая ударно-волновая технология изготовления
бетонов

К 75-ЛЕТИЮ НИИЖБ

Лаборатория бетонов и ограждающих конструкций

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

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

нормативными документами по бетонным и железобетонным конструкциям с учетом особенностей различных конструкций.

Принятая структура нормативных документов имеет целый ряд положительных качеств. Она, являясь частью общего СНиП, обеспечивает единый прикладной подход к назначению характеристик бетона, к расчету, конструированию, возведению и эксплуатации всех бетонных и железобетонных конструкций. Отсутствие в СНиП жесткого конкретирования позволяет реализовать через Свод Правил последние достижения в области новых методов конструктивных решений, методов расчета и конструирования.

В то же время такой подход обладает рядом существенных недостатков.

Прежде всего это связано с установившейся традицией, по которой нормативные документы 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 требований к проектированию и изготовлению бетонных и железобетонных конструкций. С другой стороны разрабатываемые Своды Правил являются по статусу нормативными документами и тем самым обеспечивают точную юридическую защиту инженеров.

Тем не менее, учитывая существующие традиции, было принято решение включить в СНиП в качестве приложений конкретные данные по основным характеристикам бетона и арматуры, по основным зависимостям и по конструктивным требованиям к наиболее массовым железобетонным конструкциям.

Практическое же проектирование должно осуществляться по соответствующим сводам Правил, в соответствии с этим предполагается разработать комплекс Правил для промышленного и гражданского строительства, охватывающий железобетонные конструкции различных видов бетона (тяжелые, легкие, высокопрочные, напрягающие, жаростойкие и т.д.), различные виды железобетонных конструкций (обычные, предварительно напряженные, сборно-монолитные, сталежелезобетонные, железобетонные, усиленные и т.д.), железобетонные конструкции, подверженные различным нагрузкам.

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 конст-

лого бетона без предварительного напряжения, чтобы обеспечить практическую реализацию положений нового СНиП при проектировании. В дальнейшем будет последовательно осуществлен выпуск и остальных Сводов Правил. При этом, как соответствующих Сводов Правил, проработанных для отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций может осуществляться по действующим нормативным документам, но с соблюдением дополнительных требований по новой редакции СНиП.

Следует отметить, что Своды Правил являются нормативными документами, не будучи таковыми, различные вспомогательные материалы (таблицы, примеры расчета и т.п.). По своему характеру они соответствуют действующим Строительным нормам и Правилам (СНиП), только имеют рекомендательный, а не обязательный характер. Что касается вспомогательных материалов, то в связи с их использованием при проектировании компьютерных программ они потеряли свое значение, но в некоторых случаях они могут быть разработаны специалистами в соответствии с требованиями проектных организаций.

Для обеспечения практической реализации положений новых СНиП и Свода Правил разрабатывается также параллельная работа по совершенствованию действующих компьютерных программ.

В новые СНиП и Свод Правил внесены принципиально новые методы расчета и конструкции. Также произведено усовершенствование существующих. Главная цель заключалась в том, чтобы основывались на универсальных, теоретических, достаточно простых расчетах, освобожденных от излишнего эмпиризма, сохраняющих физический характер работы железобетонных элементов и обеспечивающих надежность и оптимальный расход материалов. Расчеты проводились после тщательного анализа и отработки результатов расчета и конструирования, содержащих опыт лучших отечественных, международных и зарубежных нормативных документах, а также в отечественных и зарубежных разработках.

В первую очередь отметим, что за последние годы в проектировании бетонных и железобетонных элементов с изгибающими моментами и продольными силами в различных состояниях принята новая деформационно-прочностная модель, использующая помимо уравнения равновесия условие деформирования в виде гипотезы о состоянии деформации и полные диаграммы состояния (деформация-напряжение) бетона и арматуры. Такая модель позволяет проводить расчет с единых методических позиций бетонных и железобетонных элементов с раз-

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.

и эксплуатации железобетонных и бетонных конструкций. Помимо общих принципов нормирования характеристик материалов, методов расчета и конструирования железобетонных и бетонных конструкций в СНиП приведены конкретные данные, относящиеся к наиболее массовым типам железобетонных и бетонных конструкций и к основным методам расчета и конструирования. В качестве массовых приняты железобетонные конструкции без предельного напряжения с прямоугольной и тавровой (тавровой) формой поперечного сечения, из бетона классов В15-В60 и арматуры классов А1 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 действии изгибающих моментов симметрии и изгибающих моментов антисимметрии поперечных сил; метод расчета прочности по наклонным сечениям по деформационной методике; диаграмм деформирования бетона и арматуры; методы расчета деформаций железобетонных элементов при действии изгибающих моментов поперечных сил; методы расчета по раскрытию нормальных трещин. Конструктивные требования предъявлены для железобетонных элементов из бетона классов В15-В60 и арматуры классов А1 и В500 и включают требования по анкеровке, минимальному проценту армирования, толщине защитного слоя и другие.

Подготовленный проект СНиП 52-01 состоит из следующих 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, монтажу и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций;
- раздел 9. Требования к восстановлению поврежденных железобетонных конструкций.

В разделе 4 впервые сформулированы требования к бетонным и железобетонным конструкциям, включающие требования по безопасности (пожаростойкости, огнестойкости), эксплуатационной пригодности (трещиностойкости, деформационной долговечности).

Установлено, что требования по трещиностойкости разделяются на две категории: по отсутствию трещин и ограничению ширины их раскрытия. Опре-

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

напряженно-деформированное состояние различного типа железобетонных элементов.

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

Установлены основные принципы расчета основных зависимости расчета железобетонных элементов при действии поперечных сил. Расчеты на основе моделей наклонных сечений и методов расчета, принятым в действующих нормах, в этом разделе внесены усовершенствования в отношении поперечных усилий, воспринимаемых бетоном и арматурой в наклонном сечении, что позволяет уточнить методику расчета при сохранив безопасность, принятой в действующих нормах.

Сформулированы основные принципы расчета железобетонных элементов на местное действие (на смятие и продавливание). При расчете на продавливание предлагается использовать модель, обеспечивающую безопасность плоских железобетонных элементов при различных схемах нагружения.

Установлены основные принципы расчета элементов на образование нормальных и наклонных трещин. Предложено производить расчеты по предельным (при образовании трещин) усилиям и по деформационной модели бетона.

Представлены основные принципы расчета железобетонных элементов на образование нормальных и наклонных трещин. Для раскрытия нормальных трещин предложена физически и теоретически более обоснованная зависимость, которая в прямом виде учитывает влияние основных факторов (относительная влажность и диаметра хомутов) на раскрытие трещин.

Приведены предельно допустимые значения раскрытия трещин.

Установлены основные принципы и методы расчета железобетонных элементов по деформациям. Расчет по деформациям предлагается производить по деформационной модели и по новой методике определения жесткости железобетонных элементов, которая теоретически более обоснованная по сравнению с методикой, принятой в действующих нормах.

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 значению прочности бетона при снятии опалубки.

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

В разделе 9 приведены основные положения, которые должны соблюдаться при восстановлении бетонных и железобетонных конструкций. Установлены требования по обследованию конструкций, по поверочным расчетам, проектированию и изготовлению 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 железобетона. М., Стройиздат, 1950.
5. Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней в изгибаемых железобетонных элементах по разрушению. 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.

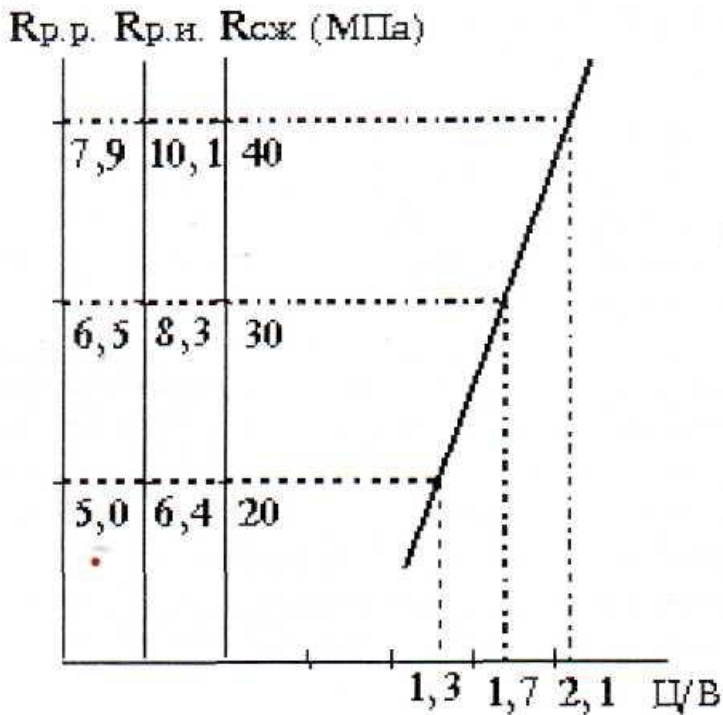
Наиболее разработанными и реализуемыми на практике являются двухпараметрические задачи, когда нормируемым свойством бетона является его прочность на сжатие $R_{сж}$, а бетонной смеси - показатель удобоукладываемости (подвижность или жесткость). Для решения задач этого типа широко применяются расчетно-экспериментальные 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].

ионностойкого и др. Их можно разделить на подгруппы:

1. с нормируемыми параметрами, однозначными с прочностью бетона на сжатие;
2. с нормируемыми параметрами, не 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 находится определяющий параметр из но-



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:

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

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 $Ц \rightarrow \min$. 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.п.

Параметры, нормируемые в м... ческих задачах, могут формироваться как одних и тех же, так и существующих технологических факторов. В данном примере прочность на сжатие определяется прежде всего цементно-песчаным соотношением. Аналогично цементно-песчаное соотношение является основным влияющим фактором, нормируются прочность и морозостойкость (обычно при неиспользовании воздушоплавающих добавок). Однако, в отличие от задач первой подгруппы, здесь нормируемые параметры зависят друг от друга жестко.

Для решения задач данной подгруппы, как и предыдущей, устанавливается область Ц/В, которая обеспечивает нормируемые параметры. Рассматриваются технологические пути достижения окончательно необходимого значения Ц/В.

Регулирование необходимого Ц/В в задачах возможно, однако, за счет изменения факторов состава, в частности количества цемента, объема вовлеченного воздуха и т.д.

Например, нормируются средняя прочность бетона $R_{сж} = 65 \text{ МПа}$ (В50) и ползучесть $\epsilon = 3,5$. Подвижность бетонной смеси $W_{пл} = 175$ мм, щебне и среднезернистом кварцевом песке ОК=2 см. Активность цемента $R_{ц} = 50$ МПа. По счетной формуле прочности бетона $R_{сж} = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 k_8 k_9 k_{10} k_{11} k_{12} k_{13} k_{14} k_{15} k_{16} k_{17} k_{18} k_{19} k_{20} k_{21} k_{22} k_{23} k_{24} k_{25} k_{26} k_{27} k_{28} k_{29} k_{30} k_{31} k_{32} k_{33} k_{34} k_{35} k_{36} k_{37} k_{38} k_{39} k_{40} k_{41} k_{42} k_{43} k_{44} k_{45} k_{46} k_{47} k_{48} k_{49} k_{50} k_{51} k_{52} k_{53} k_{54} k_{55} k_{56} k_{57} k_{58} k_{59} k_{60} k_{61} k_{62} k_{63} k_{64} k_{65} k_{66} k_{67} k_{68} k_{69} k_{70} k_{71} k_{72} k_{73} k_{74} k_{75} k_{76} k_{77} k_{78} k_{79} k_{80} k_{81} k_{82} k_{83} k_{84} k_{85} k_{86} k_{87} k_{88} k_{89} k_{90} k_{91} k_{92} k_{93} k_{94} k_{95} k_{96} k_{97} k_{98} k_{99} k_{100} k_{101} k_{102} k_{103} k_{104} k_{105} k_{106} k_{107} k_{108} k_{109} k_{110} k_{111} k_{112} k_{113} k_{114} k_{115} k_{116} k_{117} k_{118} k_{119} k_{120} k_{121} k_{122} k_{123} k_{124} k_{125} k_{126} k_{127} k_{128} k_{129} k_{130} k_{131} k_{132} k_{133} k_{134} k_{135} k_{136} k_{137} k_{138} k_{139} k_{140} k_{141} k_{142} k_{143} k_{144} k_{145} k_{146} k_{147} k_{148} k_{149} k_{150} k_{151} k_{152} k_{153} k_{154} k_{155} k_{156} k_{157} k_{158} k_{159} k_{160} k_{161} k_{162} k_{163} k_{164} k_{165} k_{166} k_{167} k_{168} k_{169} k_{170} k_{171} k_{172} k_{173} k_{174} k_{175} k_{176} k_{177} k_{178} k_{179} k_{180} k_{181} k_{182} k_{183} k_{184} k_{185} k_{186} k_{187} k_{188} k_{189} k_{190} k_{191} k_{192} k_{193} k_{194} k_{195} k_{196} k_{197} k_{198} k_{199} k_{200} k_{201} k_{202} k_{203} k_{204} k_{205} k_{206} k_{207} k_{208} k_{209} k_{210} k_{211} k_{212} k_{213} k_{214} k_{215} k_{216} k_{217} k_{218} k_{219} k_{220} k_{221} k_{222} k_{223} k_{224} k_{225} k_{226} k_{227} k_{228} k_{229} k_{230} k_{231} k_{232} k_{233} k_{234} k_{235} k_{236} k_{237} k_{238} k_{239} k_{240} k_{241} k_{242} k_{243} k_{244} k_{245} k_{246} k_{247} k_{248} k_{249} k_{250} k_{251} k_{252} k_{253} k_{254} k_{255} k_{256} k_{257} k_{258} k_{259} k_{260} k_{261} k_{262} k_{263} k_{264} k_{265} k_{266} k_{267} k_{268} k_{269} k_{270} k_{271} k_{272} k_{273} k_{274} k_{275} k_{276} k_{277} k_{278} k_{279} k_{280} k_{281} k_{282} k_{283} k_{284} k_{285} k_{286} k_{287} k_{288} k_{289} k_{290} k_{291} k_{292} k_{293} k_{294} k_{295} k_{296} k_{297} k_{298} k_{299} k_{300} k_{301} k_{302} k_{303} k_{304} k_{305} k_{306} k_{307} k_{308} k_{309} k_{310} k_{311} k_{312} k_{313} k_{314} k_{315} k_{316} k_{317} k_{318} k_{319} k_{320} k_{321} k_{322} k_{323} k_{324} k_{325} k_{326} k_{327} k_{328} k_{329} k_{330} k_{331} k_{332} k_{333} k_{334} k_{335} k_{336} k_{337} k_{338} k_{339} k_{340} k_{341} k_{342} k_{343} k_{344} k_{345} k_{346} k_{347} k_{348} k_{349} k_{350} k_{351} k_{352} k_{353} k_{354} k_{355} k_{356} k_{357} k_{358} k_{359} k_{360} k_{361} k_{362} k_{363} k_{364} k_{365} k_{366} k_{367} k_{368} k_{369} k_{370} k_{371} k_{372} k_{373} k_{374} k_{375} k_{376} k_{377} k_{378} k_{379} k_{380} k_{381} k_{382} k_{383} k_{384} k_{385} k_{386} k_{387} k_{388} k_{389} k_{390} k_{391} k_{392} k_{393} k_{394} k_{395} k_{396} k_{397} k_{398} k_{399} k_{400} k_{401} k_{402} k_{403} k_{404} k_{405} k_{406} k_{407} k_{408} k_{409} k_{410} k_{411} k_{412} k_{413} k_{414} k_{415} k_{416} k_{417} k_{418} k_{419} k_{420} k_{421} k_{422} k_{423} k_{424} k_{425} k_{426} k_{427} k_{428} k_{429} k_{430} k_{431} k_{432} k_{433} k_{434} k_{435} k_{436} k_{437} k_{438} k_{439} k_{440} k_{441} k_{442} k_{443} k_{444} k_{445} k_{446} k_{447} k_{448} k_{449} k_{450} k_{451} k_{452} k_{453} k_{454} k_{455} k_{456} k_{457} k_{458} k_{459} k_{460} k_{461} k_{462} k_{463} k_{464} k_{465} k_{466} k_{467} k_{468} k_{469} k_{470} k_{471} k_{472} k_{473} k_{474} k_{475} k_{476} k_{477} k_{478} k_{479} k_{480} k_{481} k_{482} k_{483} k_{484} k_{485} k_{486} k_{487} k_{488} k_{489} k_{490} k_{491} k_{492} k_{493} k_{494} k_{495} k_{496} k_{497} k_{498} k_{499} k_{500} k_{501} k_{502} k_{503} k_{504} k_{505} k_{506} k_{507} k_{508} k_{509} k_{510} k_{511} k_{512} k_{513} k_{514} k_{515} k_{516} k_{517} k_{518} k_{519} k_{520} k_{521} k_{522} k_{523} k_{524} k_{525} k_{526} k_{527} k_{528} k_{529} k_{530} k_{531} k_{532} k_{533} k_{534} k_{535} k_{536} k_{537} k_{538} k_{539} k_{540} k_{541} k_{542} k_{543} k_{544} k_{545} k_{546} k_{547} k_{548} k_{549} k_{550} k_{551} k_{552} k_{553} k_{554} k_{555} k_{556} k_{557} k_{558} k_{559} k_{560} k_{561} k_{562} k_{563} k_{564} k_{565} k_{566} k_{567} k_{568} k_{569} k_{570} k_{571} k_{572} k_{573} k_{574} k_{575} k_{576} k_{577} k_{578} k_{579} k_{580} k_{581} k_{582} k_{583} k_{584} k_{585} k_{586} k_{587} k_{588} k_{589} k_{590} k_{591} k_{592} k_{593} k_{594} k_{595} k_{596} k_{597} k_{598} k_{599} k_{600} k_{601} k_{602} k_{603} k_{604} k_{605} k_{606} k_{607} k_{608} k_{609} k_{610} k_{611} k_{612} k_{613} k_{614} k_{615} k_{616} k_{617} k_{618} k_{619} k_{620} k_{621} k_{622} k_{623} k_{624} k_{625} k_{626} k_{627} k_{628} k_{629} k_{630} k_{631} k_{632} k_{633} k_{634} k_{635} k_{636} k_{637} k_{638} k_{639} k_{640} k_{641} k_{642} k_{643} k_{644} k_{645} k_{646} k_{647} k_{648} k_{649} k_{650} k_{651} k_{652} k_{653} k_{654} k_{655} k_{656} k_{657} k_{658} k_{659} k_{660} k_{661} k_{662} k_{663} k_{664} k_{665} k_{666} k_{667} k_{668} k_{669} k_{670} k_{671} k_{672} k_{673} k_{674} k_{675} k_{676} k_{677} k_{678} k_{679} k_{680} k_{681} k_{682} k_{683} k_{684} k_{685} k_{686} k_{687} k_{688} k_{689} k_{690} k_{691} k_{692} k_{693} k_{694} k_{695} k_{696} k_{697} k_{698} k_{699} k_{700} k_{701} k_{702} k_{703} k_{704} k_{705} k_{706} k_{707} k_{708} k_{709} k_{710} k_{711} k_{712} k_{713} k_{714} k_{715} k_{716} k_{717} k_{718} k_{719} k_{720} k_{721} k_{722} k_{723} k_{724} k_{725} k_{726} k_{727} k_{728} k_{729} k_{730} k_{731} k_{732} k_{733} k_{734} k_{735} k_{736} k_{737} k_{738} k_{739} k_{740} k_{741} k_{742} k_{743} k_{744} k_{745} k_{746} k_{747} k_{748} k_{749} k_{750} k_{751} k_{752} k_{753} k_{754} k_{755} k_{756} k_{757} k_{758} k_{759} k_{760} k_{761} k_{762} k_{763} k_{764} k_{765} k_{766} k_{767} k_{768} k_{769} k_{770} k_{771} k_{772} k_{773} k_{774} k_{775} k_{776} k_{777} k_{778} k_{779} k_{780} k_{781} k_{782} k_{783} k_{784} k_{785} k_{786} k_{787} k_{788} k_{789} k_{790} k_{791} k_{792} k_{793} k_{794} k_{795} k_{796} k_{797} k_{798} k_{799} k_{800} k_{801} k_{802} k_{803} k_{804} k_{805} k_{806} k_{807} k_{808} k_{809} k_{810} k_{811} k_{812} k_{813} k_{814} k_{815} k_{816} k_{817} k_{818} k_{819} k_{820} k_{821} k_{822} k_{823} k_{824} k_{825} k_{826} k_{827} k_{828} k_{829} k_{830} k_{831} k_{832} k_{833} k_{834} k_{835} k_{836} k_{837} k_{838} k_{839} k_{840} k_{841} k_{842} k_{843} k_{844} k_{845} k_{846} k_{847} k_{848} k_{849} k_{850} k_{851} k_{852} k_{853} k_{854} k_{855} k_{856} k_{857} k_{858} k_{859} k_{860} k_{861} k_{862} k_{863} k_{864} k_{865} k_{866} k_{867} k_{868} k_{869} k_{870} k_{871} k_{872} k_{873} k_{874} k_{875} k_{876} k_{877} k_{878} k_{879} k_{880} k_{881} k_{882} k_{883} k_{884} k_{885} k_{886} k_{887} k_{888} k_{889} k_{890} k_{891} k_{892} k_{893} k_{894} k_{895} k_{896} k_{897} k_{898} k_{899} k_{900} k_{901} k_{902} k_{903} k_{904} k_{905} k_{906} k_{907} k_{908} k_{909} k_{910} k_{911} k_{912} k_{913} k_{914} k_{915} k_{916} k_{917} k_{918} k_{919} k_{920} k_{921} k_{922} k_{923} k_{924} k_{925} k_{926} k_{927} k_{928} k_{929} k_{930} k_{931} k_{932} k_{933} k_{934} k_{935} k_{936} k_{937} k_{938} k_{939} k_{940} k_{941} k_{942} k_{943} k_{944} k_{945} k_{946} k_{947} k_{948} k_{949} k_{950} k_{951} k_{952} k_{953} k_{954} k_{955} k_{956} k_{957} k_{958} k_{959} k_{960} k_{961} k_{962} k_{963} k_{964} k_{965} k_{966} k_{967} k_{968} k_{969} k_{970} k_{971} k_{972} k_{973} k_{974} k_{975} k_{976} k_{977} k_{978} k_{979} k_{980} k_{981} k_{982} k_{983} k_{984} k_{985} k_{986} k_{987} k_{988} k_{989} k_{990} k_{991} k_{992} k_{993} k_{994} k_{995} k_{996} k_{997} k_{998} k_{999} k_{1000}$

Мощным средством уменьшения Ц/В в морозостойких бетонах является введение воздуха. Характерно при этом, что уменьшая Ц/В для достижения заданной морозостойкости, вовлеченный воздух в то же время уменьшает Ц/В из условия прочности. Положительный эффект уменьшения Ц/В за счет введения воздуха в бетон может быть весьма значительным, особенно в бетонах с высокими значениями морозостойкости при умеренном нормируемом значении прочности.

Для ряда задач проектирования

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 ртяжимость 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

гозатрат, уменьшение стоимости бетона).

При выборе количественных значений параметров должны рассматриваться как целевая функция конкретной задачи, так и имеющаяся информация. Например, для простейших случаев, включающих определение прочности бетона в условиях нормального твердения, минеральных наполнителей, воздухововлечения и других добавок могут быть использованы наиболее известные формулы [1, 5]. При наличии развернутой информации о качестве материалов коэффициент А уточняется в соответствии с рекомендациям [2], в противном случае используются укрупненным рекомендациям [1] или учитывается [4].

Для более сложных задач при выборе составов бетонных смесей минеральных наполнителей и добавок ПАВ при известных значениях параметров целесообразно использование обобщенной формулы прочности [5]:

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

где Ц, В, Д – соответственно расходы цемента, воды и минеральной добавки, кг/м³; $K_{ц.э}$ – коэффициент "цементирующей эффективности" минеральной добавки; $V_{в}$ – объем вовлеченного воздуха; p – мультипликативный коэффициент учета различных факторов.

Различные количественные значения параметров можно использовать и для определения оптимальных количеств минеральных наполнителей. При известных значениях расхода цемента, поверхности и пустотности заполнителей можно воспользоваться для определения $\gamma_{опт}$ формулой, приведенной в работе [6]. Если качество минеральных наполнителей характеризуется модулем крупности, то можно использовать максимальную крупностью щебня или песка. Также возможны другие формулы [2]. В тех случаях, когда известны наряду с расходом цемента и Ц/В расход песка, расход щебня можно рассчитать, рассчитав коэффициент раздвижки смеси в соответствии с рекомендациям [1]. Если заданы пустотность минеральных наполнителей (их можно легко вычислить, зная насыпные плотности заполнителей) расчет можно вести по зависимостям [2] с соответствующими поправками. Таким образом, имеющаяся в современном бетоноведении эмпирическая информация позволяет создать банк количественных зависимостей, представляющих возможность реализовать альтернативный подход при

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 плотность 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_ш=2,7 кг/л, насыпной плотностью ρ_{н.ш}=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_в – 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

воздуха V_в, обеспечивающий при данной марки по морозостойкости необходимую марку по морозостойкости коэффициент k для заданных марок бетона. Коэффициенты A₁, A₂ для заданной марки ОК=2см соответственно 0,91 и

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

4. Введение в бетонную смесь воздухововлекающей добавки снижает прочность бетона на 11% [5].
R_{сж} = 31 - 0,11 · 2,2 · 31 = 27,6 МПа

5. Прочность бетона на сжатие при осевом растяжении для обеспечения требуемого среднего значения прочности:

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

6. По формуле (3) уточним необходимый объем воздуха V_в, обеспечивающий при данной марки по морозостойкости необходимую марку по морозостойкости:

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

Для дальнейшего расчета приняты значения: V_в = 2,2 + 1,7)/2 ≈ 2 %.

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

$$\begin{aligned} \text{Ц/В} &= 1,77; \text{В} = 180 \text{ л/м}^3; \text{Ц} = 319 \text{ кг/м}^3; \\ \text{Щ} &= 1216 \text{ кг/м}^3; \text{П} = 658 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Приведем расчетный состав бетона:
Ц=319 кг/м³; В=180 кг/м³; Щ=1216 кг/м³; П=658 кг/м³; V_в=20 л/м³

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Способы определения прочности бетона на различных видах. М.: Стройиздат, 1980.
2. Сизов В.П. Проектирование состава бетона. М.: Стройиздат, 1980.
3. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанский В.И. Прочный бетон. М.: Стройиздат, 1978.
4. Кайсен Л.А., Чехова Р.С. Цементный бетон. М.: Стройиздат, 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_f , 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_f – удельные энергозатраты 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_{ia} ; 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 условностей вообще бы сократило число наблюдений в плане до 1; плановый эксперимент это всегда жесткие и литые бетонные

то есть при изготовлении смеси п...
заполнитель только одной фракции.

Структуроформирующие п...
ванных бетонов приведены в табл. 3

Состав	d_{max} , мм	Расход матери		
		цемент	песок	щ
1	10	350	1113	
2	20	500	444	
3	20	425	520	
4	20	425	373	
5	30	425	610	
6	30	350	466	
7	30	500	312	
8	30	500	575	
9	10	500	102	
10	30	350	613	
11	30	350	939	
12	30	350	466	
13	10	500	575	
14	10	500	312	
15	10	500	786	

состав	R_m , МПа	R_{bt} , МПа	R_b , МПа	K_{Ic} , МН/м ^{3/2}	K_{IIc} , МН/м ^{3/2}
1	46,6	2,36	31,7	0,61	
2	30,7	2,13	23,8	0,59	
3	21,6	1,77	19,2	0,52	
4	29,0	1,74	21,1	0,53	
5	33,1	1,76	22,4	0,61	
6	26,5	1,70	18,2	0,57	
7	37,3	2,21	22,9	0,60	
8	24,9	1,33	16,2	0,60	
9	21,7	1,40	19,2	0,47	

№ 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	
1	9,29	0,74	2,31	0,49	4,17	0,48	0,16	
2	1,7	0,31	2,27	0,25	2,9	0,64	0,31	
3	2,33	0,31	2,36	0,29	2,8	0,56	0,20	
4	3,52	0,25	1,87	0,28	2,8	0,56	0,22	
5	2,26	0,28	2,35	0,27	5,9	0,43	0,13	
6	1,83	0,25	2,65	0,26	2,2	0,59	0,26	
7	1,81	0,3	3,01	0,28	1,6	0,61	0,27	
8	2,18	0,25	2,32	0,27	1,5	0,58	0,32	
9	5,61	0,3	2,04	0,36	7,2	0,43	0,11	
10	2,36	0,4	1,86	0,25	4,1	0,57	0,21	
11	1,26	0,7	2,83	0,25	1,8	0,58	0,29	
12	5,19	0,32	1,47	0,27	5,6	0,43	0,14	
13	1,45	0,54	2,34	0,25	3,1	0,52	0,19	
14	1,8	0,34	2,08	0,24	3,2	0,48	0,13	
15	1,04	0,51	2,75	0,23	2,4	0,58	0,25	

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

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

$$K_{IC} = 1,644 + 0,000005Ц^2 - 0,003Ц - 0,767(B/Ц) - 0,967K_{la} + 15,466d_{max} - 0,002Ц \cdot (B/Ц) + 2,5(B/Ц) \cdot K_{la} - 28,89K_{la} \cdot d_{max} \quad (2)$$

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

$$G_i = 269,14 + 0,000458Ц^2 + 340,8(B/Ц)^2 - 164,3K_{la}^2 + 37288d_{max}^2 - 0,545Ц - 450,8(B/Ц) + 66,5K_{la} - 1931,5d_{max} + 0,112Ц \cdot (B/Ц) + 0,153Ц \cdot K_{la} + 0,872Ц \cdot d_{max} \quad (4)$$

$$П_{микро} = 122,17 - 31,276(B/Ц)^2 + 77,45K_{la}^2 + 5398,3d_{max}^2 - 0,203Ц - 109,1(B/Ц) - 176,4K_{la} -$$

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

Приведем некоторые заслуживающие внимания выводы по результатам экспериментов: увеличение количества пор, макротрещин ведет к снижению трещиностойкости и при нормальном отрыве при поперечном сдвиге, а прочностные параметры бетона чувствительны к изменению количества пор и структуре;

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

- структуроформирующие характеристики бетона хорошо коррелируют с параметрами трещиностойкости K_{IC} , K_{IIc} и плохо - с прочностными характеристиками (рис.1 и 2), что открывает возможности с помощью констант трещиностойкости интегрально оценивать и прогнозировать трещиностойкость бетона;

- прогноз долговечности бетона может быть осуществлен по величине критического коэф-

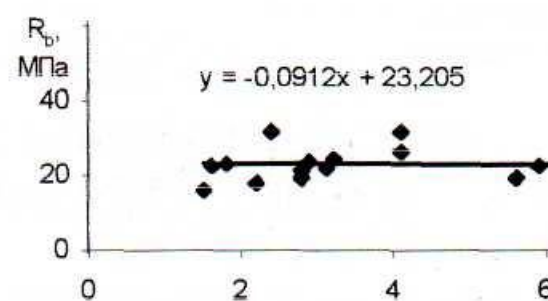
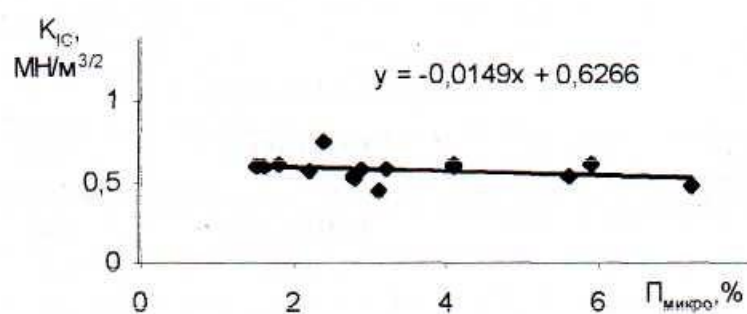


Рис. 1. Зависимость параметров K_{IC} и R_b от микропористости

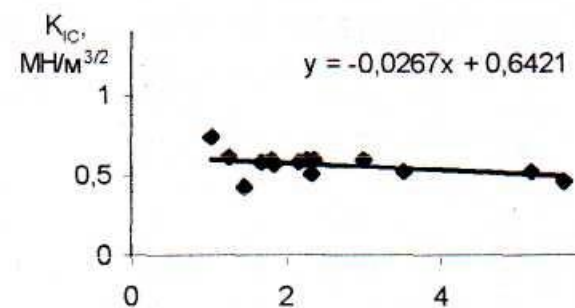
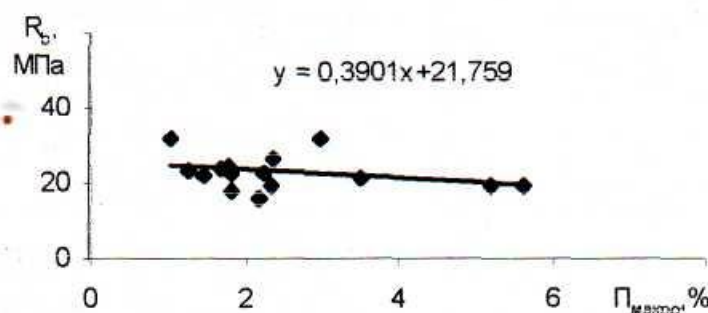


Рис. 2. Зависимость параметров K_{IC} и R_b от макропористости

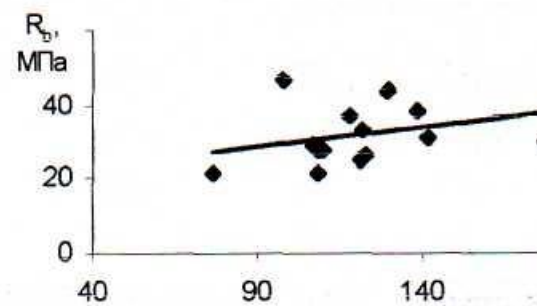
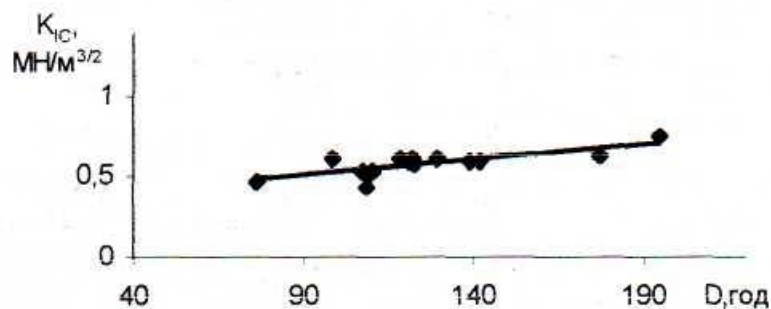


Рис. 3. Зависимость долговечности от параметров K_{IC} и R_b

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 железобетона. –Тбилиси:« Энергия »,1998.

2. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голдр. Таблицы планов эксперимента для полиномиальных моделей. –М.: «Металлургия», 1975с.

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

изготовление специальных конструкций, проблемы повышения долговечности железобетонных сооружений отечественной и мировой практики. Каждая глава заканчивается перспектив развития того или иного направления.

В подготовке монографии общим объемом приняли участие все подразделения и все новые сотрудники института.

В редколлегия по подготовке монографии принимал участие директор НИИЖБ А.И.Звездочин.

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 (МAB) [1]. Опыт применения МAB, включая наш собственный [2-3], доказывает высокую эффективность этих методик. Особенно целесообразно использование в этих целях специально разработанного нами аппарата [4]. Все чаще МAB 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 эффективно-

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.Михаэлиса (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

таллов, что сопровождается изменением системы и рН среды.

Следует отметить, что эти этапы не идут друг на друга, т.е. происходят одновременно. Механизм образования гидратных соединений зависит от свойств исходных веществ и условий, при которых происходит взаимодействие между ними и водой.

Нами разработана методика активации воды электролизом, которую можно использовать для затворения бетонных смесей. Она заключается в широком диапазоне изменения её физико-химических свойств, насыщая её дробными концентрациями электричества [7]. Разработан и запатентован способ контроля степени активации [8]. Это открывает возможность использования данного подхода [11], активного в процессе на любом этапе формирования цементного камня.

Так, увеличение диссоциирующих способностей, диссоциирующих свойств воды и поверхностного натяжения безусловное образование насыщенного раствора на первом этапе. Следующим этапом нами уменьшение поверхностного натяжения за счет сил Ван-дер-Ваальса, что способствует образованию геля и "застыванию" массы", а насыщенный раствор дополняется процессом кристаллизации и роста кристаллов в насыщенном растворе. После электрообработки

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 ($\text{кг}/\text{м}^3$): цемент (М400) – 312,3; щебень – 1211,8; песок – 772,6. Количество воды варьировали таким образом, чтобы получить примерно одинаковые

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.

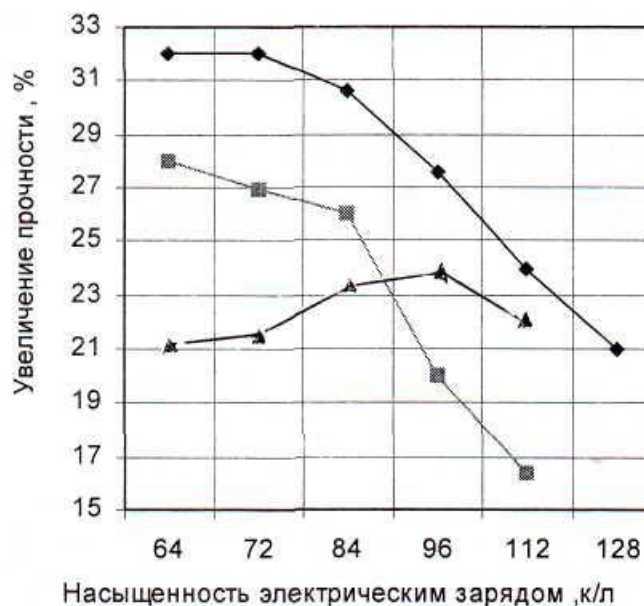
По вертикальной оси на рисунке отложен процент увеличения прочности куба по отношению к контрольному образцу той же жесткости, затворенному обычной водопроводной водой. По горизонтали – значение величины заряда единицы массы воды затворения, рассчитанная по вышеприведенной формуле. Видно, что прочность образцов, затворенных ЭА водой, по сравнению с контрольными образцами, выше. Характер зависимости изменения упрочняющего эффекта от насыщения воды затворения электрическим зарядом в значительной степени

жесткостью 4с в зависимости от НЭЗ растет (на 12% больше), чем, хотя это падение достоверно, оно не выходит в пределы используемых экспериментальных методик. Оптимальные значения разцов с жесткостью 4с – 84 НЭЗ. При этом среднее значение эффекта для жесткости 4с равно 31%. Для жесткости 5с у образцов с жесткостью 7с равно 31%, для жесткости 5с – 27%, с жесткостью 4с – 21%.

Таким образом, электроактивация воды по нашему способу улучшает прочностные характеристики бетонных смесей, что соответствует скандинавские нормы, что является солидной экономией.

Выводы

1. Электроактивация воды затворения по нашему



Эффективность применения электроактивации в зависимости от жесткости и насыщения зарядом

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

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 омагниченной 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 Помазки-на для магнитной активации воды, Патент РФ RU № 2096339 С1, Бюлл. № 32, 20.11.97.

5. Свинухов 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 №1122617, Бюлл. № 41, 1993.

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

8. Помазкин В.А. Способ физической активации жидкостей РФ RUN№2097659С1, Бюлл. № 32, 20.11.97.

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

10. Волженский А.В. Вязующие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. - 464 с.

11. Pomazkin V.A. The kinetic and quasithermodynamic of unspecific physical influence of magnetic field on concrete and International Conf., St Petersburg, Ladoga, 1999, page 68.

В.Л.ЧЕРНЯВСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.Е.КРУШЕДОЛЬСКАЯ, канд. техн. наук (Донецкий 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 (БШПЦ), анвросиевском (АШПЦ) и М300 (АШПЦ) шлакопортландце-ментах и анвросиевском стойком портландцементе М400 (ССПЦ) (табл. 1). Испытываемых в настоящее время «Донецким цементным заводом» и ОАО «Донецкий цементный завод» и ОАО «Донецкий цементный завод».

Добавка доменного шлака составляла в АШПЦ и БШПЦ соответственно 60 и 50 % по массе. Для приготовления бетонных образцов с ребром 7 см использовались кварцевый песок, гранитный щебень Барвенковского месторождения. Кроме того, использовались материалы для твердения

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

бетоны аналогичного состава, подвергавшиеся термовлажностной обработке (выдерживание при 20°С - 2ч, подъем температуры до 80°С - 8ч, изотермический прогрев - 6ч). Лабораторные режимы состояли из чередующихся циклов N увлажнения (24ч.) образцов водопроводной водой (200 мг/л ионов SO₄²⁻) и нагрева (24ч.) при температурах 40; 60; 90°С (режимы IA, IIA, IIIA) или увлажнения 5 %-ным раствором сульфата натрия (33800 мг/л ионов SO₄²⁻) 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 $M_N = W_{сж}^{(N)} / W_{сж}^{(28)}$. При

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°С 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°С 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

снижение параметра E_N происходит с торможением и менее интенсивно во вторых, у которых отмечено некоторое ускорение измененной характеристики. Однако не так ярко выражено наблюдалась в режиме IIB, четко эта ситуация проследилась в результате анализа зависимости параметра E_N от температуры в режимах IA, IIA, IIIA с температурой E_N бетонов из-за значительно. В режимах IIB E_N снижается более интенсивно для бетонов на АШПЦ и БШПЦ, является лишь в режимах IIA. В режимах IA, IIA, IIIA подвергшиеся термовлажностной обработке в ранний период твердения всех исследованных цементов оказались менее стойкими (на 1,4...1,6 раза ниже, чем для марки W8).

Сопоставление зависимости E_N и M_N -N показало, что с ростом значений E_N происходит снижение значений M_N . Сравнительный анализ зависимости M_N не выявил четкой

непроницаемости, как и значения E_N оказались близкими. В режимах ПБ, ШБ 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 IА, IIА, IIIА, IБ вне зависимости от вида цемента значения рН практически одинаковы за весь

период воздействия. Для бетонов, испытываемых в режимах ПБ, ШБ 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 депассивации 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 IIIА защитная способность бетона марки W8 на шлакопортландских цементах оказалась примерно в 2 раза выше, чем у бетона W4, а в режиме ШБ - 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, надежность периода сохранительских свойств в условиях сульфатсодержащих сред создателей и повышенных нагрузок бетонами на шлакопортландских цементах, нормально подвергавшихся воздействию агрессивных сред, гарантированно идеальные экспериментальные результаты могут служить существенного расширения использования шлакопортландцемента в качестве вяжущего для коррозионно стойких бетонов.

Библиографический

1. Чернявский В.Л. К методике использования бетонов в агрессивных средах // Бетон. - 1998. - №6. - С. 10-12.
2. Чернявский В.Л. Антикоррозионные свойства бетонов // Киев: Будивэльнык, 1998. - 100 с.
3. Заславский И.И., Чернявский В.Л. Коррозия стальной арматуры в зданиях и сооружениях черной металлургии // Киев: Будивэльнык, издат, 1979. - 72 с.
4. Алексеенко Л.Л., В.Л. К методике определения рН водных вытяжек из цементных материалов // Бетон. - 1983. - т. XXVI, №6. - С. 337.

Д.Р.МАИЛЯН, Р.Л.МАИЛЯН, доктора техн. наук, профессора, М.В.ОСИПОВ, ма
(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 предварительно напряженной 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

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

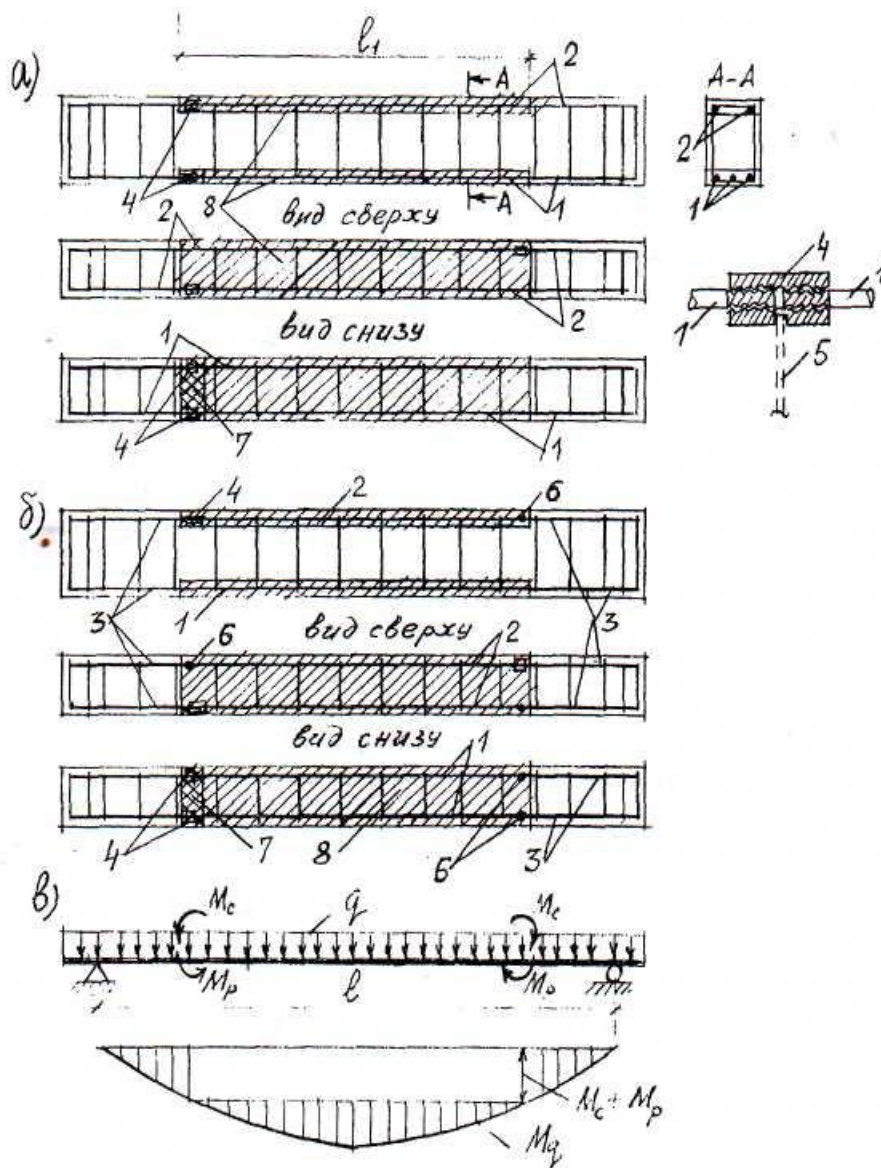
Закрывание трещин происходит лишь в пролетных сечениях, в которых отрицательные моменты погашаются положительными моментами от внешней нагрузки. В приопорных же сечениях отрицательные моменты, вызванные преднапряжением, также как и трещины, вызванные ими, остаются непогашенными. Кроме того, усилия преднапряжения 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 со-

речным силам возможно лишь матуры на бетона ства каналов и после натяжения

Арматуру с бетонных изгиб как известно, в бенно при ξ бли разно подверга му сжатию. Эт тельно увеличи марные напряж туре, достигаем бетона сжатой напряжения в с составляют R_{sc} чение предвари матуры. Открыв к полной реализ свойств высоко сжатой зоне, м сократить расхо арматуры.

При отпуске сжатой армату щих способах и зобетонных кон ся те же недост чены выше. Те щины, образу положения пред арматуры, при ней нагрузки за пролетных сече опорных участ моменты не пога



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 непо-

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

нировании элемента у туры, которые следует предварительному сжатию (оставляют от рисунком). Если класс длины балки не измен матурные стержни 1 зоны и 2 сжатой зоны из двух отрезков, с муфтами 4, имеющими нарезку. После набора редаточной прочности муфты, снабженной сгом 5, в каждой арматуре на участке длиной предварительное напряжение обустраиваемого значения и прочность стержней 2 при полном сжатии обеспечивается вязкой вязальной проволокой, распущенным хомутам, шаг принятым в норм

Затем обнаженные арматуры бетонируются, оставляются открытыми, муфт только на пре растянутой арматуре, ность работы набетонке, жненным бетоном обе поперечной арматурой, щей поверхность сцепления бетона. По достижении достаточной прочности муфты на предварительной арматуре в обратном направлении производится пере напряжений на набетонку, щуюся обжатую. После 7 закрываются бетоном, тате достигается постав – в высокопрочной арматурой зоны на участке делается предварительное в высокопрочной арматурой зоны – предварительное растяжение. При этом предварительное растяжение бетона и трещин в набетонке с помощью сжатой арматуры в набетонке с предва

стержни состояются из трех отрезков – к средним из высокопрочной арматуры 1 или 2 с одного конца привариваются встык стержни 3 из низкопрочной 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 арматурных стержнях при вращении муфт может осуществляться вручную. Так, при высокопрочной арматуре 10 мм, для создания преднапряжения 600...800 МПа при муфте наклона резьбы $2,1^\circ$ и цитированном значении P_c требуется требуемый крутящий момент составляет всего 6...8 кН·м.

Следует отметить, что наличие резьбы на концах арматурных стержней снижает прочность сечений, что однако не влияет на существующую способность балки к ослаблению сечений при изгибе участка с пониженным изгибающих моментов.

Предложенное решение защищено Патентом Российской Федерации №2170312.

Железобетонные конструкции с преднапряжением на отдельных участках наиболее рациональны, позволяют снизить расход высокопрочной стали, отказаться от торцевых участков с сетками, упростить технологию преднапряжения и повысить технические характеристики б

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

- 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 культурная программа и экскурсии.

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

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byi}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{sxj} + \frac{1}{r_y} Z_{syj}; \quad (5)$$

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

бетона, напряжение и деформация на у-ра тяжести;

A_{sj} , Z_{sxj} , Z_{syj} , σ_{sj} , ε_{sj} - площадь, координаты тяжести j-го стержня арматуры, напряжение в нем;

ε_0 - относительная деформация волокна на пересечении выбранной

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

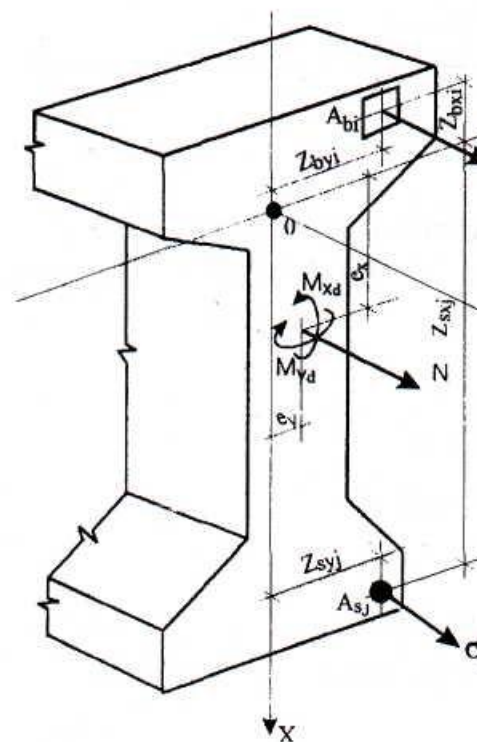


Рис. 1. Расчетная схема нормального сечения бетонного элемента

За расчетные диаграммы состояния

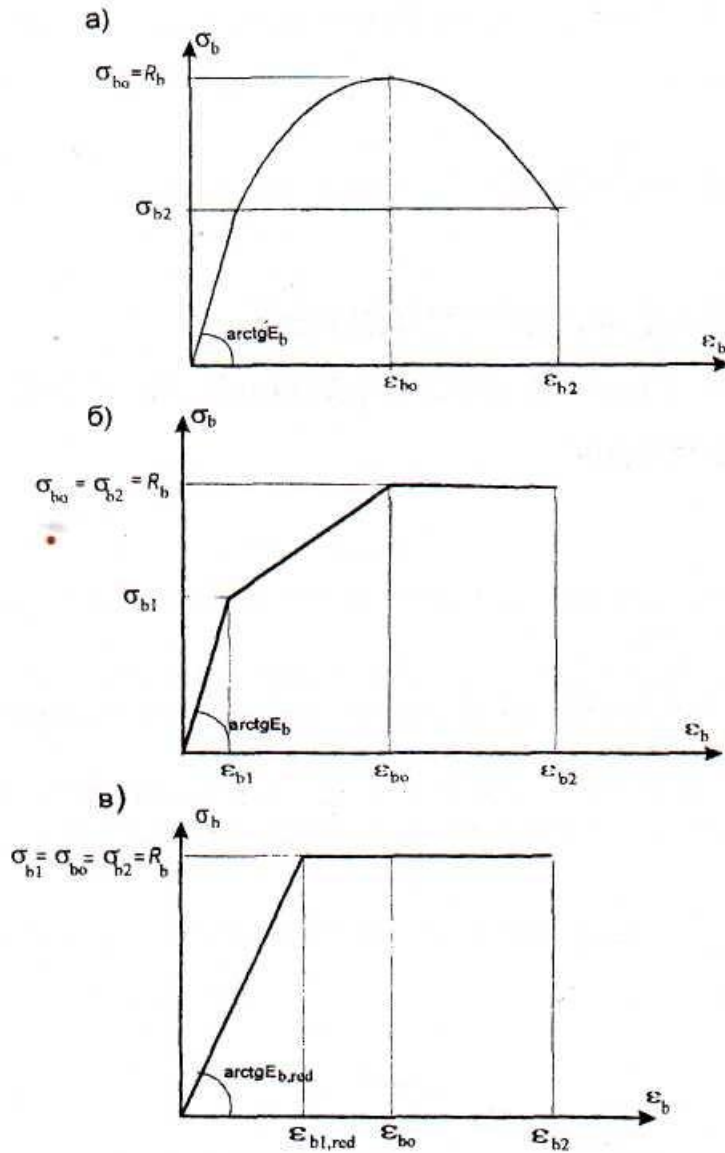


Рис. 2. Диаграммы состояния сжатого бетона
 а — криволинейная; б — трехлинейная; в — двухлинейная

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

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 напряже-

Зависимости для описания трехлинейной мы приняты в виде

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

$$\sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b;$$

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

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

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

$$\sigma_b = R_b.$$

Граничные значения напряжений σ_{b1} и деформаций ε_{b1} упругого участка диаграммы приняты следующими:

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

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

Двухлинейную диаграмму описывают следующими:

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

$$\sigma_b = E_{b,red} \cdot \varepsilon_b;$$

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

$$\sigma_b = R_b.$$

Значения относительных деформаций $\varepsilon_{b1,red}$, отвечающих границе условно-упругости бетона, принимают равными $\varepsilon_{b1,red}$, соответствующий приведенный модуль упругости

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

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

В качестве расчетной диаграммы состояния стержневой арматуры средней прочности класса включительно принимают двухлинейную по типу диаграммы Прандтля (рис.3), которая описывается зависимостями:

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

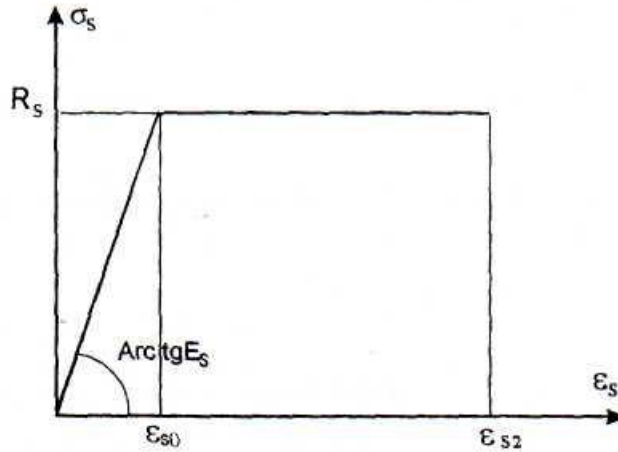


Рис. 3. Диаграмма состояния растянутой арматуры

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \cdot \varepsilon_{bi}};$$

$$\nu_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj} \cdot \varepsilon_{sj}},$$

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

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

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

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

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:

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

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

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 -

$$M + N \cdot \eta \cdot e_o \leq R_b \cdot A_b \cdot Z_b +$$

$$+ R_s \cdot A_s \cdot Z_s + R_{sc} \cdot A'_s \cdot Z'_s,$$

где площадь бетона сжатой зоны A_b определяется по уравнению

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

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

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

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

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

Значение граничной высоты сжатой зоны x_R определяют исходя из линейного распределения напряжений по высоте сечения при предельных деформациях бетона сжатой грани $\varepsilon_{b,ult}$ и деформациях арматуры ε_{s1} , отвечающих расчетным сопротивлениям арматуры R_s .

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

При этом принимается во внимание, что предельное усилие в бетоне определяют исходя из предельной эпюры напряжений в сжатой зоне. Для учета этого полученное значение высоты сжатой зоны x_R корректируют с помощью коэффициента эквивалентности, равного 0,8.

В результате граничную высоту сжатой зоны x_R на определяют по формуле

$$x_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{b,ult}}} \cdot h_o$$

Для тяжелого бетона и арматуры класса А-III

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

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 ($e_o \leq \frac{h}{30}$) 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

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 наиболее невыгодном для данного элемента рамы в отношении нагрузки, принимая во внимание неупругую деформацию бетона, арматуры и наличие трещин в бетоне.

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

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

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

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

Для элементов с податливым шарнирным опиранием (допускающим ограниченное смещение) на одном конце, а на другом конце: с жесткой заделкой (без поворота) $\frac{l_o}{l} = 1,5$; с податливой заделкой (допускающей ограниченный поворот) $\frac{l_o}{l} = 2,0$.

Для элементов с несмещаемыми заделками на обоих 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

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

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 ли-

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 внеш-

перспективности переходу звуковому частотному. Однако верхняя граница частотного диапазона может выходить за пределы 1 кГц из-за сильного затухания частотных волн в бетонной

На третьей стадии (компрессия смеси) динамическую и статическую составляющие амплитуды давления целесообразно довести примерно до 1 МПа. Дальнейшее увеличение значения эффекта практически не достигается ввиду ограничения по частоте динамического воздействия должны ограничиваться по-видимому, из условий обеспечения виброожижения смеси.

С учетом изложенного можно предположить, что характер изменения параметров воздействия при виброуплотнении, например жестких бетонных смесей (с использованием гипотетического ударно-волнового устройства регулируемой основной частоты (f_c) и давления (P), а также продолжительности воздействия импульсов, и частоты ($f_{ц}$). Величина ($f_{ц}$) соответствует нижнему пределу частотного диапазона, при котором выполняется условие виброожижения смеси. Статическое давление (P) в начальный момент времени создается собственным давлением (P_0) в слое бетонной смеси (исходное значение принято условное значение 0,1 МПа). Возрастание нагрузки (P) с временем создается за счет внешней нагрузки.

Ни одна из существующих технологий не в состоянии обеспечить необходимое регулирование режимов обработки

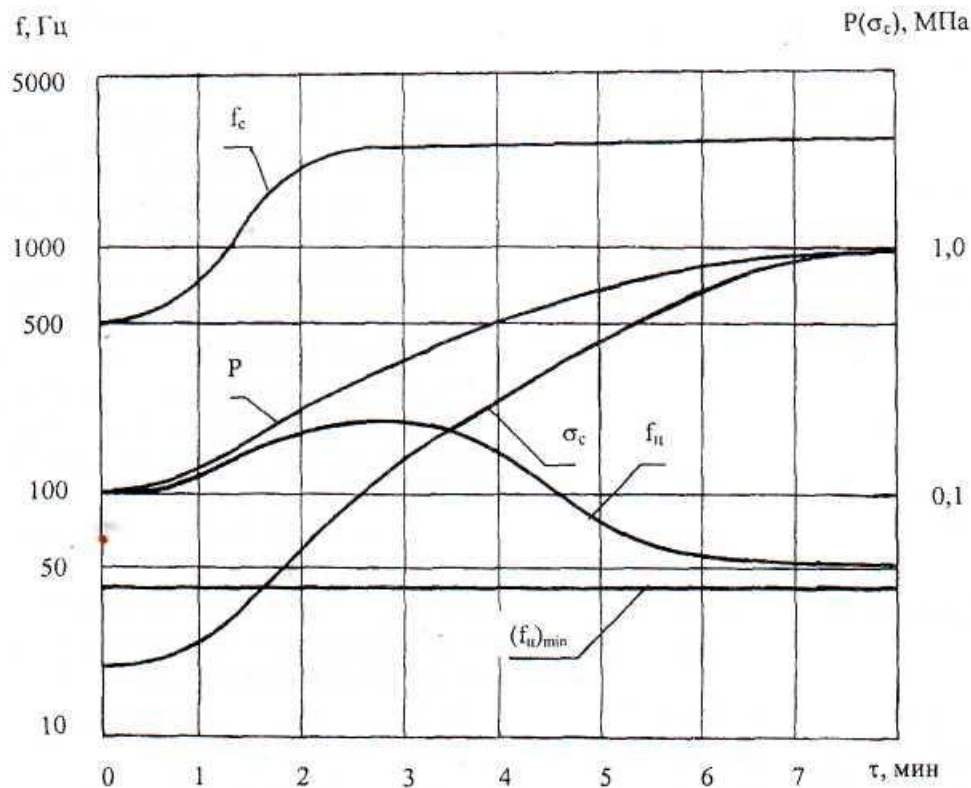


Рис. 1. Характер изменения по времени параметров воздействий при виброуплотнении жестких бетонных смесей

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 вибро-

возможность 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 с газообразным топливом с частотой колебаний до 100 Гц. Горючее и окислитель подаются по коллектору 12, проходящим через холодильник 12 в форкамеру 5, переходящую в конус 7 и в камеру сгорания 8. После заполнения их горючей смесью датчик 9 с помощью блока стабилизации 10 подает сигнал на зажигание горючей смеси в форкамере 5, осуществляемой свечой 11. Горючая смесь воспламеняется в дефлаграционном режиме, который переходит в детонационный при возникновении скачка давления, превышающего давление газовых коллекторов, что приводит к прорыву коллектора подачи топливных компонентов. После истечения продуктов сгорания из камеры давление в коллекторах падает, и процесс повторяется.

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

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

Величина P_{ϕ} для газовой смеси лежит в пределах примерно 0,1...1 МПа. Химические реакции завершаются за время τ_1 , составляющее несколько микросекунд. За это время давление падает в два раза (закон Чепмена-Жуге): $P_{\text{чж}} = P_{\phi} / 2$. При расширении продуктов детонации не происходит, то через время τ_2 равное примерно 3...5 мс, давление падает до некоторого остаточного (среднего) уровня, составляющего

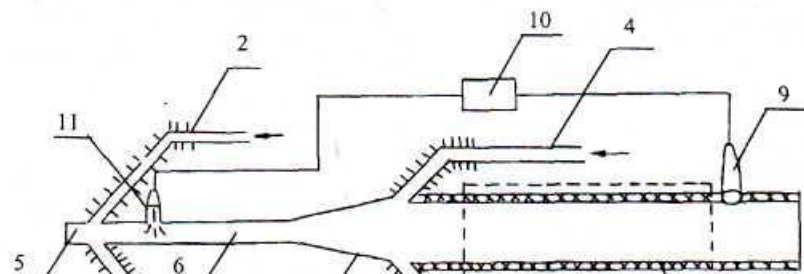




Рис. 3. Характер изменения давления в волне детонации

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

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 200...250 Гц (при малых скорости сгорания).

Гораздо более сложным является изменение реперных действия в требуемых параметрах уплотнении смеси. Как видно из представленных выше материалов, для смесей средней жесткости частота циклов должна быть примерно от 50 до 200 Гц, а амплитуда давления — от 0,5 до 1 МПа.

Указанная выше задача существенно упрощается, если рассматривать ее в виде группы волн с возможностью реперного управления их работой. Переход от одной камеры к другой многократно увеличивает вариативность характеристик УВГУ. Известно, при синхронизации колебательных сигналов, имеющих одинаковые или кратные частоты, возможно деление амплитуды, изменение амплитуды суммарного сигнала.

Не касаясь пока тонкостей стороны синхронизации сигналов систем, рассмотрим в иллюстрациях некоторые результаты сложения сигналов одинаковых импульсов (рис.4). При синфазном сложении сигналов (рис.4,а) амплитуда импульса удваивается, а его периоды (τ_c) остаются неизменными. Частота (f_c) и частота цикла суммарного сигнала.

Смещение по времени сигнала относительно друг друга приводит к удвоению частоты суммарного сигнала. При сложении сигналов в пределах периода импульса изменяются форма и спектр суммарного сигнала (рис.4,с).

Относительное смещение при работе взрывных камер не обеспечивает, управляя

Газовая смесь	Стехиометрический состав смеси	Скорость детонации D, м/с	Давление в точке Чепмена-Жуге $P_{чж}$, МПа	Давление в отраженной волне $P_{от}$, МПа	Тепловая энергия
---------------	--------------------------------	---------------------------	--	--	------------------

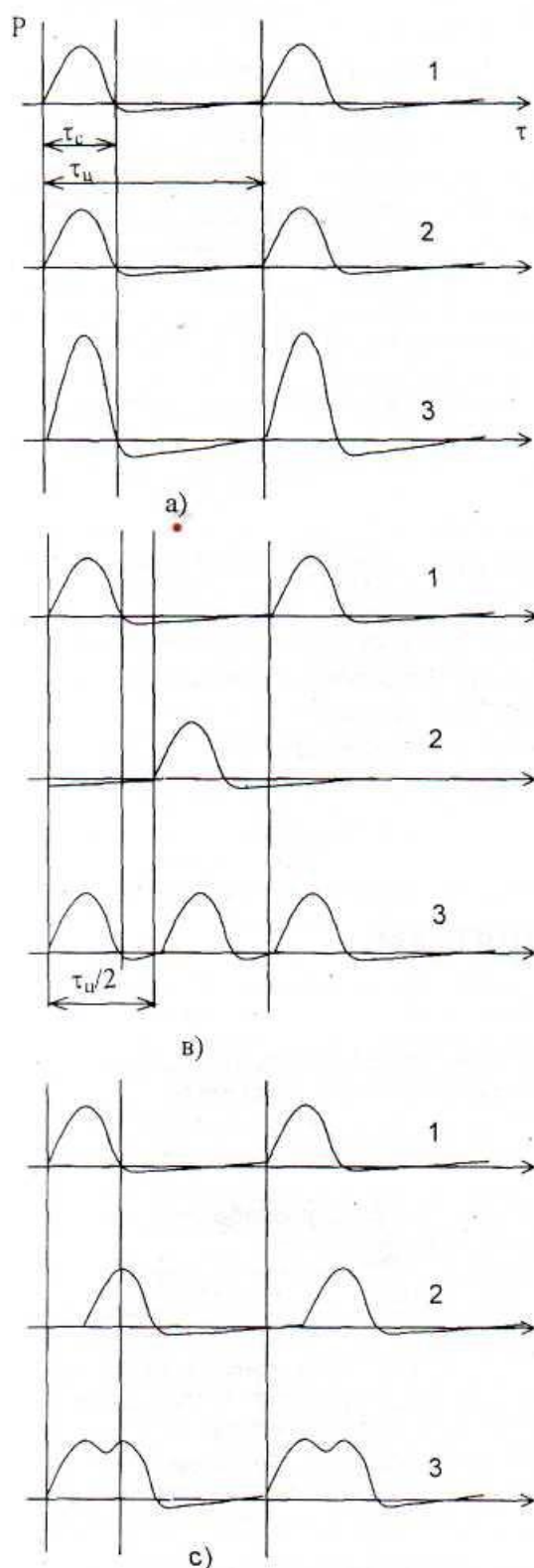


Рис. 4. Характер изменения импульсов при сложении волн

а — 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 каж-



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

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

В соответствии с предельными расчетными оценками применение ГУВТ в строительной практике может дать существенный технический и экономический эффект. Так, например, только обработка с помощью ГУВТ бетонных смесей повышенной жесткости можно обеспечить снижение расхода цемента на 10...30%, увеличение прочности бетона на 30...70%, уменьшение расхода бетона при создании изделий и конструкций на 25...50%.

Более подробные сведения можно получить по телефону 219-7070 (Зеленов Иван Владимирович).

Библиографический список

1. Гусев Б.В. и др. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей. — М.: Стройиздат, 1982.
2. Стефанов Б.В., Русанов В.В., Лянский А.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. Киев: ВД «Льва». Головное изд-во, 1982.
3. Афанасьев А.А. Технология импульсного уплотнения бетонных смесей. М.: Стройиздат, 1997.
4. Савинов О.А., Лавриненко В.В. Вибрационная техника уплотнения бетонных смесей. Л.: Стройиздат, Ленинградское отд-ние, 1982.

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 № 99117759/03 от 16.08.99.

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

10. А.С.СССР № 1713333 от 16.08.99.

К 75-ЛЕТИЮ НИИЖБ

В этом году исполняется 75 лет со дня основания одного из ведущих институтов строительства — НИИЖБ.

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

Идя навстречу этой знаменательной дате, редколлегия журнала планирует опубликовать материалы из основных подразделений 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 бесклинкерных и малоклинкерных 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-теплоизоля-

ционных легких бетонов, особо легких бетонов или новых видов плитного утеплителя.

Исследовательские работы по вышеперечисленным направлениям выполнялись в основном по заказу заказчика.

В результате этой деятельности были разработаны и внедрены в практику строительства следующие технологии:

Математические и физические модели теплопроводности капиллярно-пористых строительных материалов созданы в виде компьютерной реализации. Работоспособность моделей проверена численными экспериментами при определении теплопроводности различных видов легких бетонов. В результате разработана методика по аналитическому определению теплопроводности легких бетонов, по его регулированию с помощью математических моделей с их применением.

Экологически безопасная и низкоэнергетическая технология производства гравиеподобных пористых заполнителей из отходов металлургических шлаков или электротермофосфорных шлаков. Такие заполнители не уступают керамзитовым по теплотехническим показателям, но превосходят их по прочности на 25–50% и при этом энергозатраты на их производство ниже в 5 раз, а себестоимость меньше в 3–5 раз. Технология внедрена на Новолипецком металлургическом заводе.

Универсальная экологически безопасная технология производства гравия из металлургических шлаков (текущих и ферросплавных). Универсальность технологии заключается в том, что, легко меняя режим поризации и диспергирования расплавов, можно получать пористый шлаковый гравий различных классов: класс А — для конструкционно-теплоизоля-

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

Номенклатура различных видов низкотеплопроводных композиционных бесклинкерных и малоклинкерных вяжущих на базе использования побочных продуктов промышленности черной и цветной металлургии. Композиционные вяжущие разработанных 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 использованы 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 теплоизоляционный полистиролбетон и соответствующая технология применяются при возведении различных строительных объектов в Москве, Екатеринбурге и Московской области.

Технические решения и технология 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 теплоизоляцион-

топластиковых связей взамен традиционных х- "шпонок" или дискретных связей из нержавеющей стали. Обеспечивает теплотехническую однородность стеновых конструкций, повышает надежность ее в эксплуатации и снижает себестоимость изготовления.

Технические решения и технология изготовления конструкционно-теплоизоляционных слоистых наружных стеновых панелей и плит "сэндвич-бетон" со средним слоем из модифицированного теплоизоляционного полистиролбетона марок по средней плотности D400 наружными слоями из конструктивного бетона. Такие ограждающие конструкции, в которых теплоизоляционные слои работают совместно единым монолитным сечением, отличаются от традиционных с плитным утеплением. Они существенно более долговечны и надежны в эксплуатации. При этом себестоимость их изготовления на 20–25% ниже. Для этих конструкций разработаны предложения по расчету трещиностойкости, по обеспечению прочностных характеристик, а также по обеспечению прочностных характеристик поперечных сил. Проверена возможность увеличения площади армирования за счет установки наклонной арматуры. Проведены испытания стеновых панелей по горизонтальной разрезке для промздания. Разработаны проектные чертежи панелей для стен отапливаемых общественных зданий. Для жилых зданий до 5 этажей разработаны несущие трехслойные стены из мелких двухслойных стандартных размеров из керамзитобетона и полистиролбетона. Опытно-промышленные партии наружных стеновых панелей типа "сэндвич-бетон" изготовлены на предприятиях стройиндустрии Москвы, Челябинска и Липецкой области.

Были выполнены и внедрены в практику следующие разработки:

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

Разработка производственных составов товарного бетона для строительства дорожных конструкций (B25–B40) класса прочности F300 (2 метод).

Разработка рекомендаций по замене цемента на цемент ПЦ400-Д5 для изготовления сборных стеновых панелей (конвейерная технология).

Экспертиза технологии изготовления многослойных покрытий методом экструзии на заводе ЖБК № 1. Выявлены возможные причины проскальзывания напрягаемой каучуковой прокладки. Выданы рекомендации по предотвращению проскальзывания и определению эффективности таких конструкций и областей их применения.

Экспертиза технологии изготовления железобетонных конструкций на заводах ЖБК.

Разработка системы контроля качества бетонных конструкций на объектах.

Изучение новых видов водоредуцирующих добавок для обеспечения требуемой удобоукладываемости бетона и при этом повысить основные показатели качества бетона: прочность — до класса B40 и показателя водонепроницаемости до марки W12 и морозостойкости до F300), разработка технических условий на новые виды добавок.

Разработка энергосберегающих технологий изготовления железобетонных конструкций из тяжелых бетонов за счет использования соответствующих цементов и добавок при тепловлажностной обработке температурой до 30°C.

Указанные разработки внедрены более чем на 10 объектах стройиндустрии и строительных объектах Московской области.

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