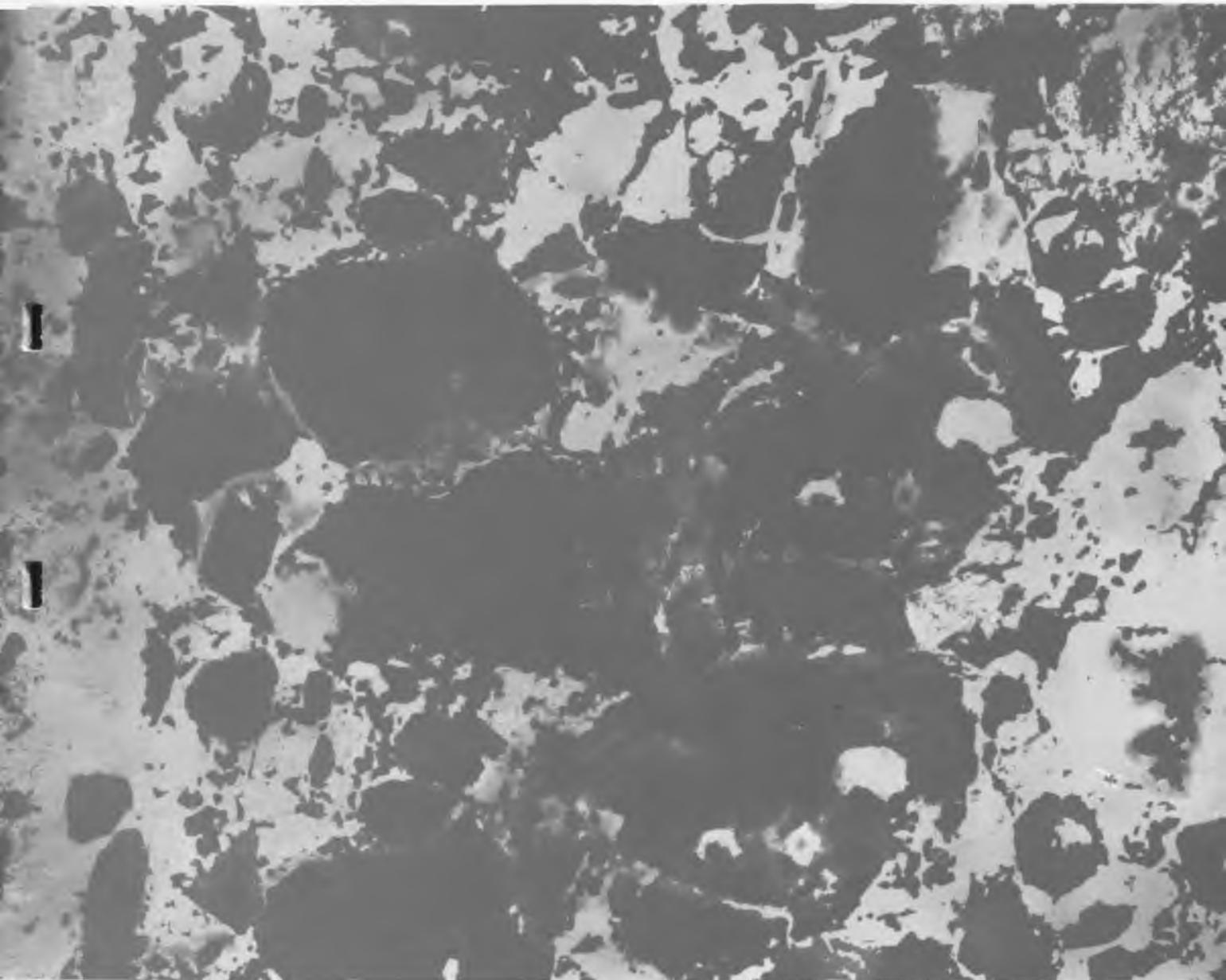


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

4

2005





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ИНТЕРПРИБОР

ПРОИЗВОДСТВО И РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

⊗ **ПУЛЬСАР-1.0/1.1/1.2** - ультразвуковые измерители прочности бетона и строительных материалов (ГОСТ 17624, ГОСТ 24332). Сквозное и поверхностное прозвучивание. Режим измерения глубины трещин (Пульсар-1.1), визуализация и обработка сигналов (Пульсар-1.2).

⊗ **ОНИКС-2.51...54** - измерители прочности бетона, в т.ч. лёгкого (от 0.5 МПа) методами ударного импульса и отскока (ГОСТ 22690). Интеллектуальная обработка результатов измерений. Диапазон 0.5...100 МПа, масса прибора 0.14 кг, датчика 0.12 кг.

⊗ **ОНИКС-ОС** - измеритель прочности бетона методом отрыва со скалыванием (ГОСТ 22690). Исключено проскальзывание анкера. Контроль нагружения, автоматическая обработка данных. Диапазон 5...100 МПа, усилие до 50 кН, масса 4 кг.

ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ АРМИРОВАНИЯ И ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

⊗ **ПОИСК-2.51...52** - измерители толщины защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры (ГОСТ 22904). Адаптация к армированию. Диапазоны: Н=5...130 мм, Ø 3...50 мм.

⊗ **ИНК-2.41...42** - измерители напряжений в арматуре частотным методом (ГОСТ 22362). Автоматический расчёт удлинения арматуры. Диапазон напряжений 100...2000 МПа, L= 3...28 м.

МТП-1 - измеритель толщины теплоизоляционных покрытий стальных труб и величины межосевого смещения (ГОСТ 30732). Диапазон толщин 5...100 мм, смещений 0...20 мм.

ВИБРОАНАЛИЗАТОРЫ, ВИБРОМЕТРЫ, ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

ВИБРАН-2.0/3.0 - одно- и четырёхканальные виброанализаторы. Диапазон частот 0.5...1000 Гц, 200...2000 линий спектра, октавный анализ.

⊗ **ВИСТ-2.41...23** - универсальные виброметры. Диапазон частот 2...1000 Гц, виброскорости 0.02...500 мм/с, виброперемещения 0.002...10 мм.

ИЧСК-1 - измеритель частот собственных колебаний для акустического контроля прочности, твёрдости и выбраковки различных изделий.



ВЛАГОМЕРЫ МАТЕРИАЛОВ

⊗ **ВИМС-2.21...23** - универсальные влагомеры: песок, бетон, кирпич (ГОСТ 21718), древесины (ГОСТ 16588) и т.д. (более 30 материалов). Датчики: объёмный, планарный, зондовый.

⊗ **ВИМС-2.10...11** - влагомеры древесины (ГОСТ 16588). 16 пород, встроенный датчик. Ввод индивидуальных градуировочных зависимостей на любые материалы пользователя.

⊗ **ВИМС-2.12** - влагомеры древесины (ГОСТ 16588), бетона, кирпича (ГОСТ 21718). Встроенный датчик. Предусмотрен ввод индивидуальных градуировочных зависимостей.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

ТЕПЛОГРАФ - прибор для определения сопротивления теплопередаче и мониторинга ограждающих конструкций (ГОСТ 26254), оконных и дверных блоков (ГОСТ 26602.1): 8...128 датчиков теплового потока и температуры.

⊗ **МИТ-1** - измеритель теплопроводности материалов методом теплового зонда (ГОСТ 30256). Диапазон 0,03...2 Вт/м К, время измерений 7 мин. Малогабаритный, автономный. Аккумуляторное и сетевое питание.

ИТС-1 - измеритель теплопроводности материалов и термического сопротивления методом стационарного теплового потока (ГОСТ 7076) и теплового зонда. Диапазон 0,02...1,5 Вт/м К. Размеры образца - 150x150 мм.

РЕГИСТРАТОРЫ, РЕГУЛЯТОРЫ, ТЕРМОМЕТРЫ, ТЕРМОГИГРОМЕТРЫ И ДР.

ТЕРЕМ-4 - многопараметрический регистратор. Применения: мониторинг раскрытия трещин и деформаций, тензоизмерения, контроль перемещений, вибраций, температуры, влажности и др. 8...256 каналов, период регистрации 10 с...1 час.

РТМ-5 - система управления ТВО бетона: 8 каналов, индивидуальные режимы по каждому каналу, журнал пропарки, связь с ПК (RS-485).

ТЕМП-3 - семейство 1...4-канальных приборов для измерения и регистрации температуры сред и поверхностей, тепловых потоков, влажности воздуха и скорости воздушных потоков.

⊗ **ТЕРЕМ-3** - восьмиканальный регистратор температуры для монолитного бетонирования.

ВДЛ-5.2 - вихретоковый дефектоскоп металлов

Приборы имеют: легкие и удобные датчики, память результатов с фиксацией условий измерения (вид объекта контроля, его параметры, время, дата), связь с компьютером и специальные программы для их дальнейшей обработки и архивации. Выпускаются в нескольких модификациях, отличающихся набором функций, характеристиками и ценой. Приборы, отмеченные знаком ⊗ внесены в Государственный реестр средств измерений РФ и республики Беларусь.

454080, Челябинск-80, а/я 12771
т./ф: (351) 265-56-38, 260-87-42, 262-91-69, 262-91-70
http://www.interpribor.ru E-mail: info@interpribor.ru

г.Москва НИИЖБ тел.: (095) 174-75-13
(095) 789-28-50
г.Санкт-Петербург тел. (812) 998-45-86
(812) 570-64-96

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ФУРМАНОВ Б.А., ФАЛИКМАН В.Р.</i> Вторая международная конференция по бетону и железобетону	2
<i>ЗАЛЕСОВ А.С., МУХАМЕДИЕВ Т.А.</i> Настоящее и будущее расчета железобетона	3
<i>АМБАРЦУМЯН С.А., НЕРСЕСЯН Н.Г.</i> О мониторинге состояния строительных конструкций на некоторых уникальных объектах города Москвы	6
<i>ГРАНИК Ю.Г.</i> Московские городские строительные нормы МГСН 4.19-05 "Многофункциональные высотные здания и комплексы"	8
<i>ЗАКОВЕНКО В.В.</i> Особенности возведения монолитных стен ММДЦ "Москва-Сити"	9
<i>БАТУДАЕВА А.В., КАРДУМЯН Г.С., КАПРИЕЛОВ С.С.</i> Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей	14
<i>ГУЛУНОВ В.В.</i> Современные методы и средства неразрушающего контроля качества бетонных и железобетонных конструкций	19
<i>ПОДЛАСОВА И.А., ГУСАКОВ А.М., ТОМРАЧЕВ С.А.</i> Внутренний массоперенос в бетоне конструкций, возводимых в зимних условиях	22
<i>БУЯНОВА Ю.Д., ХАРО О.Е., БУТКЕВИЧ Г.Р., ЛЕВКОВА Н.С.</i> Перспективы улучшения качества заполнителей для бетона	26
<i>РУДЕНКО И.Ф.</i> Эффективность использования цементов в бетонах с учетом их потребительских свойств	29

ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО БЕТОНУ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНУ

5-9 сентября 2005 года, Москва

Железобетон – основной конструкционный материал современности. С его применением возведены самые высокие в мире телебашни в Москве и Торонто, небоскребы, крупнейшие мосты, дороги, электростанции, тоннели, аэропорты. Из железобетона построены сотни миллионов квадратных метров жилых зданий, соборы, театры, больницы и многое другое.

Российское научно-техническое общество строителей, РААСН, Российская инженерная академия, НИИЖБ, МГСУ и другие организации при поддержке Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, Торгово-промышленной палаты Российской Федерации, Министерства науки и образования проводят уже вторую Международную конференцию по бетону и железобетону.

На предстоящей конференции, девиз которой – «Бетон и железобетон – пути развития», намечено обсудить состояние и перспективы применения бетона и железобетона в России, а также мировой опыт в этой области.

Нынешняя конференция проводится одновременно с 59 Ассамблеей Международного союза по испытанию строительных материалов, систем и конструкций - RILEM.

Заседания конференции и Ассамблеи RILEM пройдут в здании Правительства Москвы на Новом Арбате.

Программа конференции предусматривает несколько пленарных заседаний, работу 10 секций, стендовые доклады, круглый стол по проблемам стандартизации, проведение выставки материалов, технологий, оборудования.

Секции конференции:

- Железобетонные конструкции зданий и сооружений, методы расчета;
- Вопросы технологии бетона;
- Легкие и ячеистые бетоны;
- Вяжущие для бетонов и растворов;
- Добавки для бетонов и растворов;
- Долговечность, ремонт и восстановление железобетонных конструкций;
- Железобетон в транспортном строительстве;
- Экологические аспекты применения бетона и железобетона;
- Арматура и сварка;
- Информационные технологии.

Большой интерес к конференции проявили ученые и специалисты научно-исследовательских и учебных институтов, проектных организаций, архитекторы, руководители и инженерно-технические работники предприятий строительной индустрии и строительного монтажа организаций. Оргкомитетом получено более 400 пленарных и секционных докладов, из них почти четверть иностранных. Общее количество участников превысит 600 человек. Они представляют 32 страны мира.

На 2-й Международной конференции специалистам будет предоставлена широкая возможность установления деловых контактов. Для этих целей предусмотрена большая социальная программа: деловые обеды, банкет, выставки, экскурсии, посещение театров, круиз по Москве-реке и многое другое.

Труды конференции составят 5 томов общим объемом более 3000 страниц. Одновременно будет выпущена их электронная версия. На конференции ведущий институт отрасли – НИИЖБ организует продажу литературы по бетону и железобетону, изданной в последнее время.

Участники будут иметь возможность 8 сентября принять участие в заседаниях Технического дня RILEM, на котором будут заслушаны лекции ведущих специалистов в области строительных материалов, бетона и железобетона. Там же можно будет ознакомиться с научно-техническими трудами издательского дома «RILEM Publishing» и периодикой, обсудить актуальные проблемы с руководителями технических комитетов и рабочих групп RILEM. Специально к этому событию выпущен буклет на русском языке. Работа пленарных заседаний и Технического дня RILEM будет обеспечена синхронным переводом.

Для участников конференции установлены регистрационные взносы. Посещение Технического дня RILEM – бесплатно, по гостевому билету Оргкомитета. Основной регистрационный взнос включает получение всех трудов, участие в основных мероприятиях конференции.

Информационными спонсорами конференции выступают крупнейшие издания строительного профиля, в том числе журналы «Бетон и железобетон», «Строительство», «Строительные материалы», ПГС, «Строительные материалы XXI век», «Технологии бетона», «Betonwerk und Fertigteil Technik», «Concrete International», «Materials and Structures», «Строн», «Строительный сезон», другие издания.

Поддержку Конференции оказали, помимо RILEM, Европейская организация по готовым бетонным смесям – ERMCO, Международная федерация по железобетону – fib, Американский институт бетона – ACI, многие отечественные строительные компании.

По просьбе редакции журнала Оргкомитет предоставил для публикации в данном номере некоторые доклады, присланные на конференцию.

Полный перечень докладов можно найти на сайте конференции www.conf.niizhb.ru.

Б.А. Фурманов,
президент РНТО строителей,
председатель оргкомитета конференции;
В.Р.Фаликман,
почетный президент RILEM

Настоящее и будущее расчета железобетона

Железобетон является основным материалом для строительства зданий и сооружений. Сложность конструктивных форм последних, их размеры (высота, пролеты, объемы) с каждым годом растут и соответственно повышается ответственность их несущих конструкций, разрушение которых может приводить к большим материальным и людским потерям.

Основой для обеспечения надежности и рационального использования материалов в железобетонных зданиях и сооружениях является расчет их несущих конструкций.

Важнейшими требованиями, которые предъявляются к строительным конструкциям, в том числе к железобетонным, являются требования по обеспечению прочности, устойчивости, эксплуатационной пригодности, долговечности и надежности. Очевидно, что все эти требования должны быть в первую очередь обеспечены расчетом.

Расчет железобетонных конструкций, как и конструкций из любых других материалов, производится по общим правилам строительной механики. Однако специфические особенности железобетона накладывают дополнительные требования к расчету железобетонных конструкций, к расчетным методам и моделям.

Особенности железобетона как композитного материала прежде всего связаны с наличием двух составляющих – бетона и стальной арматуры и, кроме того, с образованием и развитием трещин в бетоне, нелинейными свойствами бетона и арматуры, с реологическими свойствами бетона, изменяющимися во времени. Безусловно, все эти особенности железобетона должны учитываться при расчете железобетонных конструкций.

В наиболее полном объеме указанные особенности железобетона могут быть реализованы через физические соотношения, связывающие напряжения и деформации бетона и арматуры, или физические соотношения, связывающие усилия и перемещения железобетонных элементов в целом. Физические соотношения определяются на основе обобщенного закона Гука для анизотропного тела.

В настоящее время разработаны и доведены до практического приме-

нения деформационные модели для линейных и для плоских элементов при одноосном и двухосном напряженно-деформированном состоянии при действии изгибающих моментов, крутящих моментов и продольных сил.

Для линейных железобетонных элементов деформационная модель включает уравнения равновесия внешних и внутренних моментов и продольных сил в нормальном сечении, условие деформирования в виде гипотезы плоских сечений и полные диаграммы, связывающие напряжения и деформации в бетоне и арматуре. В результате получаем систему уравнений, связывающих изгибающие моменты в двух направлениях и продольные силы с кривизнами в двух направлениях и продольными деформациями, через жесткостные характеристики железобетонного элемента.

Для плоских железобетонных элементов рассматривается плоский выделенный элемент с изгибающими и крутящими моментами, сдвигающими и нормальными силами, действующими по боковым сторонам. Деформационная модель определяется из уравнений равновесия внешних усилий, действующих по боковым сторонам, и внутренних усилий в диагональном нормальном сечении, условия деформирования диагонального сечения в виде гипотезы плоских сечений и полных диаграмм, связывающих напряжения и деформации в бетоне и арматуре. В результате так же, как и для линейных элементов, получаем систему уравнений, связывающих изгибающие и крутящие моменты, продольные и сдвигающие силы в двух взаимно перпендикулярных направлениях с кривизнами, углами закручивания и сдвига и продольными деформациями через жесткостные характеристики элемента.

В деформационной модели для бетона могут быть использованы диаграммы различной формы: криволинейные, с ниспадающей ветвью, упрощенные трехлинейные, включающие условно упругий, неупругий и условно пластический участки, а также двухлинейные, по типу диаграммы Прандтля, включающие условно упругий и условно пластический участки. Использование таких диаграмм по-

зволяет комплексно учитывать упруго-пластическую работу бетона в отличие от ранее применяемого чисто упругого или чисто пластического расчета.

Для арматуры также могут применяться криволинейные диаграммы и упрощенные трехлинейные и двухлинейные диаграммы.

Диаграммы состояния бетона и арматуры путем изменения их параметрических точек и конфигурации позволяют учитывать нелинейные свойства бетона и арматуры для различных видов и классов бетона и арматуры при различном характере внешних воздействий (кратковременных, длительных, температурно-влажностных и т.д.).

В деформационных моделях в качестве условия деформирования сечения принята гипотеза плоских сечений. Для железобетонных элементов, особенно для элементов с трещинами, она не отражает в полной мере реальной физической характер деформирования его сечений. Однако применение такого достаточно условного характера деформирования сечения позволяет создать необходимый расчетный аппарат, который в целом дает конечные результаты, близкие к экспериментальным данным.

Критерием прочности при применении деформационной модели может быть принято достижение деформациями бетона и арматуры некоторых предельных значений.

Наличие трещин в деформационной модели учитывается путем выделения сжатой зоны из бетона над трещиной и растянутой арматуры в трещине. При этом учитывается также работа растянутого бетона между трещинами.

Применение деформационных моделей позволяет выполнять расчет с учетом физической и геометрической нелинейности конструктивных железобетонных систем в целом и их отдельных элементов по прочности, устойчивости, деформативности и трещиностойкости. При этом деформационная модель позволяет на единой методологической основе производить расчет железобетонных конструктивных систем и элементов различной конфигурации и состава, а

также учитывать накопление повреждений, предисторию нагружения эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Рассмотренные деформационные модели включены в новые общедокументальные нормативные документы для бетонных и железобетонных конструкций (СНиП и Своды Правил), а также в Московские нормативные документы для железобетонных высотных зданий каркасных, стеновых и комбинированных конструктивных систем, включающих линейные (балки, колонны) и плоские элементы (плиты, стены).

Следует отметить, что применение деформационных моделей, повышая точность расчета, одновременно резко увеличивает и его трудоемкость. Поэтому в новых нормативных документах приводятся также и упрощенные методы расчета железобетонных элементов по прочности и жесткости.

В частности, в новых нормативных документах для расчета прочности стержневых железобетонных элементов (балок, колонн) на действие изгибающих моментов и продольных сил рассматривается также известный расчет по предельным усилиям в сжатом бетоне и растянутой арматуре, основанный на методе предельного равновесия. Для расчета прочности плоских железобетонных элементов (плит, стен) на действие изгибающих моментов, крутящих моментов, сдвигающих и продольных сил в новых нормативных документах также рассматривается упрощенный расчет по предельным усилиям в сжатом бетоне и растянутой арматуре на основе обобщенного критерия предельного равновесия для плоского напряженного состояния.

Для расчета деформаций линейных железобетонных элементов в новых нормативных документах рассматривается упрощенный расчет жесткости элементов, основанный на учете из деформационной модели первых условно линейных участков двухлинейных диаграмм бетона и арматуры. В результате определение жесткости железобетонных элементов с трещинами и без трещин производится в условно упругой постановке по общим правилам сопротивления материалов с пониженным модулем упругости сжатого бетона и повышенным за счет влияния растянутого бетона между трещинами модулем упругости арматуры.

Для расчета деформаций плоских железобетонных элементов в но-

вых нормативных документах рассматривается упрощенный расчет, в котором по каждой взаимно перпендикулярной оси плоскостного элемента принимается жесткость, аналогичная жесткости стержневого элемента.

Для определения нелинейных жесткостных характеристик железобетонных элементов рассматриваются также упрощенные диаграммы, связывающие изгибающие моменты и кривизны железобетонного элемента, построенные из анализа деформационной модели.

Для расчета прочности специальных железобетонных элементов (узловых соединений, коротких консолей, коротких балок и т.п.) предлагаются упрощенные стержневые модели, состоящие из горизонтальных и наклонных сжатых бетонных и растянутых арматурных полос, имитирующих потоки сжимающих и растягивающих напряжений в железобетонном элементе.

В качестве расчетных критериев прочности бетона при плоском и объемном напряженном состояниях предлагаются расчетные зависимости, связывающие действующие основные напряжения и характеристики сопротивления бетона на сжатие и растяжение.

Для упрощенного расчета на устойчивость и продольный изгиб в новых нормативных документах используются расчетные модели, основанные на критерии Эйлера. При этом жесткостные характеристики железобетонных элементов определяются по упрощенным методикам либо по эмпирическим зависимостям, а расчетные длины определяются по общим правилам строительной механики в зависимости от податливости узловых сопряжений.

К сожалению, физические соотношения, связывающие поперечные силы и поперечные деформации железобетонных элементов, и соответствующие расчетные деформационные модели в достаточно приемлемом виде до настоящего времени еще не разработаны и не представляется возможным оценить перспективу. Трудность заключается в весьма сложном характере деформирования железобетонных элементов с наклонными трещинами, возникающими при действии поперечных сил. В последние годы были предприняты отдельные попытки разработки деформационных моделей при действии поперечных сил, однако пока еще они да-

леку от практического использования. Поэтому в новых нормативных документах Российской Федерации содержится расчет на действие поперечных сил по предельным усилиям, основанный на использовании эмпирических соотношений.

В настоящее время расчет сложных железобетонных конструктивных систем производится различными численными методами, в частности методом конечных элементов с помощью специальных компьютерных программ. Обладая высоким быстродействием и большим объемом памяти, современные компьютерные системы позволяют производить расчет методом конечных элементов конструктивных систем любой сложности. Для железобетонных конструктивных систем трудоемкость нелинейного расчета значительно возрастает, однако с развитием электронных систем эти сложности в ближайшем будущем, очевидно, смогут быть преодолены.

Тем не менее, если рассматривать существующее положение, то представляется разумным использовать нелинейные расчеты железобетона в ограниченном и упрощенном виде, а также в тех случаях, когда они действительно необходимы. Кроме того, следует иметь в виду, что применение численных методов расчета по специальным программам практически отдаляет инженеров от физического понимания работы конструктивных систем и отдельных элементов, что может привести к принятию неправильных решений и ошибкам в результатах. Поэтому представляется весьма важной разработка таких расчетных моделей и методов расчета, которые позволяли бы инженеру понимать и оценивать физический характер работы железобетонных элементов и железобетонных конструктивных систем в целом.

На начальной стадии расчета железобетонных конструктивных систем для определения усилий и перемещений целесообразно использовать условно упругие жесткостные характеристики железобетонных элементов, принимая упругие жесткостные характеристики с некоторыми понижающими коэффициентами, приближенно учитывающими нелинейные свойства железобетона и наличие трещин. По полученным усилиям из расчета прочности по упрощенным расчетным моделям определяется армирование железобетонных элементов. На последующих стадиях

может применяться деформационный расчет с использованием жесткостных характеристик железобетонных элементов, напрямую учитывающих образование трещин и развитие неупругих деформаций.

Следует отметить, что прямой деформационный расчет целесообразно производить прежде всего для проверки прогибов изгибаемых железобетонных элементов (например, перекрытий), в которых наиболее вероятно образование трещин, а также для оценки устойчивости сжато-изогнутых железобетонных элементов (например, колонн и стен), в которых жесткостные характеристики рассматриваются для стадии, близкой к разрушению. Кроме того, деформационный расчет целесообразно использовать для учета перераспределения усилий в железобетонных элементах, позволяющего снижать усилия в зонах их концентрации и более равномерно распределять арматуру в железобетонных элементах.

Для конструктивных железобетонных систем представляется целесообразным использование упрощенных стержневых расчетных моделей, рассматривая колонны, стены и ядра жесткости как консоли, заделанные в фундаменты, а перекрытия – как системы, состоящие из перекрестных и балочных элементов (полос). Такой расчет ближе к пониманию инженером физического характера работы конструктивной системы по сравнению с расчетом методом конечных элементов. Кроме того, следует иметь в виду, что численный расчет методом конечных элементов содержит целый ряд сложностей и условностей в части моделирования отдельных железобетонных элементов, принимаемых размеров конечных элементов и т.д. Очевидно, в дальнейшем требуется развитие и совершенствование упрощенных моделей для расчета конструктивных систем.

Следующим важным вопросом, не решенным в достаточной степени, является оценка надежности железобетонных конструкций.

В настоящее время в нормативных документах учет надежности строительных конструкций, в том числе и железобетонных, производится по вероятностным методам с использованием некоторого условного показателя обеспеченности для нормативных характеристик бетона и арматуры и таких же условных детерминированных коэффициентов для расчетных характеристик. Многолетняя прак-

тика строительства показывает, что такой подход дает достаточно надежные результаты.

Однако при таком подходе остается неизвестной фактическая надежность железобетонных элементов и железобетонной конструктивной системы в целом. Очевидно, что следующим этапом в развитии методов расчета является переход на полный вероятностный расчет железобетонных конструкций по заданной надежности. Величина последней для различных зданий и сооружений должна устанавливаться различной в зависимости от ущерба, который произойдет при их возможном разрушении. Безусловно, переход на полный вероятностный расчет вызовет существенные трудности, связанные с необходимостью оценивать изменчивость всех основных факторов, входящих в расчет.

Другим важным вопросом является расчетная оценка долговечности железобетонных конструкций. В настоящее время расчетная оценка долговечности в нормативных документах отсутствует, и возможный срок службы железобетонной конструкции определяется косвенным способом, путем установления некоторых допустимых параметров (класса и марки бетона, ширины раскрытия трещин, толщины защитного слоя бетона), ориентировочно обеспечивающих некоторую требуемую долговечность железобетонной конструкции (например, 100 лет), в зависимости от окружающих условий и ответственности конструкций. Очевидно, что такой способ оценки долговечности железобетонных конструкций не может удовлетворить, тем более что знание срока службы конструкции имеет большое практическое значение.

В настоящее время имеются лишь отдельные разработки, характеризующие изменение прочностных и деформационных свойств бетона и арматуры во времени при различных условиях окружающей среды и характера воздействий на железобетонную конструкцию. Необходимо разработать общий метод расчета долговечности железобетонных конструкций с прямым учетом фактора времени.

Рассматривая вопросы расчета железобетонных конструкций, следует обратить внимание на некоторые обстоятельства, связанные с необходимой точностью расчета.

Железобетон является неоднородным материалом, его характеристики весьма изменчивы и сильно

зависят от ряда причин, в том числе от технологических факторов. Одновременно с этим конструктивные железобетонные системы, состоящие из разнообразных элементов и различных сопряжений между ними, могут быть лишь приближенно отображены теми или иными расчетными схемами и моделями. При такой ситуации стремление повысить точность расчета за счет более точных и сложных расчетных зависимостей не приведет к повышению точности конечных результатов. Отсюда следует, что для расчета железобетонных элементов и конструктивных систем, в том числе и для нелинейного расчета, целесообразно применять наиболее простые расчетные модели.

В настоящее время для расчета железобетонных элементов широко используются эмпирические методы расчета, основанные на экспериментальных данных. Такой подход не кажется достаточно продуктивным, поскольку существует большое разнообразие форм железобетонных конструкций, которые трудно и практически невозможно оценить через эксперименты. Поэтому представляется более разумным разработка методов расчета железобетона, основанных на общих правилах строительной механики и единых расчетных моделях, а конкретные особенности тех или иных железобетонных элементов учитывать путем введения дополнительных запасов.

В настоящее время в Москве, а также в других городах Российской Федерации широко развивается строительство высотных зданий как из монолитного железобетона, так и из сборных железобетонных элементов (панелей). При этом отечественными архитекторами для повышения архитектурной выразительности и большей свободы объемно-планировочных решений предлагаются здания весьма сложной конфигурации и сложных конструктивных решений. Такие высотные здания требуют повышенной ответственности с точки зрения расчета.

Расчет высотных зданий должен производиться как пространственной конструктивной системы обязательно с учетом податливости основания, а расчет несущей конструктивной системы и отдельных железобетонных элементов – с учетом физической и геометрической нелинейности железобетона. При расчете высотных зданий повышенное внимание должно быть обращено на обеспечение ус-

тойчивости, прочности, жесткости, а также надежности и долговечности несущих конструкций, а также их узловых соединений.

Расчет несущих железобетонных конструкций производится по специальным компьютерным программам методом конечных элементов. При этом целесообразно производить расчет по двум различным компьютерным программам двумя независимыми организациями, причем учитывать следует наиболее осторожный результат.

Для обеспечения высокой надежности высотных зданий, а также точности расчета следует стремиться к возможно более простым конструк-

тивным системам, близким к регулярным в плане и по высоте здания, с совмещением центра тяжести и центра жесткости здания с центром площади фундамента здания в плане, с созданием единой непрерывной системы вертикальных несущих конструкций по всей высоте здания до фундамента, с разрезкой деформационными швами разновысоких блоков здания.

Для высотных зданий может возникнуть необходимость применения высокопрочных бетонов, сталежелезобетонных конструкций, легких бетонов, сборно-монолитных и предварительно напряженных конструкций. Для таких конструкций должны быть

разработаны современные методы расчета, учитывающие особенности конструктивных решений в высотных зданиях.

В связи с угрозой террористических актов необходимо уделять внимание повышению сопротивления высотных зданий внешним специальным воздействиям. Повышение сопротивления зданий целесообразно осуществлять на основе расчета на прогрессирующее разрушение, критерием которого является условие, по которому здание не должно разрушиться или потерять устойчивость при исключении из конструктивной системы какого-либо одного элемента или его части (колонны, перекрытия, стены).

С.А.АМБАРЦУМЯН, Н.Г.НЕРСЕСЯН (Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции города Москвы)

О мониторинге состояния строительных конструкций на некоторых уникальных объектах города Москвы

Для надежности и безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений неопределима роль проведения мониторинга их общего технического состояния и, в частности, напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, что обеспечит как требуемое качество строительно-монтажных работ в соответствии с проектной документацией, так и своевременную диагностику технического состояния строительных конструкций и инженерного оборудования.

С этой целью, согласно постановлению Правительства Москвы «О мониторинге состояния строительных конструкций большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых в городе Москве» (№ 320-ПП от 18.05.04 г.), определен следующий порядок проведения мониторинга вышеуказанных объектов в городе Москве:

а) По строящимся объектам – Комитетом по архитектуре и градостроительству города Москвы (Москомархитектурой) и Московской государственной вневедомственной экспертизы (Мосгосэкспертизой) при

рассмотрении проектной документации большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений на стадии «проект» определяется необходимость проведения мониторинга как в период строительства, так и в процессе дальнейшей эксплуатации, а Инспекцией государственного архитектурно-строительного надзора Москвы выдается разрешение на производство строительных работ по указанным объектам только при наличии подтверждения проведения мониторинга на возводимом объекте;

б) По эксплуатируемым объектам – целесообразность проведения мониторинга определяется «Экспертной комиссией по оценке надежности конструктивных решений и проверке технического состояния строительных конструкций большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, возведенных и проектируемых в городе Москве», созданной согласно распоряжению Правительства Москвы (№ 320-РП от 03.03.04 г.).

Следует отметить, что необходимость проведения мониторинга на строящихся и эксплуатируемых высотных объектах Москвы нашла свое от-

ражение и в разработанных в рамках реализации городской комплексной инвестиционной программы «Новое кольцо Москвы» нормативно-методических документах по проектированию, строительству и эксплуатации высотных зданий. В их числе Московские городские строительные нормы (МГСН) 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы» (головная организация-разработчик Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий – ОАО ЦНИИ-ЭП жилища), «Рекомендации по технологии и организации строительства многофункциональных высотных зданий и комплексов» (головная организация-разработчик Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ) и «Рекомендации по эксплуатации многофункциональных высотных зданий и комплексов» (головная организация-разработчик Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии экспериментального проектирования – ГУП МНИИТЭП). В этих документах особое внимание уделяется также геолого-гидрологичес-

кому мониторингу, включающему системы режимных наблюдений за изменением состояния грунтов и развитием деструктивных процессов, а также обследованию оснований близлежащих зданий и сооружений.

В 2004 г. «Экспертной комиссией по оценке надежности конструктивных решений и проверке технического состояния строительных конструкций большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, возведенных и проектируемых в городе Москве» были проведены проверки 45 строящихся и эксплуатируемых объектов.

Среди большепролетных зданий обследованы: Крытый конькобежный центр в Крылатском, Гостинный Двор, спорткомплекс «Чайка», театр «Новая опера», Московский Международный Дом Музыки, спорткомплекс «Олимпийский», стадион «Локомотив», универсальный спортзал «Дружба», торговые центры «Метро», «Рамстор» и др. Среди высотных зданий – жилые комплексы «Алые паруса», «Воробьевы горы», «Триумф-палас» и др. Среди инженерных сооружений – первый пусковой комплекс Московской монорельсовой транспортной системы, автодорожные тоннели в районе Лефортово, транспортное пересечение Беговой ул. с Ленинградским пр., пешеходные мосты близ храма Христа Спасителя и др.

На основе анализа результатов заключений по их проверкам, в том числе в режиме мониторинга, Экспертной комиссией приняты необходимые решения по каждому проверяемому объекту, в том числе на соответствие проектным решениям и требованиям действующих нормативных документов. Кроме того, подготовлены рекомендации для осуществления комплекса мер по обеспечению безопасной эксплуатации некоторых объектов, таких как Московский Международный Дом Музыки, Крытый конькобежный центр в Крылатском, Опытный участок московской монорельсовой дороги, Олимпийский велотрек в Крылатском и Транспортное пересечение ул. Суцеский Вал с Шереметьевской ул., которые одобрены на расширенном совместном заседании Экспертной комиссии, Научно-технических Советов Комплекса архитектуры, строительства, развития и реконструкции города Москвы и Российской инженерной академии.

В 2005 г. проведение проверок (в режиме мониторинга) уникальных

зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых в г. Москве, Экспертной комиссией продолжается. В перечне строящихся объектов ансамбль высотных зданий Московского международного делового центра «Москва-Сити», многофункциональный высотный комплекс «Континенталь» на проспекте Маршала Жукова, Центральный выставочный зал «Манеж», гостиница «Интурист» на Тверской ул. и др. Среди эксплуатируемых объектов – Большая спортивная арена «Лужники», цирк на пр. Вернадского, Крытый конькобежный центр в Крылатском, мемориальный комплекс на Поклонной горе и др.

Для проведения мониторинга Экспертной комиссией привлечены ведущие научные и проектные организации страны и строительного комплекса столицы. В их числе: Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ), Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко), Научно-исследовательский, проектно-исследовательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП им. Н.М.Герсеванова), Конструкторско-технологическое бюро бетона и железобетона (ФГУП КТБ ЖБ), Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии экспериментального проектирования (ГУП МНИИТЭП), Московский государственный строительный университет (МГСУ), Научно-исследовательский институт московского строительства (ГУП НИИМосстрой) и др.

На особо сложных объектах организации, осуществляющие мониторинг, при необходимости могут привлекать к работе иностранных ученых и специалистов в области строительства и мониторинга.

Важно отметить, что мониторинг технического состояния зданий и сооружений – это система наблюдений за состоянием объекта в реальном времени с целью получения достоверных оценок параметров технического состояния, своевременного выявления недопустимых отклонений от величин, заданных в проектной документации, а также для предупреждения и устранения возможных негативных явлений и процессов. Поэтому весьма высока роль самой программы мониторинга конкретного объекта, определяющей и конкретизирующей содержание основных этапов

проведения мониторинга, системы требований по используемым техническим (приборным и инструментальным) средствам мониторинга, по выбору мест и объемов контроля, по обработке результатов контроля, позволяющих обеспечить высокую надежность данных мониторинга.

Для каждого конкретного объекта, в зависимости от особенностей его конструктивной и расчетной схем, необходимо выделять конкретные конструкции и их элементы, для которых будет проводиться мониторинг. При этом выделение элементов конструкции должно быть обоснованным с учетом минимального запаса нормативной прочности, заложенной на стадии проектирования, и максимальных нагрузок, возможных в процессе эксплуатации. Кроме того, необходим учет ответственности элементов по функциональной важности и обеспечению надежности, а также других факторов, влияющих на надежность элемента конструкции, например, наличия агрессивного воздействия эксплуатационной среды.

Выбор мест измерений и вида контроля целесообразно проводить в зависимости от конкретного параметра технического состояния и достаточности для оценки надежности элемента конструкции. Что касается периодичности проведения измерений, то ее желательно определять из критерия достаточности для выявления неблагоприятной динамики по изменению контролируемого параметра.

В свете изложенного можно прийти к выводу, что мониторинг целесообразно осуществлять с использованием комплексной автоматизированной программы, позволяющей оперативно выявлять все возникающие отклонения, устанавливать необходимые взаимосвязи и регулировать весь процесс в целом. При этом сама система мониторинга должна быть модульной, обеспечивающей возможность поэтапного наращивания и модернизации, а также адаптированной к существующим в мировой практике мониторинговым системам.

Такое построение системы и программы мониторинга позволит получить наиболее реальную картину технического состояния зданий и сооружений и при необходимости заблаговременно осуществить комплекс мероприятий по устранению недостатков и усилению, тем самым обеспечивая их надежность, эксплуатационную безопасность и долговечность.

Московские городские строительные нормы МГСН 4.19-05 “Многофункциональные высотные здания и комплексы”

В Москве намечен значительный объем высотного строительства. В ближайшие годы будет возведено более 60 многофункциональных и жилых высотных комплексов, в том числе 100 зданий высотой более 75 м.

В связи с отсутствием нормативной базы на проектирование, строительство и эксплуатацию таких зданий распоряжением Правительства Москвы от 28 ноября 2003 г. за № 19/2195-РП строительному комплексу столицы было поручено разработать соответствующие нормативные документы. Головной организацией по разработке этих московских городских строительных норм был назначен Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища). Кроме него, к этой работе было привлечено около 20 научно-исследовательских, проектных, строительных и других компетентных организаций.

Все это потребовало проведения большой координирующей и организационной работы. В настоящее время завершается процесс согласования норм, в которые, помимо основного текста, включен значительный объем обязательных, рекомендуемых и справочных приложений, необходимых для всестороннего учета специфики высотных зданий.

Структура работы включает такие разделы, как область применения, нормативные ссылки, основные положения, требования к участку и благоустройству, объемно-планировочным решениям, конструкциям, инженерным коммуникациям, в том числе лифтам, энергосбережению, противопожарным и санитарно-гигиеническим мероприятиям. Кроме того, в нормы впервые был включен раздел по комплексному обеспечению безопасности. Подобные требования включены также в другие разделы норм. Проблема безопасности являлась концептуальной при разработке МГСН.

Нормы распространяются на отдельно стоящие или находящиеся внутри многофункциональных комплексов здания высотой от 76 до 400 м.

Для обеспечения безопасности в проекте высотного здания должны предусматриваться помещения для технологического оборудования правоохранительных органов (оборудование систем оперативной радиосвязи СОРС) площадью не менее 30 м², помещение для стационарной станции мониторинга основных несущих конструкций здания площадью 20 м² и центрального пункта управления (ЦПУ) площадью от 15 м², а также ряд других помещений, регламентированных МГСН 3.01-01.

Допускается применение новых технических решений, конструкций, оборудования и материалов при наличии технических свидетельств или других документов, разрешающих их использование в зданиях высотой более 75 м.

Разные функциональные объемно-планировочные элементы высотного здания или комплекса должны иметь обособленные от жилой части (территории) входы для посетителей, подъезды и площадки для парковки автомашин. В частности, подземные стоянки под высотным зданием могут использоваться только жильцами или арендаторами. Расстояние от зданий высотой до 100 м до ближайшего пожарного депо должно быть не более 2 км, а при высоте здания более 100 м - соответственно не более 1 км.

Высота пожарного отсека в высотных зданиях не должна превышать 90 м, а в жилых высотных зданиях – 50 м. Площади пожарных отсеков регламентируются в зависимости от функционального назначения и изменяются в диапазоне от 1500 до 3000 м². Лестничные клетки в высотных зданиях проектируются только незадымляемыми. При этом допускается применение лестниц с искусственным освещением в лестнично-лифтовом узле. На пожарный отсек должно приходиться не менее двух лестниц.

Особое внимание при проектировании высотных зданий должно уделяться расчетам на ветровые, температурные и сейсмические воздей-

ствия. Регламентируются предельные значения крена оснований под фундаментами высотных зданий, горизонтальные перемещения верха высотных зданий, а также ускорение колебаний перекрытий от ветровой нагрузки.

Высотные здания отнесены к первому повышенному уровню ответственности, при этом значения коэффициентов надежности по ответственности в зависимости от высоты здания назначаются в диапазоне от 1,0 до 1,2.

Впервые в нормах прописаны требования к проведению предпроектных, выполняемых в процессе строительства и в последующем инженерно-геологических изысканий. Они должны осуществляться по программе, составляемой с участием специализированных геотехнических организаций. В качестве фундаментов высотных зданий следует применять плитные (в том числе коробчатые), свайные (как правило, буронабивные) и комбинированные плитно-свайные конструкции.

В несущих конструкциях следует применять бетон класса не ниже В30, в особо нагруженных конструкциях высокопрочный бетон классов до В60. Стержневую арматуру, как правило, надлежит использовать классов А400 и А500. В качестве жесткой арматуры могут применяться прокатные стальные профили. Допускается применение легких бетонов соответствующих классов.

С целью повышения энергоэффективности высотных зданий их уровень теплозащиты дифференцируют в зависимости от высоты: чем выше здание, тем выше регламентируемый уровень его теплозащиты. При соответствующем обосновании разрешается применение изменяемых по высоте здания уровней теплозащиты.

Окна в высотных зданиях следует проектировать с тройным остеклением и увеличенным по толщине наружным стеклом. Выше 70 м необходимо применять окна с неоткрывающимися переплетами. Окна с открывающимися переплетами могут применять-

ся только при наличии дополнительных безопасных светопрозрачных экранов.

В высотных зданиях предусматривается около 30 разных инженерных и коммуникационных систем. В нормах регламентируются к ним соответствующие требования.

Скорость лифтов в высотных зданиях назначается в пределах от 1,6 до 7,0 м/с. Помимо пассажирских лифтов, должны применяться лифты для пожарных. Эти лифты используются также как спасательные для маломобильных групп населения.

Пределы огнестойкости несущих и противопожарных конструкций установлены равными 3 ч, лифтовых и коммуникационных шахт – 2 ч.

В зависимости от объемно-планировочных решений и функционального назначения высотного здания в

нем необходимо выделять зоны доступа. ЦПУ должен быть защищен от несанкционированного вторжения и поражения стрелковым оружием. Рядом с ним (в непосредственной близости) необходимо размещать помещение личного состава службы безопасности. Критически важные точки высотного здания должны ограждаться физическими барьерами и находиться под контролем средств охранной сигнализации и видеонаблюдения. Нормами регламентируется необходимость производить расчеты времени эвакуации людей при чрезвычайных обстоятельствах и проектировать варианты систем управления эвакуацией. Конструкции и система здания в целом должны обеспечивать предотвращение прогрессирующего разрушения при авариях и локальных разрушениях.

Практически по всем разделам норм разработаны приложения, в которых приводятся дополнительные требования, разъяснения, регламентационные данные, информационно-справочные материалы.

Первая редакция норм и приложений в настоящее время передана для ознакомления и получения замечаний всем организациям-разработчикам и уполномоченным организациям, после чего с учетом сделанных замечаний и предложений будет подготовлена вторая редакция документа. Предполагается также получить заключения от ряда иностранных организаций и фирм, имеющих значительный опыт проектирования, строительства и эксплуатации высотных зданий.

Утверждение норм намечено на начало будущего года.

В.В. ЗАКОВЕНКО (ОАО Научно-исследовательский институт транспортного строительства)

Особенности возведения монолитных стен ММДЦ «Москва-Сити»

Строительный комплекс ММДЦ представляет собой сложное внеклассное инженерное сооружение, состоящее из монолитных железобетонных конструкций. Комплекс возводится непрерывно в течение всего календарного года, т.е. как в теплый, так и в холодный периоды года, что обуславливает воздействие резких изменений температуры воздуха (перепады температур воздуха в течение нескольких дней могут достигать 20-30⁰С), зимне-летние перепады температур 80-90⁰С. Бетонные работы приходится выполнять при высоких положительных и при низких отрицательных температурах воздуха, при этом возможны атмосферные осадки (дождь, снег), изменение скорости ветра, нагрев за счет солнечной радиации и т.п. Указанные температурные воздействия накладываются на изменяющийся температурный режим массивов за счет экзотермии цемента.

Каркас подземной части Центрального ядра ММДЦ «Москва-Сити»

является уникальным как по своим размерам, так и по ответственности сооружения.

Уникальность заключается в том, что впервые в России на единой фундаментной плите размером 450x103x2,2 м из монолитного железобетона сооружали монолитные элементы будущей пересадочной станции метрополитена с учетом возведения над ней комплекса многоэтажных зданий различного назначения. При возведении такого ответственного сооружения значительную роль имели температурные и усадочные явления в бетоне, вызывающие дополнительные напряжения и деформации (кроме напряжений от постоянных и временных нагрузок), которые могут негативно отразиться на трещиностойкости конструкций.

Из-за высоких темпов строительства бетонирование элементов ядра вели в разное время и в разной последовательности. В периоды сооружения элементов температура окружающего воздуха была различной.

Следовательно, «замыкание» свежего бетона с бетоном плиты основания происходило при разных температурах. При объединении они оказывали друг на друга взаимное влияние как по величине температур и влагосодержаний, так и по напряжениям в отдельных элементах общей конструкции.

Являясь составной частью будущей пересадочной станции метрополитена и одновременно основанием высотных зданий, конструктивные элементы ядра должны быть абсолютно надежными и бездефектными, не иметь ни температурных, ни усадочных трещин.

Трудности учета температурных воздействий определяются тем, что, с одной стороны, технология бетонирования и выдерживание бетона в значительной степени зависят от перечисленных выше условий, а с другой, – прогнозирование этих условий не всегда реально. Значительная зависимость температурных воздействий от местных условий приводит к

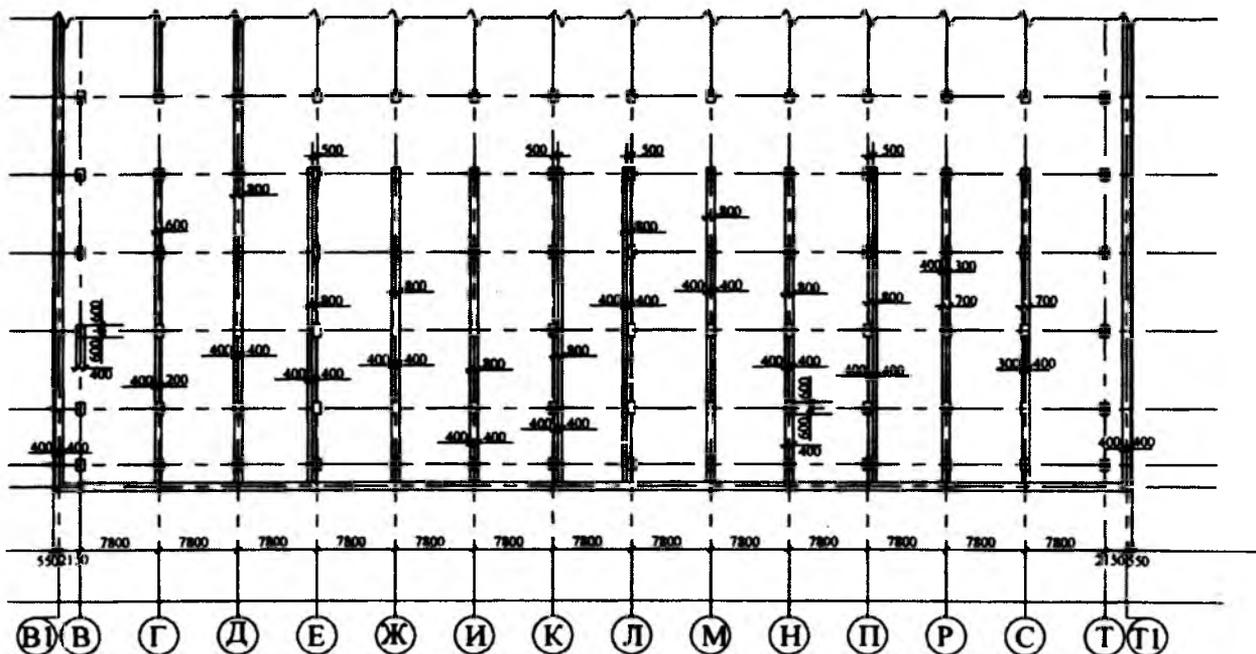


Рис. 1. План контрфорсных стен центрального ядра ММДЦ на отметке 103,35 м

реальной возможности формирования неблагоприятных температурных воздействий. Они могут привести не только к возникновению неблагоприятного напряженного состояния, но и к образованию трещин, снижающих долговечность конструкции, изменяющих расчетную схему конструкции, что, в свою очередь, ведет к перераспределению расчетных усилий.

При проектировании любой конструкции и разработке технологического регламента разработчиками учитываются перечисленные выше условия и намечаются меры, учитывающие или снижающие температурные воздействия. Однако при проектировании и строительстве таких уникальных объектов, как ММДЦ, была целесообразна независимая теплофизическая экспертиза, которая позволяет осуществить "взгляд со стороны", обнаружить неучтенные или недостаточно полно учтенные температурные воздействия и разработать более рациональные схемы и способы их учета.

Одним из важных этапов строительства было возведение контрфорсных стен и колонн каркаса на строительстве комплекса "Парк-Сити" ММДЦ "Москва-Сити" в зимний период 1999-2000 гг. Стены и колонны возводили из тяжелого бетона с характеристиками В40, П5 (рис. 1).

Контрфорсные монолитные железобетонные стены в осях Д...П имеют толщину 0,8 м, стена по оси Г имеет толщину 0,6 м, стены в осях Р и С – 0,7 м. Все стены имеют длину 31,2 м в осях 52...48 и высоту 5,35 м. Монолитные густоармированные колонны каркаса сечением 1,2х0,8 м и высотой 5,35 м располагаются как отдельно, так и внутри стен.

В процессе научного сопровождения работ по бетонированию элементов и конструкций Центрального ядра при сооружении стен и колонн на отметке 103 была проведена теплофизическая экспертиза проектно-технологических решений с целью разработки на основе теоретических и экспериментальных данных предложений по учету температурного фактора.

Контрфорсные монолитные железобетонные стены жестко присоединены нижним основанием к плите и одной из сторон – к боковой стенке. Бетонирование производили непрерывно на всю длину за одну заходку. Температура стенки в момент замыкания с плитой основания составляла примерно +30°C. После распалубки возможно остывание конструкций до -20°C. Таким образом, общий перепад температур мог достигать 50°C.

Температурные свободные деформации составят

$$l_m = \alpha T l = 1 \times 10^{-5} 1/\text{град} \times 50^0 \times 31200 \text{ мм} = 15,6 \text{ мм.}$$

В условиях полной заделки (плиту основания можно считать недеформируемой конструкцией) упругие растягивающие напряжения составят

$$\sigma = 1 \times 10^{-5} 1/\text{град} \times 50^0 \times 3,5 \times 10^5 \text{ кг/см}^2 = 175 \text{ кг/см}^2.$$

Таких растягивающих напряжений бетон не выдержит, что приведет к образованию трещин, суммарное раскрытие которых будет стремиться к 15,6 мм. Трещины будут вертикальные, практически на всю высоту стенки, в зоне прикрепления к боковой стене по тем же причинам возможно образование горизонтальных трещин длиной 2-3 м.

За счет проявления усадки трещины будут расти во времени. Свободные усадочные деформации ориентировочно можно оценить по формуле

$$l = E_y \times l = 2 \times 10^{-4} \times 31200 \text{ мм} = 6,2 \text{ мм.}$$

Это увеличит раскрытие температурных трещин через 2-3 года примерно на 40%.

Возможны три направления снижения или ликвидации неблагоприятного влияния температурно-усадочных воздействий:

1) локализация трещин в фиксированных местах. В этом случае за счет создания концентраторов вместо беспорядочного расположения большого числа трещин формируется ограниченное количество трещин в определенных местах, в которых предусматривается их изоляция или заделка;

2) резкое снижение влияния воздействий путем применения более рационального технологического процесса, в котором предусматривается: обеспечение рационального температурного режима при бетонировании, выдерживании и распалубливании конструкции;

обеспечение введения соответствующих добавок в бетонную смесь; принятие мер для снижения усадки бетона (влагозащитная пленка, окраска и др);

3) корректировка конструкции стенки с разделением бетонирования на два этапа и применения соответствующего технологического процесса. Этот путь является наиболее эффективным, позволяющим практически полностью исключить неблагоприятное влияние температурно-усадочных воздействий в процессе возведения.

Для выявления пути повышения трещиностойкости проведена серия теплофизических расчетов, результаты которых приведены на рис. 2, где:

1,2,3 – изменение во времени температуры бетона в процессе его разогрева за счет экзотермии и последующего остывания соответственно для начальной температуры бетонной смеси и равной ей температуры окружающего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, $+10^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ (верхняя кривая характеризует изменение температуры бетона в центре стенки, нижняя – поверхности);

4 – изменение температуры бетона, когда через двое суток после укладки бетона с его температурой и одновременно температурой воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ температура воздуха была поднята до $+20^{\circ}\text{C}$;

5,6 – изменение температуры поверхности бетона при отрицательной температуре наружного воздуха соответственно -10 и -20°C ;

А, Б, В – момент времени формирования кривой нулевых напряжений соответственно для случаев 1,2,3.

Анализ результатов расчетов показывает следующее.

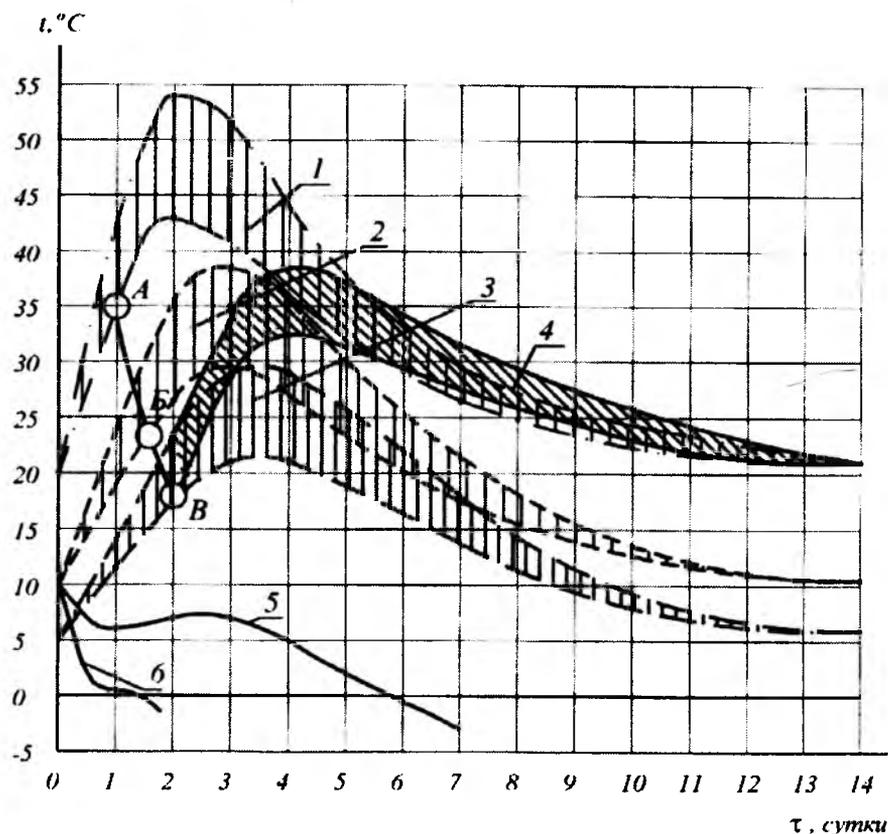


Рис. 2. Варианты температурного режима при бетонировании стенки

Поскольку для снижения опасности появления трещин требуется "закрытие" стенки с плитой основания при наименьшей разности температур, наилучшие условия для этого формируются при укладке бетонной смеси с минимально возможной температурой (случай 3 на рис. 2). В этом случае "закрытие" происходит при температуре примерно на $17,5^{\circ}\text{C}$ меньше, чем при укладке бетонной смеси с начальной температурой $+20^{\circ}\text{C}$. В соответствии с многолетними исследованиями проф. В.С. Лукьянова с достаточной для практики точностью можно считать, что "закрытие", т.е. формирование кривой нулевых напряжений, происходит при достижении бетоном прочности, равной $0,25R_{28}$, где R_{28} – прочность в возрасте 28 сут при твердении с температурой $+20^{\circ}\text{C}$. На рис. 2 моменты достижения прочности $0,25R_{28}$ для наружной поверхности стенки для случаев 1,2,3 показаны соответственно точками А, Б, В (нарастание прочности автоматически считалось на ЭВМ одновременно с расчетом температурного режима).

Расчеты также показали, что бе-

тонирование стенки зимой при фактически применяемой опалубке не может производиться хотя бы без оболочки из брезента с наличием воздушной полости между опалубкой и оболочкой. При необходимости в воздушную полость должен подаваться нагретый воздух. Без оболочки возможно замерзание бетона (см. кривые 5 и 6 на рис. 2).

В итоге теплофизической экспертизы были разработаны предложения по учету температурных факторов при возведении железобетонных контрфорсных стен на участках 6А, 6Б, 7 и 8 на отметке 103,35 м, которые были использованы НИИЖБом при корректировке технологических регламентов для учета местных условий.

Контрфорсные стены на отметке 103,35 м в осях Г-С- 52-48 в соответствии с графиком работ возводились в период ноябрь 1999 г. – февраль 2000 г. Стены, возведенные в период с ноября 1999 г. по январь 2000 г. (в зимний период при отрицательных температурах окружающего воздуха) имеют вертикальные трещины на всю высоту стенки с расстоянием 2,5 – 3 м, раскрытием от 0,1 до 4,0 мм.

Анализ характера расположения, ориентации, раскрытия трещин, конструктивных особенностей стен, технологии их сооружения с точки зрения температурных воздействий и тепловых режимов (бетонирование стен в тонкостенной опалубке без какого-либо теплозащитного покрытия, укладка горячей бетонной смеси на холодное бетонное основание без предварительного обогрева, неоднократные отступления от требований технологических регламентов) показывает температурное происхождение образовавшихся трещин.

На основании выполненных расчетов для снижения неблагоприятного влияния температурно-усадочных факторов были сформулированы следующие рекомендации.

1. При бетонировании стен в холодное время года (при температуре наружного воздуха ниже $+5^{\circ}\text{C}$ и при отрицательных температурах) для регулирования температуры воздуха на контакте с опалубкой и бетонной поверхностью следует устроить оболочку из брезента и предусмотреть в ней установку калориферов, которые могут обеспечивать перемешивание и подогрев воздуха. Если теплозащитная оболочка сделана не будет, то при применяемой опалубке бетон замерзнет, не набрав прочности. На рис. 2 позициями 5 и 6 показано изменение температуры поверхности бетона при температуре наружного воздуха соответственно -10 и -20°C .

2. До начала бетонирования необходимо прогреть бетон основания, чтобы перед бетонированием достигнуть температуры поверхности $20-30^{\circ}\text{C}$.

3. Бетонную смесь надо укладывать в опалубку с минимально возможной температурой (от $+5$ до $+10^{\circ}\text{C}$). Первые двое суток после укладки бетонной смеси следует обеспечить и поддерживать температуру воздуха внутри оболочки $+5^{\circ}\text{C}$. При необходимости ускорения твердения бетона температуру воздуха внутри оболочки можно повысить до $+20^{\circ}\text{C}$ и поддерживать ее до момента достижения бетоном R_{28} .

4. В любом случае снятие оболочки и распалубку бетона надо производить не ранее, чем через неделю после укладки бетонной смеси. При этом немедленно после распалубки следует осуществить покраску поверхности полимерными покрытиями для снижения усадки.

5. Более подробно все конструктивные, технологические и теплофизические параметры процесса изго-

товления должны быть сформулированы в Технологическом регламенте.

Для наиболее полного снижения неблагоприятного влияния температурно-усадочных воздействий на данную конструкцию (исключение причин трещинообразования), кроме перечисленных организационно-технологических мероприятий, целесообразно разработать конструктивно-технологические мероприятия. Одним из направлений может быть способ бетонирования стен и входящих в конструкцию колонн раздельно в два этапа: сначала – стены, а затем после технологического перерыва – колонны. Для этого на контактах надо предусмотреть разделительные перегородки из металлических сеток, подобно используемым при бетонировании фрагментов плиты. Все технологические операции должны быть отражены в Технологическом регламенте.

Разработаны предложения по технологии бетонирования контрфорсных стен отдельными участками.

1. Для предотвращения возникновения вертикальных температурных трещин в стенах необходимо обеспечить следующие теплофизические условия.

1.1. Замыкающие участки стены (бетонируемые во вторую очередь) должны по возможности иметь минимальные размеры по длине стены. В данном случае целесообразно их устроить в месте расположения колонн, т.е. все колонны бетонировать после охлаждения забетонированных участков стены между колоннами.

1.2. При замыкании участков 1 и 2-й очереди бетонирования необходимо обеспечить минимальную разность средних температур замыкаемых элементов стены. Поскольку искусственное охлаждение забетонированных участков стены 1-й очереди практически исключено, естественное охлаждение до температуры окружающего воздуха после окончания экзотермического нагрева цемента произойдет примерно через четверо суток. Поэтому при укладке бетона с температурой $+10...20^{\circ}\text{C}$ замыкание участков 1-й и 2-й очереди должно происходить не ранее, чем через 12 дней после укладки бетона в участках 1-й очереди (рис.2).

1.3. Перед началом бетонирования (при температуре окружающего воздуха в интервале от $+5^{\circ}\text{C}$ до -10°C) участки 2-й очереди (колонн) арматура и опалубка должны иметь температуру не менее 5°C , а примыкаю-

щая поверхность остывания должна иметь температуру $+15^{\circ}\text{C}$.

1.4. Замыкающие участки следует бетонировать и выдерживать первые двое суток при возможно более низкой температуре окружающего воздуха (но не ниже $+5^{\circ}\text{C}$), а затем для ускорения твердения бетона можно осуществить разогрев поверхностных слоев бетона (поз.4 на рис.2).

2. Для предотвращения возникновения горизонтальных температурных трещин в стенах необходимо обеспечить следующие теплофизические условия.

2.1. При бетонировании замыкающего участка (колонны) необходимо обеспечить минимальную разность температур между бетонируемым и ранее забетонированными смежными участками стены в момент формирования кривой нулевых напряжений. Для этого примыкающие участки забетонированных ранее стен должны быть прогреты до средней температуры не ниже 15°C на глубину, равную двойной толщине стены, т.е. не менее $1,5$ м.

3. Для обеспечения трещиностойкости поверхностных слоев бетона в конструкции необходимо обеспечить следующие условия.

3.1. В момент начала твердения бетона (схватывания) должна сформироваться выпуклая кривая нулевых напряжений по толщине стены. Для этого при применении электропрогрева после укладки бетонной смеси и до формирования кривой нулевых напряжений (1...2 сут) необходимо осуществить электропрогрев внутренних слоев бетона, а не наружных.

3.2. После распалубки на открытые поверхности бетона необходимо немедленно нанести полимерные покрытия, которые замедлят или исключат процессы высыхания, а значит и снизят усадочные напряжения.

4. Более детально все конструктивные, технологические и теплофизические параметры процесса изготовления должны быть сформулированы в Технологическом регламенте.

5. Наблюдения за температурными режимами сооружаемых элементов конструкции должны производить соответствующие специалисты по специально разработанной методике с обеспечением возможности оперативного регулирования температурных параметров при изменении местных условий (погодных, технологических, организационных).

Контрфорсные стены возводили в соответствии с разработанным НИ-

ИЖБом "Технологическим регламентом".

В соответствии с Технологическим регламентом бетонные работы в зимний период для обеспечения надлежащих условий твердения бетона вели методом его обогрева греющими проводами. Кроме того, для обеспечения указанных требований (в соответствии с Регламентом к бетону) в состав бетонной смеси вводили комплексный модификатор МБ-100с. Поступающая на строительную площадку бетонная смесь должна иметь среднюю температуру не выше $+35^{\circ}\text{C}$ и не ниже $+15^{\circ}\text{C}$, что не выдерживалось.

Непосредственно перед укладкой бетонной смеси основание конструкции, опалубка и арматура должны быть отогреты до положительной температуры. Для этой цели может быть использован горячий воздух из калориферов. Особое внимание должно быть уделено обеспечению прогрева до положительной температуры поверхности фундаментной плиты (основание колонн и стен), что не всегда выдерживалось.

Бетонные смеси следует укладывать в бетонируемые конструкции горизонтальными слоями одинаковой толщины, равной 1 м, без разрывов, с последовательным направлением укладки в одну сторону во всех слоях. По окончании укладки и уплотнения бетонной смеси горизонтальные поверхности конструкций необходимо сразу же укрывать полиэтиленовой пленкой или брезентом, слоем теплоизоляции (5-10 см минеральной ваты или 2-3 слоя дорнита) и затем снова полиэтиленовой пленкой или брезентом во избежание намокания теплоизоляционного слоя, что не соблюдалось.

При обогреве монолитных железобетонных стен, колонн и перекрытий с помощью греющих проводов необходимо использовать утепленную опалубку. В случае металлической опалубки ее следует утеплить слоем минеральной ваты толщиной не менее 50 мм и обшить фанерой 4-5 мм, что не соблюдалось.

Выдерживание бетона в монолитных железобетонных стенах производилось двусторонним размещением греющих проводов с шагом 100 мм вертикальными рядами. В колоннах греющий провод располагался вертикальными рядами с шагом 100 мм по периметру конструкции. Расстояние от нижней жилы греющего провода до низа конструкции должно быть не более 3...5 см. Участок горизонтально

установленного провода на высоте 1,2 м подключается после укладки первых двух бадей (примерно $1,5 \text{ м}^3$) бетонной смеси.

После окончания бетонирования колонны горизонтальный контур греющего провода должен быть обязательно отключен, и только после этого подключается вертикально установленный провод. Пробное включение не рекомендуется из-за возможного расплавления изоляции греющего провода в условиях низкой теплопроводности воздуха. Активный прогрев должен начинаться сразу по окончании укладки бетонной смеси, ее уплотнения и укрытия неопалубленных поверхностей, не допуская замораживания поверхностного слоя бетона, что не выдерживалось.

В соответствии с разработанным НИИЖБом Технологическим регламентом с ноября 1999 г. по 20 января 2000 г. было возведено 6 контрфорсных стен. В этот период температура воздуха характеризовалась периодами с незначительными амплитудами колебания от среднесуточного значения.

Укладку бетона в контрфорсные стены Н, Р, М, И производили практически при температуре воздуха около 0°C (см. рис. 1) на поверхность плиты, имеющую также температуру около 0°C , так как температура окружающей среды достаточно длительный период перед бетонированием имела такое среднее значение. Стены Л, Е, К, П бетонировали на "холодном" основании с температурой около -5°C . Стену Ж бетонировали при средней температуре окружающего воздуха -15°C под теплозащитным покрытием и с предварительным прогревом до 0°C .

Были выявлены серьезные отклонения от соответствующих технологических регламентов; неудовлетворительно осуществляли прогрев основания как колонн, так и контрфорсных стен в зоне сопряжения с фундаментной плитой (согласно Регламенту, поверхность фундаментной плиты и выступающую арматуру после установки опалубки необходимо прогревать только калориферами для стабилизации температуры на уровне выше 0°C). В связи с этим было предложено обеспечить прогрев основания стен и колонн перед бетонированием, после чего по согласованию с представителем Заказчика приступить к укладке бетонной смеси.

Осуществленный в последующий период предварительный прогрев

оснований колонн, которые затем после укладки бетона укрывали теплозащитным покрытием, позволил избежать образования температурных трещин в колоннах. Однако при возведении контрфорсных стен эти мероприятия не проводили. Только перед бетонированием стены Ж была предпринята попытка предварительного обогрева основания под предварительно устроенным теплозащитным покрытием из дорнита. Однако из-за некачественного устройства покрытия (продуваемые щели между плотнищами) поверхность основания удалось прогреть только до 0° . Кроме того, стена Ж отличается от других стен тем, что в состав ее бетонной смеси не вводили модификатор.

В соответствии с проведенной Центральной лабораторией инженерной теплофизики теплофизической экспертизой конструкции и технологии возведения контрфорсных стен на участках 6...8 Центрального ядра ММДЦ и разработанных на ее основе предложений по учету температурных факторов при возведении железобетонных контрфорсных стен были выявлены теплофизические условия, которые необходимо обеспечить для предотвращения трещинообразования, и разработаны предложения по их осуществлению.

Предложения были разработаны применительно к сооружению контрфорсной стенки по оси И. Однако при бетонировании контрфорсной стены по оси И 13-14 не было выполнено одно из основных условий – раздельное поэтапное бетонирование участков стены с технологическим перерывом на период остывания ранее забетонированных участков. Бетонирование было проведено непрерывно горизонтальными участками на всю длину стены, т.е. по тому же принципу, что при бетонировании ранее возведенных стен. В результате после распалубки в стене И образовались температурные трещины, аналогичные трещинам в ранее возведенных стенах (11 вертикальных трещин раскрытием от 0,05 до 0,3 мм).

В марте 2000 г. были проведены выборочные обследования возведенных контрфорсных стен. Анализ результатов обследований показал, что имеется значительная разница по суммарной ширине раскрытия трещин от минимальной (1,75 мм) на стене Ж до максимальной (8,75 мм) на стене Л; на остальных стенах ширина раскрытия трещин колеблется от 3,05 до 4,5 мм.

Одним из главных показателей свойств бетона, который в целом характеризует несущую способность сооружения, является показатель прочности бетона. Анализ результатов свидетельствует, что наблюдается значительная разница в значениях прочности бетона стены Ж по высоте. Если прочность на высоте 1,5 м с обеспеченностью 0,95 составляет 267 кгс/см², что соответствует классу бетона В20, то на расстоянии 0,2 м от нижней плиты прочность в тот же момент составляет только 43 кгс/см², что соответствует классу бетона В3, а на стыке стены с опорной плитой бетон практически полностью разрушен. В соответствии с графиком набора прочности бетона, приведенном в Технологическом регламенте, к моменту обследований прочность бетона должна была составлять 445,3 кгс/см² и 450 кгс/см², т.е. соответствовать классу В34.

Отсюда можно сделать вывод, что значения прочности бетона контрфорсных стен не достигают проектных величин. Кроме того, из-за отступления от требований Технологического регламента бетон стены в месте примыкания к нижней плите оказался размороженным в ранней стадии, из-за чего не произошло его нормальное твердение.

Таким образом, недостаточный учет формирования температурных режимов при бетонировании стен в зимнее время на "холодном" массивном основании неизбежно вызывает большие температурные перепады между элементами сооружения и по толщине элементов, что приводит к значительным температурным деформациям, напряжениям и образованию температурных трещин.

Разработанные в процессе научного сопровождения предложения по учету температурного фактора при сооружении контрфорсных стен в зимнее время позволяют полностью исключить образование температурных трещин в процессе возведения, либо снизить неблагоприятные последствия действия температурных факторов. Даже частичный учет этих предложений (предварительный незначительный прогрев основания плиты перед бетонированием и снижение перепадов температур между ядром и поверхностью стены в период остывания бетона путем укрытия поверхности теплозащитным покрытием) позволил значительно снизить величины температурных напряжений (в стене Ж общее суммарное раскрытие трещин составило 1,75 мм, тогда как в других стенах оно колеблется от 3,05 до 8,75 мм).

При сооружении контрфорсной стены по оси Ж (температура воздуха во время бетонирования -10... -15⁰С) эти мероприятия частично были внедрены (укрытие шатром, предварительный нагрев основания перед бетонированием стены, устройство дополнительных вертикальных швов из металлических сеток), что позволило значительно снизить количество и суммарное раскрытие трещин. Однако предложенный "шахматный" порядок бетонирования и предлагаемая схема разбивки на секции вертикальными швами не были осуществлены.

Проведен значительный объем расчетов температурных режимов и термонапряженного состояния стен, возводимых в летнее время с учетом предложений по этапному бетонированию с устройством вертикальных швов в определенных местах.

Разработанные мероприятия в большой мере были применены НИИЖБом при создании технологических регламентов для возведения продольных стен и несущих стен "куба", что позволило значительно уменьшить количество температурных трещин в этих элементах. Возведенные по новой технологии стены практически не имели температурных трещин, что соответствовало результатам расчетов.

А.В.БАТУДАЕВА, Г.С.КАРДУМЯН, С.С.КАПРИЕЛОВ (НИИЖБ)

Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей

Основными двигателями технического прогресса в технологии бетона всегда являлись две ключевые задачи: получение прочного и долговечного бетона и снижение трудовых и энергетических затрат при его производстве. Долгое время не удавалось найти совместного решения этих кажущихся противоречивыми задач. С одной стороны, производство прочных и долговечных бетонов было сопряжено с интенсивными механическими воздействиями на бетонную смесь, что неизбежно увеличивало затраты. С другой, получение высоко-

коподвижных бетонных смесей происходило главным образом за счет увеличения расхода воды, что в свою очередь приводило к снижению прочности бетона.

С появлением суперпластификаторов (СП) в середине 70-х годов прошлого века в значительной степени были решены одновременно обе задачи. Оказалось возможным на обычных портландцементе и заполнителях достигать сравнительно высокой прочности (50 МПа) с применением высокоподвижных бетонных смесей (ОК≥20 см), которые сейчас можно

назвать прототипом современных так называемых самоуплотняющихся бетонов.

Под самовыравнивающимися подразумеваются смеси, способные укладываться в опалубку без вибрации и равномерно распределяться во всем ее объеме при сохранении однородности даже при наличии густорасположенной арматуры. Определяющим свойством таких смесей является их высокая удобоукладываемость, сочетающая две противоположных по своей природе характеристики: низкое предельное сопро-

тивление сдвигу (τ_D), которое предопределяет высокую текучесть смеси, и повышенную вязкость (η), которая обеспечивает стабильность и связность смеси. Существуют общепринятые критерии, по которым такие смеси идентифицируются: осадка конуса – не менее 27 см и расплыв – не менее 65 см [1].

Таким образом, естественная тенденция развития технологии в направлении повышения прочности и долговечности бетонов, с одной стороны, и повышения удобоукладываемости, с другой, выдвигают новую задачу: получение высокопрочных бетонов ($R_{сж} \geq 60$ МПа) из самовыравнивающихся смесей. Эта задача представляется комплексной (многофакторной), поэтому для ее решения необходимо основываться на современных принципах получения как высокопрочного бетона, так и самовыравнивающихся смесей.

Как известно, формирование высокопрочной и плотной структуры цементного камня и бетона возможно путем введения в цементную систему дисперсных и ультрадисперсных материалов, содержащих преимущественно аморфный диоксид кремния, с одновременным снижением водопотребности за счет использования суперпластификаторов [2].

Что касается самовыравнивающихся смесей, то условиями их получения является сочетание таких параметров, как [3, 4, 5]:

- гранулометрический состав заполнителя, обеспечивающий равномерное объемное распределение частиц по фракциям;
- объем цементного теста, обеспечивающий необходимую раздвижку зерен заполнителя;
- содержание воды, обеспечивающее текучесть системы при сохранении седиментационной устойчивости.

Непрерывная гранулометрия дисперсной системы, каковой является бетонная смесь, создает структуру с плотной упаковкой, в которой крупные частицы окружены более мелкими, т.е. в свою очередь, - еще более мелкими, т.е. каждая частица находится в контакте с несколькими соседними частицами, пустоты между ними практически отсутствуют или минимальны. Это благоприятный фактор, если иметь в виду, что пустоты обычно заполняются водой, которая может быть избыточной, негативно влияя и на седиментационную устойчивость, и на структуру системы. С точки зрения механизма течения,

можно сказать, что при деформации такой структуры ее частицы способны «перекатываться» друг по другу, не застревая в пустотах. Регулирование гранулометрии бетонной смеси производится путем использования фракционированного щебня и песка средней крупности.

В свою очередь, необходимый и достаточный для заполнения пространства между частицами заполнителя объем цементного теста обеспечивает оптимальную раздвижку и «смазку» поверхность заполнителя, снижая силы сцепления между его частицами. Соответствие данному критерию обеспечивается путем регулирования соотношения между объемом заполнителей и объемом цементного теста в смеси. Доля заполнителей в самовыравнивающихся смесях меньше, чем в обычных бетонах, и соответственно увеличен объем цементного теста за счет использования минеральных добавок. Поэтому общее количество последних в самовыравнивающихся смесях может достигать 50 % массы цемента [6].

Содержание воды в самовыравнивающихся смесях, как правило, на уровне обычных бетонов, а высокая подвижность обеспечивается повышенными в 1,5-2 раза дозировками суперпластификатора.

По основным физико-техническим свойствам бетоны, полученные из самовыравнивающихся смесей, не отличаются от вибрированных бетонов. Однако из-за повышенного расхода вяжущего в самовыравнивающихся бетонах возрастает вероятность усадки, а из-за особенностей безвибрационной укладки таких бетонов возникает вопрос об их сцеплении с арматурой, морозостойкости и проницаемости.

Актуальной для этого вида бетонов, учитывая вероятность их использования для устройства полов и покрытий, является также проблема стойкости к истираемости.

Вышеизложенные соображения явились основанием для исследований, результаты которых приводятся ниже.

Бетонная смесь условно разделена на две составные части: на цементное тесто (матрицу), под которым подразумевается смесь цемента, дисперсных материалов – микрозаполнителей, воды и суперпластификатора, а также на заполнители. Исследовали влияние компонентов матрицы на ее свойства, а затем свойства бетонов.

Для приготовления высокопрочной цементной матрицы использовали портландцемент марки ПЦ500 Д0, микрозаполнители (МН) и два разных суперпластификатора: на основе сульфированных нафталин-формальдегидных поликонденсатов (марка С-3) и на основе поликарбоксилатов (марка FM 435).

В качестве активных микрозаполнителей были использованы микрокремнезем конденсированный (МК) марки МК-85 (ТУ 5743-048-02495332), кислая зола-уноса (З-У) Рефтинской ГРЭС, метакаолин (МКЛН) – термически обработанный каолин Глуховецкого месторождения, молотый гипсовый камень (гипс) по ГОСТ 4013 и три различных композиции (смеси) из перечисленных выше материалов, в частности:

- комплекс, содержащий микрокремнезем и золу-уноса в соотношении 50:50 (условное обозначение «50С»);

- комплекс, содержащий метакаолин и гипс, который представляет собой расширяющую композицию сульфатоалюминатного типа, представленную в работе [7, 8] для регулирования усадочных деформаций высокопрочных бетонов (условное обозначение «РК»);

- комплекс, составляющий сумму первых двух комбинаций в соотношении 50:50 (условное обозначение «50С+РК»).

Кроме того, в качестве инертного микрозаполнителя использовали известняк молотый (ИЗВ-к) по ГОСТ 52129. Физико-химические характеристики вышеперечисленных микрозаполнителей приведены в табл. 1.

В качестве заполнителей были использованы песок кварцевый с $M_{кр} = 2,6$ и щебень гранитный двух фракций: 5-10 мм и 10-20 мм.

На предварительном этапе проведена оценка эффективности каждого микрозаполнителя, а также композиций (смесей) из разных микрозаполнителей как компонентов высокопрочной цементной матрицы. В качестве критериев оценки были выбраны следующие параметры: водопотребность, водоудерживающая способность и прочность цементной матрицы.

Водопотребность МН оценивали на цементных пастах одинаковой консистенции по изменению нормальной густоты, которая определялась на приборе Вика по методике ГОСТ 310.3.

Водоудерживающую способность

Таблица 1

Наименование микронаполнителя	Характеристики						
	ρ , г/см ³	$S_{уд}$, м ² /г	$d_{средн}$, мкм	Содержание основного компонента, %			
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Микрокремнезем	2,20	20,00	0,14	90,50	1,25	-	-
Зола-уноса	2,20	0,30	76,00	60,20	39,40	-	-
Метакаолин	2,63	1,20	1,92	54,70	39,40	-	-
«50С»	2,20	10,15	-	75,35	14,68	-	-
«50С+ПК»	2,35	5,45	-	50,6	17,50	-	24,95
«ПК»	2,49	0,74	-	27,35	20,00	-	49,90
Известняк молотый	2,60	0,29	95,00	-	-	93,2	-
Гипс	2,34	0,28	52,30	-	-	-	99,98

МН оценивали по водоотделению цементного теста, состоящего из вяжущего (90% цемента и 10% МН) и воды (В/Вяж = 1), при оседании частиц твердой фазы на градуированном цилиндре по ГОСТ 310.6.

Прочность цементной матрицы оценивали по показателю индекса активности, который определяли отношением прочности на сжатие в 28 сут нормального твердения растворных образцов-кубов состава 1:3 (вяжущее: песок), где 90% вяжущего представлено цементом, а 10% - МН, к прочности контрольного образца с вяжущим - цементом при постоянном водо-твердом отношении.

Свойства бетонных смесей оценивали двумя методами: по осадке и распылу конуса, а также по прохождению смеси сквозь препятствия [1]. Сущность второго метода заключается в следующем: конус Абрамса ставили внутрь кольца со стержнями, имитирующими арматуру, заполняли его бетонной смесью и после снятия конуса измеряли разницу высот (Δh) непосредственно у стержней внутри кольца и снаружи. Этот параметр, зависящий от вязкости смеси, позволяет оценить способность смеси проходить сквозь арматуру и косвенно определить связность смеси.

Физико-технические свойства бетонов исследовали по стандартным методикам. Прочность на осевое сжатие определяли на образцах 10x10x10 см, которые хранились в нормальных температурно-влажностных условиях ($t=20\pm 3^{\circ}\text{C}$, $W=95\pm 5\%$). Деформации расширения-усадки определяли согласно ГОСТ 24544 и ТУ 5743-157-46854090-2003 на образцах 5x5x20 см при комбинированных условиях хранения: первые сутки под пленкой,

затем до 7 сут – водное хранение, затем в воздушно-сухих условиях ($W=66\%$) до стабилизации деформаций. Водонепроницаемость бетонов определяли по показателю воздухопроницаемости с помощью прибора «Агама-2Р». Морозостойкость определяли в соответствии с ГОСТ 10060.4 по третьему методу с замораживанием (при температуре -50°C) и оттаиванием в 5%-ном водном растворе хлористого натрия. Истираемость определяли по ГОСТ 13087 на приборе ЛКИ-3 (круг истирания). Оценку качества и назначение категории бетонов по сопротивлению истираемости проводили по ГОСТ 13015.

Для сравнения прочности сцепления арматуры с равнопрочными бетонами из самовыравнивающихся и вибрированных ($OK=20$ см) смесей были проведены испытания на выдерживание арматуры диаметром 10 и 25 мм класса А500С из бетонных кубов, размеры которых, согласно методике RILEM [9], составляли 100 и 250 мм соответственно.

Водопотребность, так же, как подвижность и водоудерживающая способность цементного теста (матрицы), изменяется в зависимости от вида микронаполнителя и интегральной удельной поверхности ($S_{вяж}$) смешанного вяжущего, под которым подразумеваем смесь цемента и микронаполнителей. С увеличением удельной поверхности водопотребность и водоудерживающая способность, естественно, возрастают, а подвижность уменьшается (табл.2). Наименее подвижными и, напротив, более водопотребными и обладающими повышенной водоудерживающей способностью оказались образцы цементного теста с добавкой микрокремнезема

($S_{вяж}=2,3$ м²/г) и метакаолина, который характеризуется высокой гидрофильностью ($S_{вяж}=0,42$), т.е. с микронаполнителями, отличающимися сравнительно высоким (более 1) индексом активности. Однако заметим, что смеси разных по влиянию на консистенцию цементного теста микронаполнителей (в частности, 50С, 50С+ПК, ПК) позволяют также повысить водоудерживающую способность, практически не изменяя водопотребность цементного теста. Очевидно, это объясняется более оптимальным гранулометрическим составом комплексных МН, которые включают в себя полидисперсные зерна различной формы.

Характерный для комплексных МН сравнительно высокий индекс активности во многом предопределен присутствием аморфных диоксида кремния и оксида алюминия, содержание которых в вышеуказанных композициях доходит до 75%.

Следует отметить также, что по показателю подвижности комплексные МН отличаются друг от друга. С увеличением количества расширяющей композиции в их составе подвижность цементного теста повышается, что объясняется, вероятно, ее гранулометрическим составом и пластичностью метакаолина как глинистого материала, входящего в состав расширяющей композиции.

Введение молотого известняка в цементную систему способствует повышению водоудерживающей способности системы и в то же время практически не влияет на ее водопотребность и подвижность (см. табл.2).

Далее на основе трех выбранных минеральных композиций по критерию обеспечения равной подвижности (расплав мини-конуса = 240-260 мм) цементных паст с В/Т=0,35 оценивали эффективность двух видов СП. Она зависит от механизма их действия на цементную систему, что выражается в том, что для достижения требуемой подвижности дозировка СП FM435, действующего по стерическому механизму, практически в 5 раз меньше дозировки СП С-3 с электростатическим механизмом действия. При этом оптимальная дозировка обоих СП зависит от состава комплексного МН. В частности, цементное тесто, содержащее комплекс из золы-уноса и микрокремнезема, характеризуется наибольшей дозировкой СП для обеспечения требуемой консистенции, а наименьшая дозировка СП характерна для цементного теста с

Таблица 2

№	Состав цементной матрицы	Свойства матрицы			
		$S_{уд. интерг.}$ М ² /г	Водопо- требность по н.г., %	Водоудержи- вающая способность по водоотде- лению, %	Индекс активности по прочности
1	Цемент 100%	0,30	25,00	14,0	1,00
2	Цемент + 10% МК	2,27	31,25	4,2	1,20
3	Цемент + 10% ЗУ	0,30	26,00	17,0	0,95
4	Цемент + 10% МКЛН	0,42	29,80	7,8	1,10
5	Цемент + 10% «50С»	1,30	27,00	5,8	1,20
6	Цемент + 10% «50С+РК»	0,36	26,75	8,2	1,17
7	Цемент + 10% «РК»	0,80	26,50	9,7	1,15
8	Цемент + 10% Изв-к	0,30	25,01	9,2	-
9	Цемент + 10% Гипс	0,30	25,70	18,0	-

расширяющей композицией. Цементное тесто, содержащее комплекс этих двух композиций, занимает промежуточное положение.

Так как повышение дозировок СП приводит к расслоению, были установлены критические («пороговые») дозировки СП при сочетаниях с МН, превышение которых нежелательно. Для СП С-3 она составила 10% массы МН, а для СП FM435 – 2%. Таким образом, оптимизированы составы поликомпонентных органоминеральных композиций комплексных добавок, включающих МН и СП.

Для сравнения свойств высокопрочных самовыравнивающихся бетонов с вибрируемыми бетонами были изготовлены несколько образцов, в том числе контрольный образец высокопрочного бетона с осадкой конуса 20 см. Ранее выполненные нами исследования позволили оптимизировать гранулометрический состав и расход заполнителей для самовыравнивающихся смесей. Оптимальное соотношение фракций в щебне составляет 60% фракции 5-10 и 40% фракции 10-20, а оптимальное содержание песка в смеси заполнителей равно 0,5.

Полученные самовыравнивающиеся бетонные смеси по параметрам текучести и связности удовлетворяют требуемым критериям: диаметр расплыва для всех составов больше 65 см и разница высот Δh в методике "J-ging"[1] менее 15 мм. Отметим также изменение свойств смеси в зависимости от состава минеральной части комплексной добавки: увеличение подвижности, характеризующейся расплывом конуса, и уменьшение пока-

зателя Δh в зависимости от количества расширяющей композиции в составе минеральной части комплексной добавки, которое прослеживалось и в предыдущих исследованиях на цементном тесте. Очевидно также влияние состава минеральной части комплексной добавки на объем вовлеченного воздуха и на удельный вес смеси независимо от вида суперпластификатора: наибольшее воздухововлечение и наименьшую плотность имеет бетонная смесь, содержащая в составе минеральной части комплексной добавки МН 50С, наименьшее воздухововлечение и максимальная плотность у бетонной смеси с РК, бетонная смесь с комплексным МН 50С+РК занимает промежуточное положение. По-видимому, такая зависимость объясняется увеличением плотности упаковки частиц цементного теста и снижением вероятности зацементации воздуха между частицами, обусловленными формой, размерами частиц и гранулометрией.

Присутствие в смесях СП С-3 приводит к повышению объема вовлеченного воздуха и снижению прочности бетона в сравнении с СП FM 435. Это еще одно свойство, которое делает СП на поликарбоксилатной основе предпочтительным компонентом самовыравнивающихся бетонов. Все бетоны обладают высокой плотностью: марка по водонепроницаемости достигает W20 и выше. Испытания на морозостойкость показали, что бетоны, полученные из самовыравнивающихся смесей, не уступают вибрируемым бетонам.

Испытания на истираемость про-

водились совместно с лабораторией строительных материалов НИИЭС. По результатам этих испытаний, представленных в табл.3, можно сказать, что по сопротивлению истираемости бетоны из самовыравнивающихся смесей не уступают равнопрочным бетонам, полученным из пластичных смесей с осадкой конуса 20 см и могут быть использованы для устройства покрытий, работающих в условиях повышенной интенсивности.

Данные по кинетике развития деформаций расширения-усадки показывают, что при хранении в водных условиях происходит прирост деформаций расширения, явно связанный с увеличением доли расширяющей композиции в составе минеральной части комплексной добавки. Следует отметить, что составы с СП С-3 имеют большее расширение, чем составы с СП FM435. Вероятно, это объясняется более высокой прочностью бетонов с СП FM435, которая препятствует процессу расширения. Для образцов самовыравнивающегося бетона без расширяющей композиции наблюдали небольшое набухание.

При помещении образцов в воздушно-сухие условия наблюдали процессы развития усадочных деформаций, которые стабилизировались к 70 сут. Образцы, содержащие 100 % расширяющей композиции, характеризующиеся наибольшей величиной линейного расширения, к сроку стабилизации деформаций имели минимальную усадку 0,01% – почти в 2 раза меньше, чем у образцов контрольного состава и образцов без расширяющей композиции. Деформации усадки бетонов из самовыравнивающихся смесей не превышают аналогичные показатели равнопрочного вибрированного бетона. Введение в состав минеральной части комплексной добавки расширяющей композиции независимо от вида СП приводит к снижению усадочных деформаций самовыравнивающихся бетонов.

Для сопоставления результатов испытаний по сцеплению арматуры с бетоном необходимо принять во внимание различие в прочности бетона. Существует несколько подходов к приведению прочности сцепления к одной прочности бетона. Эти подходы предопределяются формулами для определения расчетного сопротивления сцепления арматуры с бетоном или формулами для определения длины зоны анкеровки, принятыми в нормах проектирования железобетонных конструкций. В этой работе

Таблица 3

№	Вид МН	ОК	Прочность при сжатии, МПа	Фактическая истираемость, г/см ²	Истираемость согласно ГОСТ13015		
					г/см ²	категория	вид конструкции
1	50С	27	76,5	0,62	0,7	I	конструкции, работающие в условиях повышенной интенсивности движения (плиты тротуаров на магистральных улицах и т.п.)
2	50С+ПК	27	75,8	0,60			
3	ПК	27	74,0	0,50			
4	50С (контрольный)	20	78,0	0,46			

мы придерживались отечественных СП 52-101-03 и зарубежных АСІ 318 норм.

Данные табл.4 показывают, что приведенная по СП 52-101-03 критическая прочность сцепления арматуры с самоуплотняющимся бетоном в среднем на 21% превышает предельную прочность сцепления арматуры с вибрированным бетоном. Критические значения прочности сцепления, приведенные по АСІ 318 для обоих видов бетона, практически одинаковы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что характеристики сцепления с арматурой самоуплотняющегося бетона сопоставимы с аналогичными характеристиками вибрированного бетона.

Выводы

1. Исследование влияния микрокремнезема, золы-уноса, метаксаолина и гипса на свойства цементной матрицы показало, что микронаполнители, введенные в цементную систему в виде композиций (смесей),

предпочтительнее в сравнении с каждым из них в отдельности.

Наиболее эффективными, с точки зрения обеспечения водоудерживающей способности смесей и высокой прочности бетона, являются следующие композиции:

- микрокремнезем и зола-унос в соотношении 50:50;

- расширяющая композиция, состоящая из метаксаолина и гипса;

- композиция, содержащая микрокремнезем с золой-уноса и расширяющую композицию в соотношении 50:50.

2. Для обеспечения высокой подвижности смесей, соответствующих критерию самовыравнивающихся, в дополнение к вышеуказанным композициям микронаполнителей могут быть использованы суперпластификаторы как на основе нафталинформальдегидных соединений, так и на основе поликарбоксилатов. Предпочтительными являются последние.

3. Сочетание вышеуказанных композиций микронаполнителей и суперпластификаторов при оптимиза-

ции гранулометрического состава заполнителей позволяет получать высокопрочные бетоны ($R_{сж} \geq 70$ МПа) из самовыравнивающихся смесей.

4. Использование расширяющей композиции, состоящей из метаксаолина и гипса, позволяет минимизировать усадочные деформации самовыравнивающихся высокопрочных бетонов.

5. Некоторые параметры, характеризующие долговечность бетонов, такие как морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость, для полученных высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей не ниже, чем у вибрированных бетонов того же класса по прочности, полученных из менее подвижных (ОК=20 см) смесей.

6. Сцепление с арматурой высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей не ниже, чем у вибрированных бетонов того же класса по прочности, полученных из менее подвижных смесей (ОК=20 см).

Библиографический список

1. **Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete**, EFNARC, February 2002

2. **Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В.** Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы. // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – с. 6-10.

3. **Saak A.W., Jenning H.M. and Shah S.P.** "New Methodology for Designing Self-Compacting concrete" ACI Material Journal, V.98, №6, November-December 2001.

4. **Noguchi T, Oh S.G. and Tomosava F.** "Toward Mix Design for Rheology of Self-Compacting concrete" www.baustoffchemie.de/en/db/selfcompacting-concrete

5. **Okamura H., Ouchi M.** "Self-Compacting Concrete" Journal of Advanced Concrete Technology V.1, №1,5-15 April 2003.

6. **Khayat K.H.** "Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete" ACI Material Journal, V.96, №3, May-June 1999.

7. **Научно-технический отчет НИИЖБ** по теме «Разработка комплексного органоминерального модификатора нового поколения для получения высокопрочного мелкозернистого бетона с улучшенными деформативными характеристиками» /Кардумян Г.С., М., - 2004.

8. **Kardumian G., Kaprieiov S.** Shrinkage Controlling of Self-Compacting High-Strength Concrete. -15 Internationale Baustofftagung, Weimar, Deutschland, 2003. – Band 2, pp. 519-523.

9. **RILEM / CEB / FIP Recommendation RC6.** Bond test for reinforcing steel 2. Pull-out test. 1978.

Таблица 4

Маркировка	Диаметр арматуры, мм	Вид бетона	Приведенная критическая прочность сцепления, МПа	
			по СНиП 52-01-03	по АСІ 318
1-1	25	вибрирован.	6,19	2,68
1-2	25	вибрирован.	7,01	3,03
2-1	25	самовыравн.	8,83	2,98
2-2	25	самовыравн.	6,08	2,70
1-1	10	вибрирован.	6,82	2,94
1-2	10	вибрирован.	6,83	2,95
2-1	10	самовыравн.	8,49	2,86
2-2	10	самовыравн.	9,04	3,05

Современные методы и средства неразрушающего контроля качества бетонных и железобетонных конструкций

Качество бетонных и железобетонных изделий и конструкций в значительной степени зависит от эффективности и действенности контроля прочности и однородности бетона, защитного слоя бетона и расположения арматуры, напряжений в арматуре предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Определение прочности бетона может производиться стандартными методами [1] путем изготовления и испытания образцов, однако достоверность контроля его прочности и однородности по стандартным образцам является недостаточной в силу ряда причин: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в конструкцию бетона, условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны, стандартными методами невозможно определить однородность бетона в изделии и прочность отдельных его участков. При обследовании конструкций зданий и сооружений стандартные методы испытания бетона вообще неприменимы.

Перечисленные недостатки стандартных методов испытания прочности бетона обусловили развитие неразрушающих методов контроля и методов, связанных с испытаниями бетона в нестандартных образцах, извлекаемых из конструкции.

Примером эффективного применения приборов неразрушающего контроля (НК) может служить контроль прочности и однородности бетона в изделиях кассетного производства ЗЖБИ Главюжуралстроя при выявлении причины вытягивания монтажных петель в процессе извлечения внутренних стеновых панелей из кассетных установок и их транспортировки.

По данным лаборатории, прочность бетона контрольных кубов на момент распалубки соответствовала нормируемой отпускной прочности 14,8 МПа. Расследование аварийной ситуации показало, что причиной является пониженная прочность бетона

в зоне анкеровки монтажных петель (конструкция петель и длина зоны анкеровки соответствовали проекту).

Проверку прочности бетона отдельных участков производили в верхней, нижней и средней частях каждого изделия приборами Бетон-12 (при поверхностном прозвучивании) и ИПС-МГ4 (градуировочная зависимость прибора уточнялась по контрольным кубам). В результате было установлено, что средняя прочность бетона участков по высоте изделий составила 9,2 МПа (верх), 13,7 МПа (середина) и 16,4 МПа (низ), а скорость распространения УЗК составила от 3270 м/с (верх) до 3820 м/с (низ). Очевидно, что прочность бетона в изделиях кассетного производства, определяемая по контрольным образцам, существенно отличается от фактической прочности наиболее ответственных участков изделий, что может приводить к выпуску некачественной продукции и аварийным ситуациям.

Неразрушающий контроль отпускной и передаточной прочности бетона позволяет оперативно влиять на технологический процесс производства железобетонных изделий, своевременно корректировать состав, режимы виброуплотнения и термообработки бетона.

Для неразрушающего контроля прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания.

При обследовании монолитных конструкций и больших массивов бетона применение ударно-импульсных и ультразвуковых приборов должно сочетаться с испытаниями бетона методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра [2] или отбора образцов (кернов) [3].

При выборе методов НК и приборов для проведения испытаний бето-

на пользователь должен знать их особенности и рекомендуемые области применения.

Достаточно полно методы НК классифицированы Б.Г. Скрамтаевым и М.Ю. Лещинским, М.Г. Коревицкой [4, 5], в их работах даны рекомендации по выбору методов и средств НК в зависимости от вида контролируемого изделия и условий его эксплуатации. Однако современная приборная база НК существенно отличается от рекомендуемой названными авторами.

С начала 90-х годов прошлого столетия активно ведется разработка и производство приборов НК нового поколения с применением электроники и микропроцессорной техники, наращиваются их функциональные возможности.

Особого внимания заслуживают методы отрыва со скалыванием, скалывания ребра и отрыва стальных дисков, которые часто называют методами местных разрушений. Эти методы характеризуются большей точностью по сравнению с другими методами неразрушающего контроля.

Приборы, основанные на методах местных разрушений, применяются в основном в монолитном домостроении и при обследовании конструкций зданий и сооружений. Недостатки этих методов, обусловленные повышенной трудоемкостью и необходимостью определения оси арматуры и глубины ее залегания, ограничивают их применение определением прочности бетона отдельных конструкций или их участков, а также уточнением градуировочных зависимостей ультразвуковых и ударно-импульсных приборов в соответствии с Приложением 9 [2].

Основные объемы НК прочности бетона выполняются, как правило, высокопроизводительными приборами после установления корреляции их косвенной характеристики (базовой зависимости) с фактической прочностью контролируемого бетона. Применение приборов, имеющих большой объем памяти, интерфейс с

ПК и функции уточнения и корректировки градуировочных характеристик, маркировки измерений типом контролируемого изделия, значительно облегчает документирование и последующую обработку результатов измерений.

Наиболее сложными для контроля бетона конструкций являются случаи воздействия на него агрессивных факторов: химических (соли, кислоты, масла и др.), термических (высокие температуры, замораживание в раннем возрасте, либо переменное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии), атмосферных (карбонизация поверхностного слоя). Эти факторы воздействуют в первую очередь на поверхностные слои бетона, в связи с чем при обследовании необходимо визуально, простукиванием, либо смачиванием раствором фенолфталеина (случаи карбонизации бетона) выявить поверхностный слой с нарушенной структурой.

Подготовка бетона таких конструкций для испытаний неразрушающими методами заключается в удалении поверхностного слоя на участке контроля и зачистке поверхности наждачным камнем. Прочность бетона конструкций в этих случаях необходимо определять преимущественно приборами, основанными на методах местных разрушений, либо путем отбора образцов. При использовании же ударно-импульсных и ультразвуковых приборов контролируемая поверхность должна иметь шероховатость не более Ra 25, а градуировочные характеристики приборов уточнены.

Пользователь должен знать, что базовая, либо типовая градуировочная зависимость, с которой может поставляться прибор, с достаточной степенью точности воспроизводит прочность бетона того вида (класса), на котором прибор калибровался. Изменение вида крупного заполнителя, влажности, возраста бетона и условий его твердения приводит к увеличению погрешности измерений. Для ультразвуковых приборов перечень факторов, влияющих на точность измерений, еще шире [6].

Экспериментальные исследования, проводившиеся с целью установления корреляции косвенной характеристики приборов типа ИПС, откалиброванных на бетонах с гранитным щебнем, с прочностью бетона, изготовленного на других видах крупного заполнителя (гравий, граншлак, известняк, керамзит, речной песок), показали, что погрешность определения

прочности бетона может достигать 27% (керамзитобетон). Влияние возраста (до 100 сут) и условий твердения бетона не столь существенны и могут составлять 4-6% измеряемого значения прочности. Контроль влажных поверхностей (для тяжелых бетонов с влажностью более 2-3%) может приводить к занижению показаний приборов до 10-15%.

СКБ Стройприбор производит сертифицированные приборы типов ПОС-50МГ4, ПОС-30МГ4«Скол» и ПОС-50МГ4«Скол», обеспечивающие испытание бетона методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра и отрыва стальных дисков, а также приборы типов ИПС-МГ4.01, ИПС-МГ4.03, реализующие метод ударного импульса, и прибор ПОС-2МГ4П, предназначенный для испытания ячеистых бетонов методом вырыва спирального анкера.

Приборы типа ПОС состоят из силового возбуждателя и электронного блока и комплектуются анкерами типа II Ø24x30 мм, Ø24x48 мм и Ø16x35 мм с предельным усилием вырыва 30 кН (ПОС-30) и 50 кН (ПОС-50), что позволяет производить испытание бетона прочностью до 100 МПа. Погрешность определения усилия – не более ± 2%.

Прибор ПОС-50МГ4-Р может оснащаться малогабаритным червячным редуктором, обеспечивающим равномерное нагружение анкера и малое усилие на рукояти. Комплектуется устройством для испытаний методом скалывания ребра конструкций с гранью до 450 мм (модификация ПОС-50МГ4«Скол»). Прибор ПОС-50МГ4-2 имеет две опоры, минимальные массогабаритные характеристики и может применяться для испытания бетона изделий цилиндрической формы, когда применение трехопорных приборов ограничено. Прибор ПОС-50МГ4-3 трехопорный с подъемным силовым возбуждателем имеет малые габариты и массу. Испытания методом отрыва со скалыванием должны производиться в соответствии с рекомендациями [2, 7].

Испытания бетона методом отрыва стальных дисков могут производиться любым из приборов ПОС-30(50)МГ4, либо адгезиметром типа ПСО-10МГ4 с предельным усилием отрыва 10 кН (производятся СКБ Стройприбор). Метрологические характеристики приборов типа ПОС и ПСО обеспечиваются образцовыми динамометрами типа ДОРМ на 10, 30 и 50 кН.

Определение глубины залегания

арматуры и ее расположение в бетоне при подготовке к испытаниям методом отрыва со скалыванием должно производиться измерителями защитного слоя бетона, например ИПА-МГ4, имеющим диапазон определения защитного слоя 3...80 мм в стержнях диаметром 3...40 мм, с погрешностью до ± 7%.

Для контроля прочности ячеистых бетонов в диапазоне 0,5...8 МПа разработан прибор ПОС-2МГ4-П, основанный на методе вырыва спирального анкера. Прибор обеспечивает испытание бетона с предельным усилием вырыва 2 кН (погрешность до ± 3%). Установка анкера осуществляется специальным устройством, обеспечивающим постоянный шаг ввинчивания в тело бетона. Все приборы имеют автономное питание, связь с ПК и энергонезависимую память.

В отличие от методов местных разрушений приборы, основанные на ударно-импульсном воздействии на бетон, имеют значительно большую производительность, однако контроль прочности бетона ведется в поверхностном слое толщиной 25...30 мм, что ограничивает их применение. В упомянутых выше случаях необходима зачистка поверхности контролируемых участков бетона или удаление поврежденного поверхностного слоя.

Применение ударно-импульсных приборов для НК прочности и однородности бетона в возрасте до 100 сут не вызывает особых сложностей, если контролируемые поверхности образованы металлической опалубкой. НК прочности бетона на заводах ЖБИ и в строительных лабораториях, как правило, осуществляется после приведения градуировочных зависимостей приборов в соответствие с фактической прочностью бетона по результатам испытания контрольных партий кубов в прессе.

Подобные испытания прибора ИПС-МГ4.03 проводились в НТЦ «Качество» (г. Николаев, Украина) на кубах из тяжелого бетона класса В25 (шесть серий по три куба). По результатам испытаний был установлен коэффициент совпадения $K_c = 0,84$ используемой градуировочной зависимости (тяжелый бетон на граните, возраст 28 сут, ТВО). Фактическая прочность бетона в сериях составила 32,8...38,9 МПа и соответствовала заявленному классу бетона при коэффициенте вариации 13,5%.

Полученный коэффициент K_c был введен в программное устройство прибора нажатием соответствующих

кнопки клавиатуры, и испытания были продолжены на двух контрольных сериях образцов с целью проверки уточненной градуировочной зависимости. Прибор воспроизвел прочность бетона с погрешностью 1,2 и 3,1% соответственно. Осмотр разрушенных кубов всех серий показал наличие в растворной части бетона многочисленных глинистых включений размером до 10...12 мм.

Описанный случай является достаточно редким (при правильно выбранной градуировочной зависимости K_c в основном варьируется в пределах 0,88...1,12) и объясняется применением при изготовлении бетона некачественного песка с большим содержанием глинистых включений.

Применение же ударно-импульсных и ультразвуковых приборов на объектах строительства и при обследовании эксплуатируемых конструкций, когда нет возможности уточнить градуировочную зависимость испытанием кубов в прессе, сопряжено с существенными ошибками при определении прочности бетона. Приборы отрыва со скалыванием в таких случаях являются предпочтительными.

Опыт ведущих специалистов по НК прочности бетона показывает, что в их базовый комплект должны входить приборы, основанные на разных методах контроля: отрыв со скалыванием (скалывание ребра), ударный импульс (упругий отскок, пластическая деформация), ультразвук, а также измерители защитного слоя и влажности бетона, оборудование для отбора образцов из конструкции.

Разработанные СКБ Стройприбор новые измерители прочности бетона ИПС-МГ4.01 и ИПС-МГ4.03 являются дальнейшим развитием базовой модели ИПС-МГ4, выпускавшейся с 1994 г.

Приборы предназначены для оперативного контроля прочности бетона в диапазоне 3...100 МПа при изготовлении сборных железобетонных конструкций и при обследовании конструкций зданий и сооружений.

В отличие от предыдущих модификаций и известных аналогов приборы оснащены дополнительными функциями:

- ввода коэффициента совпадения K_c для оперативного уточнения базовых градуировочных характеристик;
- маркировки измерений типом контролируемого изделия (балка, плита, ферма и т.д.);
- вычисления класса бетона В с

возможностью выбора коэффициента вариации прочности;

- исключения ошибочного промежуточного значения.

Перечисленные функции, а также выбор направления удара активируются пользователем с клавиатуры приборов в диалоговом режиме.

Прибор ИПС-МГ4.03 имеет 44 базовые градуировочные зависимости, учитывающие вид контролируемого бетона (крупного заполнителя), возраст и условия твердения бетона. Перечисленные возможности приборов позволяют проводить НК прочности бетона с погрешностью 5...8%. Чем больше исходных данных, характеризующих бетон, известно пользователю и соответственно введено перед началом испытаний, тем ниже погрешность измерений.

Измерение прочности бетона заключается в нанесении на контролируемом участке изделия серии до 15 ударов, после чего электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающего от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства испытываемого материала, преобразует параметр импульса в прочность и вычисляет соответствующий класс бетона. Полученные результаты измерений и исходные данные, вводимые пользователем, автоматически архивируются, маркируются датой и временем измерения. Объем архивируемой информации – 1000 результатов измерений и 15000 промежуточных значений прочности.

Предусмотрена возможность ввода в программное устройство приборов характеристик индивидуальных градуировочных зависимостей, установленных пользователем (в приборах ИПС-МГ4.03 и ИПС-МГ4.01 – 20 и 9 соответственно). Ввод характеристик индивидуальных зависимостей производится с клавиатуры прибора и заключается в корректировке базовой зависимости по результатам параллельных испытаний бетонных образцов в прессе (либо методом отрыва со скалыванием) и прибором.

Корректировка базовой зависимости может производиться при числе точек корректировки от 1 до 9. Приборы имеют режим передачи данных на ПК, обеспечивающий математическую и статистическую обработку результатов измерения, экспорт в Excel, печать в табличном виде с указанием вводимых пользователем исходных данных, даты и времени измерения. Метрологические характеристики приборов обеспечиваются

эквивалентными мерами, аттестованными Госстандартом РФ, воспроизводящими прочность бетона в трех точках диапазона.

Прочность и долговечность железобетонных конструкций во многом зависят от обеспечения проектных значений защитного слоя бетона и диаметра арматуры. Определение параметров армирования производится на предприятиях сборного железобетона, на объектах строительства и при обследовании зданий и сооружений. Контроль в основном ведется приборами магнитного действия [8]. Приборы применяются также для определения мест приложения нагрузки при контроле прочности бетона методами отрыва со скалыванием и скалывания ребра конструкции.

СКБ Стройприбор производит два типа измерителей защитного слоя бетона: ИПА-МГ4 и ИПА-МГ5. Приборы обеспечивают определение защитного слоя бетона в конструкциях, армированных стержнями $\varnothing 6...40$ мм классов А-I и А-III и проволокой $\varnothing 3...6$ мм класса Вр-I в диапазоне защитных слоев 3...80 мм (ИПА-МГ4) и 3...150 мм (ИПА-МГ5).

Прибор ИПА-МГ5 позволяет выполнять измерения при неизвестном диаметре и защитном слое в диапазоне 5...50 мм, оснащен функциями уточнения базовых градуировочных характеристик при измерениях на арматуре других классов, установления и записи в программное устройство новых градуировочных зависимостей, установленных пользователем, маркировки измерений типом изделия из ряда (балка, колонна и т.п.), имеет режим передачи данных на ПК. Объем памяти прибора 1000 значений.

Точность натяжения арматуры является одним из основных факторов, определяющих жесткость и трещиностойкость предварительно напряженных конструкций и в конечном счете их долговечность и эксплуатационную пригодность. Обеспечение проектного усилия обжатия бетона достигается контролем силы натяжения арматуры преимущественно приборами, основанными на частотном методе и методе поперечной оттяжки [9]. Широкое применение на предприятиях сборного железобетона получили приборы ЭИН-МГ4 (частотный метод) и ДО-40МГ4 (ДО-60МГ4) (метод поперечной оттяжки на собственной базе), выпускаемые СКБ Стройприбор.

Прибор ЭИН-МГ4 обеспечивает

измерение напряжений в арматуре \varnothing 3...32 мм, длиной 3...18 м, в диапазоне напряжений 100...1800 МПа с пределом погрешности $\pm 3\%$. Прибор имеет функции автоматического расчета заданного удлинения арматуры, длины арматурной заготовки и корректировки расстояния между анкерными головками. Гарантируется высокая достоверность результатов измерений.

Прибор ДО-40МГ4 имеет собственную базу 300 мм и предназначен для контроля силы натяжения проволоочной арматуры \varnothing 3...6 мм в диапазоне усилий 2...45 кН на линиях по производству шпал, стоек ЛЭП, изделий непрерывного бетонирования.

Прибор ДО-60МГ4 имеет собственную базу 600 мм и предназначен для контроля проволоочной и канатной арматуры \varnothing 6...12 мм в диапазоне усилий 3...100 кН. Погрешность приборов типа ДО – не более $\pm 3\%$. Приборы имеют энергонезависимую память, автономное питание и интерфейс с ПК.

Библиографический список

1. ГОСТ 10180. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
2. ГОСТ 22690. Бетоны. Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля.
3. ГОСТ 28570. Бетоны. Методы оп-

ределения прочности по образцам, отобранным из конструкции.

4. Скрамтаев Б.Г., Лецинский М.Ю. Испытание прочности бетона. М., 1964, с.144-150.
5. Коревицкая М.Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций. М., 1989.
6. Лецинский М.Ю. Испытание бетона. М., 1980, с.135-146.
7. Рекомендации. Определение прочности бетона в конструкциях и изделиях методом вырыва анкера (МИ2016-03). М., НИИЖБ-ГП ВНИИФТРИ. 2003.
8. ГОСТ 22904. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.
9. ГОСТ 22362. Конструкции железобетонные. Методы измерения силы натяжения арматуры.

И.А.ПОДЛАСОВА, А.М.ГУСАКОВ, С.А.ТОМРАЧЕВ (Томский ГАСУ)

Внутренний массоперенос в бетоне конструкций, возводимых в зимних условиях

Для бетонных конструкций, возводимых в зимних условиях, проблема внутреннего массопереноса под действием температурного градиента актуальна, так как в построечных условиях исключить перепад температуры по сечению остывающих конструкций сложно. Хотя величина температурного градиента в большинстве случаев невелика (около 1,2-1,8 °С), вызванный им массоперенос способен существенно ухудшить характеристики структуры [1, 2]. Этот процесс наиболее опасен в ранний период выдерживания бетона. Когда связи между цементными частицами слабы, перераспределение поступающей из нагретых слоев конструкции влаги изменяет в сторону увеличения исходно равномерное водоцементное отношение охлажденных, как правило, поверхностных слоев. Последующее твердение при положительных температурах в изотермических условиях не создает обратного потока влаги. В результате структура охлажденных в ранний период слоев бетонной конструкции формируется с тем водоцементным отношением, которое сложилось в результате внутреннего массопереноса к моменту схватывания.

О снижении в результате внутрен-

ней миграции влаги плотности, пористости и прочности охлажденных слоев при раннем замораживании бетона говорится в работах [1-3]. В них же указывается на то, что существуют условия, которые влияют на интенсивность этого процесса. Так, например, известно, что тощие, с высоким водоцементным отношением (около $V/C=0,7$), смеси меньше реагируют на появление градиента температуры, чем жирные, с меньшими водоцементными отношениями, бетонные смеси. Согласно [3], механизм переноса влаги в бетоне – термокапиллярный, поэтому на него оказывает влияние марка цемента, от которой зависит размер капилляров свежееуложенной смеси. Вместе с тем остается неясным, возможен ли массоперенос при положительных температурах 0-60 °С, так как в работе [1] эксперименты производились с замораживанием, а в [3] – при температуре охлажденной зоны, близкой к 0 °С, и положительной температуре центральной части образца. Отсутствуют также данные о скорости перемещения влаги, в том числе в составах с добавками.

Задачами нашего исследования было установление экспериментальным путем количества и скорости миг-

рирующей влаги под действием градиента температуры в свежееизготовленных бетонных образцах при наличии и отсутствии льда в охлаждаемой зоне, в смесях с противоморозными и пластифицирующими добавками, составах на разных марках цемента и водоцементных отношениях.

Экспериментальные данные об изменении влажности по сечению реальных конструкций получали с помощью установки регулируемых температурных градиентов (рис. 1). Она позволяла через 40-60 мин после укладки смеси в стеклопластиковые (толщиной 10 мм) формы-призмы с внутренним размером 300x100x100 мм с металлическими торцами получать одномерное стационарное температурное поле по длине образца (рис. 2). Создавалось оно в горизонтальном направлении с целью достижения равных условий влияния градиента вдоль образцов. Спустя 4 ч неизотермического выдерживания (до схватывания цемента) из центральной части трех одновременно выдерживаемых образцов отбирали по 4-6 параллельных проб, влажность которых определяли высушиванием. Часть образцов после 4 ч одностороннего охлаждения помещали в нор-

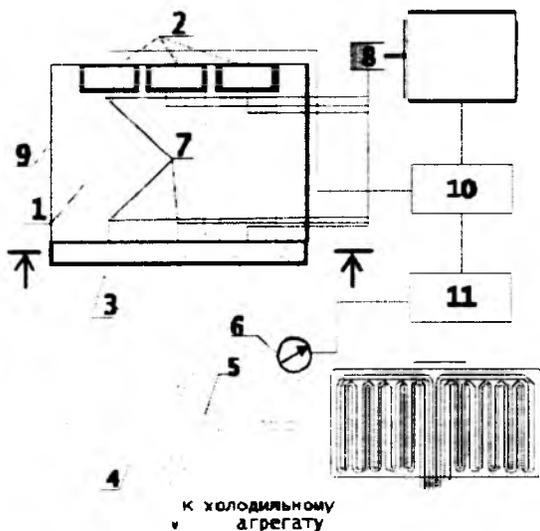


Рис. 1. Схема установки

1 – образцы; 2 – нагреватели; 3 – теплообменник; 4 – термостат; 5 – испаритель холодильного агрегата; 6 – насос; 7 – датчики температуры; 8 – АЦПУ; 9 – теплоизоляция; 10 – блок управления; 11 – источник питания

мальные условия твердения на 28 сут с последующим определением полойной плотности и капиллярной пористости структуры.

В отличие от экспериментов, проводимых с ранним замораживанием бетонных образцов [1], температуру охлаждаемого торца поддерживали такую, чтобы образец имел фиксированную толщину промерзшей зоны. Такое состояние бетона соответствует контакту свежееуложенной бетонной смеси с неотогретым основанием, опалубкой, арматурой или рабочим швом. При применении противоморозных добавок – состоянию остывающих слоев при температуре замораживания добавки, оптимальная концентрация которой соответствует 45-60 % льдистости по достижении температуры замораживания. В первом случае происходит нарушение требований [4], нередко происходящее в практике зимнего бетонирования, во втором – условия выдерживания с противоморозными добавками соответствуют нормативным [5].

В качестве исследуемых факторов рассматривались водоцементное отношение, наличие или отсутствие льда в охлаждаемой зоне, толщина промерзшей зоны, концентрация противоморозной и пластифицирующей добавок, марка цемента. Для

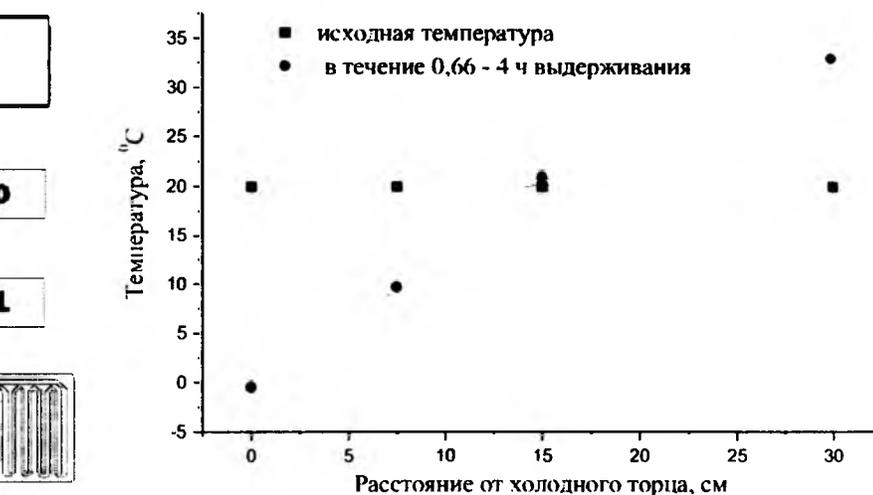


Рис. 2. Распределение температуры по длине образцов

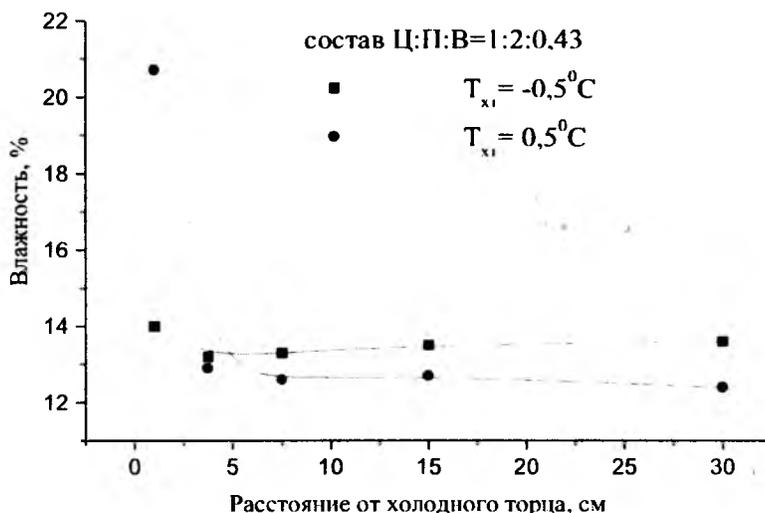


Рис. 3. Распределение влажности через 4 ч неизо термического выдерживания по длине цементно-песчаных образцов состава 1:2:0,43 на цементе М500 (здесь $T_{хт}$ – температура холодного торца)

определения скорости перемещения влаги измерение влажности производили через 2, 4 и 6 ч неизо термического выдерживания. Количество переместившейся влаги определяли отношением влажности пробы к начальному влагосодержанию смеси. Пример распределения влажности по длине охлаждаемых образцов показан на рис. 3.

Результаты (количество мигрирующей в охлажденную зону влаги через 4 ч неизо термического выдерживания образцов цементно-песчаных растворов на цементе М 500) для различных составов цементно-песчаной смеси приведены в таблице. Из нее видно, что существенное перемещение влаги в холодную зону получено только при условии присутствия в ней льда. Температура центра образца не превышала 20 °C, поэтому механизм переноса за счет повышения порового давления вряд ли возможен. Подтвердилось влияние водоцементного отношения: с его повышением коли-

вания образцов цементно-песчаных растворов на цементе М 500) для различных составов цементно-песчаной смеси приведены в таблице. Из нее видно, что существенное перемещение влаги в холодную зону получено только при условии присутствия в ней льда. Температура центра образца не превышала 20 °C, поэтому механизм переноса за счет повышения порового давления вряд ли возможен. Подтвердилось влияние водоцементного отношения: с его повышением коли-

№ п/п	Ц:П:В	Цемент	Добавка	Концентрация* добавки, %	Температура холодного торца, °С	Толщина промерзания, мм	Количество переместившейся влаги, %
1	1:2:0,4	M500	-	-	0	0	4,0
2	1:2:0,5	M500	-	-	0	0	2,0
3	1:2:0,7	M500	-	-	0	0	0
4	1:2:0,5	M400 Д20	-	-	0	0	1,06
5	1:2:0,5	M400 Д20	-	-	-1,5	20	26,0
6	1:2:0,45	Глиноземистый M500	-	-	-1,5	20	43,0
7	1:4:0,7	Глиноземистый M500	-	-	-1,5	20	41,3
8	1:2:0,5	ШПЦ М400	-	-	-1,0	10	57
9	1:2:0,7	ШПЦ М400	-	-	-2,0	20	53
10	1:2:0,4	M500	-	-	-1,0	10	64,0
11	1:2:0,5	M500	-	-	-1,0	10	57,0
12	1:2:0,7	M500	-	-	-1,0	10	9,0
13	1:2:0,48	M500	ХН	1,0	-1,0	10	24,5
14	1:2:0,48	M500	ХН	1,0	-1,5	20	31,0
15	1:2:0,48	M500	ХН	3,0	-1,5	10	18,5
16	1:2:0,48	M500	ХН	3,0	-2,0	20	27,0
17	1:2:0,37	M500	С-3	0,5	-1,5	10	45,5
18	1:2:0,37	M500	С-3	0,5	-2,0	20	51,0
19	1:2:0,37	M500	С-3	1,0	-1,5	10	9,0
20	1:2:0,37	M500	С-3	1,0	-2,0	20	35,0

* – концентрация противоморозной добавки указана по раствору, С-3 - по расходу цемента.

чество переместившейся воды уменьшается. Этот факт говорит о действии термокапиллярного механизма переноса, основанного на перемещении влаги вследствие разности поверхностных натяжений менисков капилляров различной температуры. Так как капиллярный потенциал находится в обратной зависимости от радиуса капилляров, то смеси с низким водоцементным отношением имеют большее значение потенциала, и как следствие, более интенсивный поток влаги в охлажденную зону. В пользу указанного механизма можно добавить зависимость, связанную с повышением дисперсности цемента: количество мигрирующей влаги в смесях со шлакопортландцементом, портландцементом М 400-500 выше, чем в смесях с М400.

Присутствие льда в охлажденной зоне дополняет механизм внутренней миграции влаги: процесс становится интенсивнее не только за счет пленочного течения из-за химического сродства с водой, но и вследствие вакуумно-фильтрационного механизма в зоне фазового перехода [6].

Увеличение толщины промерзшей зоны и понижение связанной с ней температуры холодного торца во всех случаях увеличивает количество переместившейся влаги. Однако, как показано на рис.3, последняя имеет

значение (-2,5 °С), ниже которого процесс массопереноса в холодную зону становится менее интенсивным. Видимо, это связано с количеством образующегося льда и пространства, свободного для заполнения поступающей влагой.

Как видно, существенное перераспределение влаги произошло только при частичном заморажива-

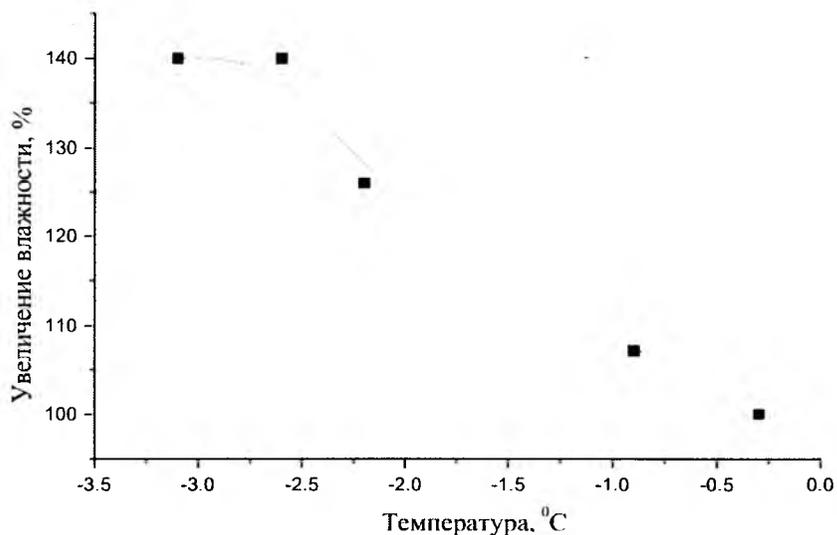


Рис. 4. Влияние температуры холодного торца на увеличение влажности охлажденного слоя (3,5 см от торца) тяжелого бетона состава 1:2:2,5:0,5 на цементе М 500

нии торца. При понижении температуры максимальное количество мигрирующей влаги в охлаждаемом составе тяжелого бетона наблюдается при температуре около -2,5 °С (рис. 4).

Скорость перемещения влаги (V , г/см²·с) определили по распределению влажности по длине образца через 2, 4, 6 ч по формуле

$$V_{TW} = \frac{J_{TW}}{\rho_B} = \frac{(\int \Theta dx)_{\tau_2} - (\int \Theta dx)_{\tau_1}}{\tau_2 - \tau_1}$$

где Θ – количество переместившейся влаги, %, τ – время температурного воздействия, с; x – расстояние от холодного торца, см.

Результаты определения скорости перемещения влаги на составах цементно-песчаных растворов с добавками представлены на рис. 5.

Как видно, добавки изменяют условия движения жидкости. Так, с ростом концентрации соли ХН в растворе увеличивается его плотность и вязкость. Сопротивление жидкости при движении её по капилляру возрастает, а общая скорость снижается (см.рис. 4).

Из рис. 5 следует, что количество переместившейся влаги с применением суперпластификатора С-3, В/Ц=0,37 по истечении 2, 4 и 6 ч в процентном соотношении больше, чем в бетонных смесях с добавлением соли.

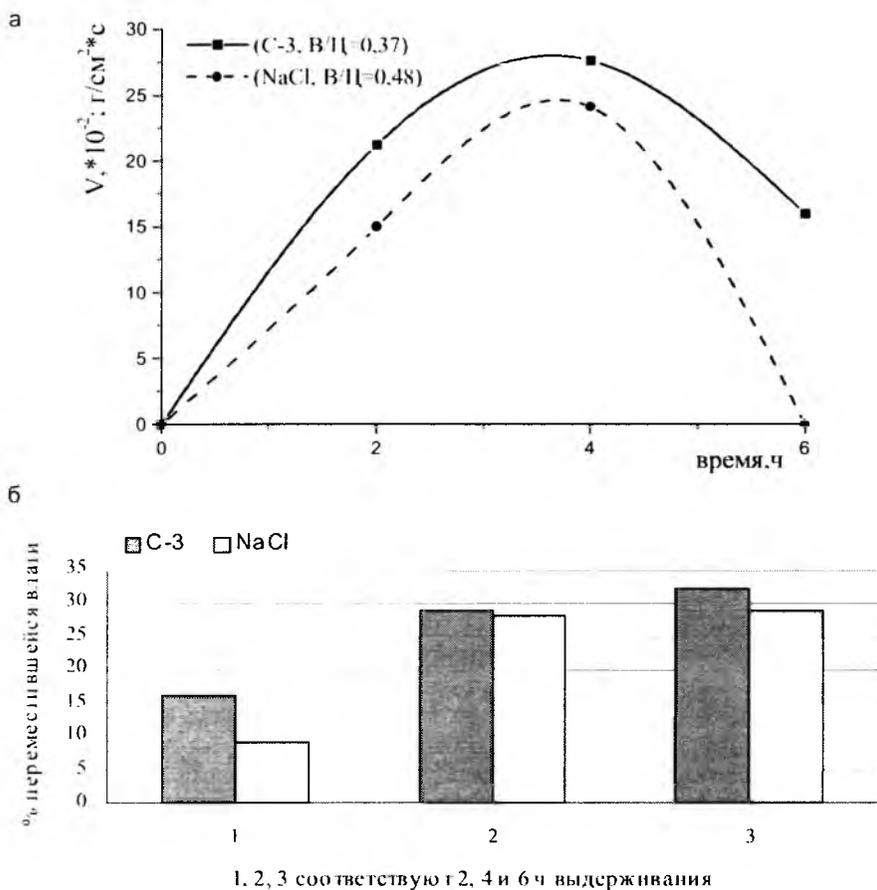


Рис. 5. Скорость (а) и количество (б) переместившейся влаги в свежееуложенном цементно-песчаном растворе

Полимеры С-3 повышают ζ -потенциал на поверхности цементных частиц, что увеличивает силы отталкивания их друг от друга. С ростом ζ -потенциала увеличивается толщина адсорбционных пленок, состоящих главным образом из анионов. Поэтому при прочих равных условиях свободной воды в системе цемент - вода - пластификатор меньше, и расстояние между цементными частицами, определяющими радиус капилляров, также меньше. Для характера протекания процесса массопереноса в смесях с пластификатором важны оба указанных фактора: увеличение толщины адсорбированной жидкости на поверхности частиц, повышающей сопротивление стенок капилляров, и уменьшение их радиуса за счет ослабления взаимодействия цементных частиц в результате более плотной их упаковки и снижения количества свободной жидкости. На уменьшение радиуса капилляра влияет диспергирующее действие пластификатора, что также

способствует образованию более мелких капилляров. Видимо, влияние второго фактора (уменьшение радиусов капилляров) оказывается сильнее, поэтому скорость течения, количество переместившейся в охлажденную сторону влаги в составе смеси с С-3 выше, чем в составе с солью.

После 4 ч температурного воздействия скорость перемещения влаги заметно снижается на обоих составах. В условиях отсутствия внутреннего и внешнего стока жидкости это означает переход распределения влажности системы в стационарную стадию и окончание процесса льдообразования на охлажденном торце образцов. В бетонной смеси с добавлением соли скорость движения влаги после 6 ч практически равна нулю. Это говорит о том, что в данных температурных условиях опасным, с точки зрения структурообразования поверхностных слоев бетона, является интервал от 0 до 4 ч выдерживания.

Выдержанные в неизотермичес-

ких условиях в течение 4 ч образцы затем помещали в нормальные условия твердения и хранили 28 сут. После этого из центральных и поверхностных зон отбирались пробы для определения плотности и капиллярной пористости образцов.

Последнюю оценивали по изображениям структуры, полученным методом растровой микроскопии при увеличении в 1000 раз. Анализ капиллярных пор одного образца производился по пяти изображениям скола образцов общей площадью $2,16 \cdot 10^5$ мкм². Количество снимков определяли опытным путем до повторяемости кривых распределения пор. Качество изображений определяет удовлетворительное количество пор (около 400) рассматриваемого диапазона на одном снимке. Минуя этапы обычной технологии фотографии, изображения из микроскопа при помощи устройства и программы передавались в оцифрованном виде непосредственно в компьютер. Расшифровку снимков поровой структуры производили при помощи программы обработки изображений цементного камня. Идентификация пор ею происходила по отношению к среднему (пороговому) уровню яркости темных замкнутых пятен.

Оказалось, что охлажденные в ранний период выдерживания слои мелкозернистого бетона имеют меньшую плотность и большую капиллярную пористость по сравнению с центральными слоями, которые перераспределились пропорционально влажности, сложившейся на период схватывания.

Выводы

1. Выполненные эксперименты на различных цементно-песчаных и составах тяжелого бетона показали, что независимо от состава необходимым условием перемещения влаги является образование льда в охлажденной зоне, сопровождающееся созданием температурного градиента.

2. Установлено, что химические добавки влияют, но не исключают перемещение влаги в охлажденную зону.

3. Изменение скорости массопереноса в течение 2-6 ч неизотермического выдерживания связано с достижением стационарного распределения влаги, соответствующего температурному полю, и окончанием процесса льдообразования на охлажденном торце образцов.

4. Определено, что массопере-

нос в свежееуложенном бетоне необратимо уменьшает плотность и пористость охлажденных в ранний период слоев.

Библиографический список

1. Лагойда А.В. О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте//Бетон и железобетон. – № 6. – 1996. – с. 7-10.

2. Михайличенко В.М., Козлов А.Д. Исследование влажности бетона монолитных конструкций, выдерживаемых в зимних условиях // Деп. рукопись во ВНИИ НТПИ. – № 11214 от 15.04.1992.-8 с.

3. Лагойда А.В., Гныря А.И., Дудка Б.В., Саркисов Ю.С., Подласова И.А. Прогнозирование внутреннего неизотермического массопереноса на начальном этапе выдерживания бетона//Бетон и железобетон. – № 3. – 1996. – с. 7-11; № 4, 1996. – с. 8-12.

4. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции/ Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 1998. – 192 с.

5. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками. – М.: Стройиздат, 1978. – 81 с.

6. Фельдман Г.М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск: Изд-во "Наука", 1988. – 257 с.

Ю.Д.БУЯНОВ, О.Е.ХАРО, Г.Р.БУТКЕВИЧ, Н.С.ЛЕВКОВА (ФГУП «ВНИПИИстромсырье»)

Перспективы улучшения качества заполнителей для бетона

Объем производства нерудных строительных материалов (НСМ) в РФ в 2004 г., по данным Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, составил 214, 360 млн. м³. По сравнению с 2003 г., рост производства равен 1,7%. В настоящее время в России действует около 3000 предприятий, которые производят 70% объема всех добываемых в строительной отрасли полезных ископаемых. Производители НСМ эксплуатируют месторождения различных видов горных пород; в том числе изверженных, карбонатных и метаморфических, песчано-гравийных и песчаных. Однако эти месторождения распределены крайне неравномерно. Месторождений песчано-гравийных пород нет в 14 субъектах Российской Федерации, строительных песков – в 11, изверженных и карбонатных пород в 8 [1]. Большими запасами изверженных пород обладают Ленинградская область, Карелия, Уральский регион. В Центральной части Европейской территории – одно предприятие ОАО "Павловскгранит", выпускающее гранитный щебень, поэтому в центр и южные районы импортируется еще около 2 млн. м³ щебня из изверженных пород с Украины и Белоруссии.

Гравийно-песчаные и песчаные месторождения распространены в основном в европейской части РФ и отсутствуют в большинстве районов Сибири.

Основные объемы НСМ в настоящее время направляются на строительство автодорог и производство

сборного бетона и железобетона и готовых бетонных смесей для монолитного строительства. Потребность в этих материалах на 2005 г., по экспертным оценкам ведущих институтов, приведена в таблице.

чески не применяются песчано-гравийные смеси, их выпуск снизился с 20 до 13%, необходимых для дорожного строительства. Эти процессы связаны также и с истощением запасов песчано-гравийных пород и с вов-

Направление использования	Потребность, млн. м ³				Доля потребления, %	Организация, представившая данные
	Всего	В том числе				
		Щебень	Песок	ПГС		
Строительство дорог	118	42, из них 50% изверженных пород	63	13	50,2	ФГУП "СоюздорНИИ"
Производство бетона и железобетона	94	54	40	-	40	НИИЖБ
Балластировка железнодорожных путей	23	23	-	-	9,8	Гипротранспуть ОАО "РЖД"
Итого:	235	119	103	13	100	

Таким образом, по данным экспертов, в 2005 г. потребность в щебне составляет 51%, в песке 44%, в ПГС-13%. Значительные изменения происходят в номенклатуре производства НСМ: значительно выросла доля объема производства щебня (более 50%), прежде всего за счет щебня из изверженных горных пород.

Сократились поставки гравия и щебня из гравия. Для бетона практи-

чески не применяются песчано-гравийные смеси, их выпуск снизился с 20 до 13%, необходимых для дорожного строительства. Эти процессы связаны также и с истощением запасов песчано-гравийных пород и с вов-

лечением в эксплуатацию месторождений с пониженным содержанием гравия и валунов до 30-35% [2].

Более 80% основных производителей в Европейской части РФ поставляют для сборного и монолитного строительства смесь фракций от 5 до 20 мм. Требования современного строительства определяют необходимость повышения качества продукции, улучшается форма зерен щебня (66% от

объема щебня из изверженных пород относится к 1-3 группе), до 10-25% зерен пластинчатой и игловатой формы, повышается спрос на узкие фракции щебня и песка. Фракции щебня от 5 до 10 мм и свыше 10 до 20 мм могут по заказу потребителей выпускать многие предприятия, эксплуатирующие месторождения изверженных и гравийно-песчаных пород, на рынке появились фракционированные природные пески и пески из отсевов дробления. Новые типы отечественного и зарубежного оборудования позволяют получать заполнители для бетонов и растворов, в том числе сухих строительных смесей заданного зернового состава.

Известно, что самым крупным потребителем НСМ и соответственно производителем сборного бетона, железобетона и бетонных смесей для монолитного строительства являются Москва и на втором месте Санкт-Петербург. Москва совокупно для разных видов строительства использует около 20 млн. м³ НСМ, что составляет примерно 10-ю часть всех добываемых НСМ в России. По данным проведенного опроса основных производителей, в Москву поступает 40% щебня из изверженных пород, около 15% щебня из гравия, 39% песка и 6% щебня из карбонатных пород.

Следует отметить, что замена щебня из карбонатных пород и гравия щебнем из изверженных пород зачастую совершенно не оправдана с точки зрения его использования. Для бетонов наиболее распространенных классов В20 (М250) и В25 (М350) нет необходимости применять щебень марок по прочности 1200-1400. НСМ из изверженных пород являются дальнепривозными, и потому цена этой продукции в значительной мере определяется транспортными расходами. Заметную роль в повышении стоимости строительства и удорожании производства бетона и железобетона сыграли условия поставки. Железная дорога – один из крупнейших монополистов ежегодно (а иногда и посезонно) увеличивает тарифы на перевозку, в т.ч. и по Ленинградской области. На 1.01.05 г. тариф для ряда предприятий области составил 350 руб/м³, что более цены щебня франко-склад в 1,3 раза. Кроме того, возросла и дальность транспортирования на 450 км за счет перехода на путь Санкт-Петербург - ст. Кошта Северной дороги – Москва. Неудивительно, что цены на гранитный щебень пяти крупных производителей Ленинградской

области становятся более высокими, чем цены на поставки щебня с Украины и Белоруссии.

Дополнительному удорожанию этого щебня способствует “ажитажный” спрос на щебень с улучшенной формой зерен, условно именуемый щебнем “кубовидной” формы. Щебень узких фракций кубовидной формы применяется для устройства верхних слоев асфальтобетонных покрытий при строительстве и ремонте дорог федерального значения или для больших городских транспортных магистралей, для производства высокопрочных или специальных видов бетонов.

В то же время о массовом применении этого щебня свидетельствуют данные основных производителей: ими уже сегодня производится около 60% щебня 1-3 группы. В ГОСТ 8267-93 на щебень из плотных горных пород приведена таблица, включающая 5 групп щебня с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы от 10 до 50% по массе и по согласованию с потребителем – до 65% по массе; в ГОСТ 26633-91 на бетоны тяжелые и мелкозернистые допустимая норма ограничена 35%, которая подтверждена большим объемом исследований, проведенных институтом “ВНИПИИстромсырье”. Сравнение указанных требований с требованиями нового европейского стандарта CEN EN 12620 “Заполнители для обычного и мелкозернистого бетона”, утвержденного 20-ю странами, показало, что допускается применение щебня с содержанием указанных зерен от 15% до 50%, и вводятся также категории щебня с более 50% и с декларированным высоким содержанием или без требований к этому показателю, что определяется условиями применения.

Следовательно, наши нормы даже более жесткие, чем принятые европейцами для заполнителей бетона. Несмотря на это некоторые потребители необоснованно стараются приобрести именно “кубовидный” щебень, хотя цена его возрастает в связи с увеличением объемов добываемого сырья и ростом объема отсевов дробления щебня в 1,5 и более раза. Известно, что стоимость щебня составляет примерно 1/3 от стоимости остальных материалов в железобетонных конструкциях, следовательно ориентация на дорогой щебень приводит к неоправданному удорожанию продукции ЖБИ и соответственно строящихся объектов. К сожалению,

для некоторых потребителей с широкой номенклатурой изделий из бетона и железобетона получение столь дорогих заполнителей диктуется отсутствием площади под склады заполнителей для различных видов щебня.

Объемы поставок щебня из гравия практически в 2,7 раза меньше, чем щебня из изверженных пород, хотя эта продукция поставляется в основном из Московской и смежных областей (средний радиус перевозок 250 км против 1000 км для щебня из изверженных пород и около 300 км из карбонатных пород). Сокращение спроса на щебень из гравия, который с середины прошлого века считался наиболее востребованным в качестве крупного заполнителя, связано с возможным присутствием в нем аморфных разновидностей диоксида кремния. В то же время экономически целесообразно его применение для средних и низких марок бетона. Разрушение бетона из-за взаимодействия щелочей цемента с аморфными разновидностями диоксида кремния – до конца не исследованный процесс. Возможности устранения такой реакции реальны, в первую очередь она связана с повышенным содержанием щелочей в цементе: допустимой утвержденной нормой считается 0,6%, при которой реакция уже не опасна. Однако если раньше при производстве цемента активно использовались кремнеземистые добавки, золы и шлаки, которые связывали щелочь на ранних стадиях твердения, то в настоящее время значительно возрос выпуск бездобавочных цементов, более дорогих и соответственно выгодных производителям.

Сошлемся на новый европейский стандарт CEN на цементы – из 27 видов цементов (основной продукции) только один является бездобавочным. Задача исследователей – разработать эффективные меры, позволяющие и в бетонах снизить риск возникновения этой реакции.

Минерально-сырьевая база НСМ истощается, ее запасы постоянно снижаются при неуклонном росте отходов (отсевов дробления), связанных с ростом объемов производства. Вопросы комплексного использования сырья и местных, в ряде случаев нетрадиционных видов сырья, требуют ускоренного решения. Особенно тревожны возросшие потери изверженных пород при нарастающих объемах их добычи. Отсевы дробления щебня из этих пород сложили уже немало

техногенных месторождений, наносящих непоправимый вред окружающей среде. То же самое можно сказать об отходах, получаемых при производстве щебня из гравия и из карбонатных пород. По оценкам ФГУП "ВНИПИИстромсырье", ежегодно образуется 28-35 млн. м³ отсевов, из которых 12-15 млн. м³ составляют отсевы из изверженных пород и около 16-20 м³ из карбонатных пород [3].

К ним следует добавить пески гидроотвалов, образующиеся на предприятиях по выпуску мытого гравия и щебня из гравия. В гидроотвалы попадают мелкие пески и пески из отсевов дробления гравия. Проведенное ранее детальное изучение песков гидроотвала "Сычевского ГОКа" показало, что путем обогащения (промывки) могут быть получены наиболее востребованные для производства бетона средние пески первого класса, отвечающие всем требованиям строительных и дорожных ГОС-Тов. Такие пески успешно используют для приготовления растворов, сухих строительных смесей, песчаных бетонов, пено – и газобетонов.

Исследования последних лет, проведенные в институте, показали, что при переработке сырья техногенных месторождений, сложенных отсевами дробления щебня из изверженных пород, можно выделить до 10-15% щебня фракций от 3 до 10 мм или от 5 до 10 мм и получить песок из отсевов дробления, который может быть с успехом использован в качестве мелких заполнителей. Песок из отсевов дробления может быть применен совместно с природным или раздельно, а также разделен на фракции или смеси фракций по требованию потребителей.

Песок из отсевов дробления щебня из карбонатных пород может быть использован в качестве мелкого заполнителя в растворах и бетонах различного назначения, если он отвечает требованию ГОСТ 8736-93 "Песок для строительных работ. Технические условия" или служит укрупняющей добавкой к мелким пескам.

Однако этими известными предложениями не исчерпываются возможности использования отсевов дробления щебня. Требования современного строительства обуславливают необходимость применения фракционированных материалов. Фракционирование природных песков и песков из отсевов позволяет обеспечивать постоянство зернового состава, плотность и прочность конечного про-

дукта в соответствии с рецептурами современного производства за счет точного дозирования компонентов и снижения расхода более дорогого вяжущего. Кроме того, узкие фракции песков из различных видов горных пород находят широкое применение при производстве многих строительных материалов и в других отраслях промышленности.

Основным условием расширения областей применения фракционированных материалов являются комплексные исследования их свойств, включающие минералого-петрографический и химический состав каждой фракции. Щебень из изверженных пород, так же, как и отсевы дробления, обладающие теми же ценными свойствами, что и породы (однородностью, прочностью, морозостойкостью и долговечностью) можно условно разделить по наиболее распространенным вещественным составам на кислые и основные. Комплексное исследование 5 фракций отсевов дробления щебня (2,5-5 мм, 1,25-2,5 мм, 0,63-1,25 мм, 0,315-1,25 мм) габбро-диабазы Круторожинского месторождения – основной породы и гранита месторождения "Кузнечное" – кислой породы, а также пылевидной составляющей (частиц менее 0,16 мм) дало возможность определить наиболее эффективные области их применения [4].

Особый интерес ко всем видам изученных отсевов проявляет производство сухих строительных смесей (ССС). 2/3 объема СССР составляют песчаные фракции. Маркетинговые исследования, проведенные ФГУП "ВНИПИИстромсырье" в Московском регионе, дали возможность оценить потребность в песках для производства СССР, которая составляет более 350 тыс.т. Сегодня это одно из наиболее быстро развивающихся производств строительных материалов. Опрос производителей СССР подтвердил намерения ряда фирм опробовать в своих рецептурах песчаные фракции из отсевов дробления щебня из изверженных, метаморфических и карбонатных пород [5].

Кроме того, на основании полученных результатов даны рекомендации о целесообразности в зависимости от вещественного состава использования отдельных фракций или их смесей в производстве бетонов, растворов, кровельных материалов, керамических изделий. Фракционированные пески из карбонатных пород также могут быть эффективно исполь-

зованы при производстве бетонов, растворов, СССР, а также асфальтобетонов, использующих мелкие карбонатные заполнители и минеральный порошок.

Изучение пылевидной составляющей отсевов (0,16 мм) также свидетельствует о широких возможностях использования ее в качестве наполнителей. Тонкомолотые дисперсные наполнители различной минеральной природы значительно изменяют реологические и структурно-механические свойства СССР. Введение наполнителей из карбонатных пород (мрамора, известняка) может значительно улучшить прочностные и деформативные характеристики материалов, а использование молотых изверженных горных пород с удельной поверхностью 2000 – 2800 см²/г улучшает удобоукладываемость растворов, повышает водоудерживающую способность, снижает расход вяжущего от 5 до 20%, улучшает адгезионные свойства. Возрастает интерес и к цветным наполнителям, которые готовят сегодня в основном из мрамора и белых известняков.

Пылевидная составляющая из отсевов дробления щебня позволяет не производить специальный помол горных пород, она может быть извлечена из аспирационных систем при производстве НСМ или получена путем отсева на современном оборудовании, разделяющем пески на фракции размером и до 10 микрон.

Использование фракционированных песков из различных видов горных пород позволит использовать местное дешевое сырье, снизить транспортные расходы, а соответственно и себестоимость многих видов продукции, и решить ряд важнейших экологических проблем, связанных с образованием многотоннажных отходов производства нерудных строительных материалов.

К выпуску фракционированных песков уже приступили передовые предприятия отрасли, такие как ЗАО "Мансуровское карьероуправление", ОАО "Гранит-Кузнечное", ОАО "Орское карьероуправление", ОАО "Павловскгранит" и другие. Однако номенклатура этих материалов должна быть значительно расширена, и если пока типовые заводы ЖБИ имеют ограниченные возможности складирования различных фракций крупных и мелких заполнителей, то для иностранных фирм, работающих в России, оснащенных современным технологичес-

ким оборудованием, предпочтительны фракционированные заполнители.

Предприятия промышленности НСМ сегодня модернизируются и реконструируются, и для того, чтобы полностью обеспечить промышленность сборного бетона и железобетона, а также монолитное строительство высококачественными заполнителями, необходим прогноз требований к ним в обозримом будущем и предполагаемые объемы потребности заполнителей из различных видов пород.

Библиографический список

1. Буянов Ю.Д., Лопатников М.И. Минерально-сырьевая база промышлен-

ности строительных материалов и основные вопросы ее развития // XI Международная конференция "Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов", 7-9 сентября 2004г. Сборник докладов. – Санкт-Петербург. – 2004. – С.9-18.

2. Буткевич Г.Р. Промышленность нерудных строительных материалов: достигнутое и перспективы // Строительные материалы. – 2003. - №11. – С. 2-5.

3. Харо О.Е., Левкова Н.С., Горностаева Т.А. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов // Строительные материалы. – 2003. - №9. – С.18-19

4. Левкова Н.С., Горностаева Т.А. Оценка свойств отсевов дробления щебня из изверженных горных пород // XI Международная конференция "Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов", 7-9 сентября 2004г. Сборник докладов. – Санкт-Петербург. – 2004. – С.61-65.

5. Левкова Н.С., Горностаева Т.А. Фракционированные пески и наполнители из различных видов горных пород для производства сухих строительных смесей // 5-я Международная научнотехническая конференция "Современные технологии сухих смесей в строительстве "MixBUILD" 2-4 декабря 2003г. Сборник докладов. – Санкт-Петербург. – 2003. – С.31-33.

И.Ф.РУДЕНКО (НИИЖБ)

Эффективность использования цемента в бетонах с учетом их потребительских свойств

В условиях отсутствия дефицита цемента и широких предложений на его поставку производителя бетона и железобетона интересует минимизация стоимости его в деле. Наряду с анализом цен на цемент поставщика и транспортных затрат на его доставку производитель может сделать прогноз сопоставления расхода цемента на единицу продукции с учетом технологических параметров твердения бетона, требуемых характеристик его прочности и формовочных свойств смеси.

Для определения эффективности технических характеристик цемента в бетонах предлагались три коэффициента. Первый характеризовался отношением требуемой прочности бетона к расходу цемента, второй (так называемый коэффициент активности цемента при пропаривании) предлагался в виде отношения прочности, достигаемой цементным раствором стандартного состава при стабилизированном режиме ТВО в суточном возрасте, к его прочности при естественном твердении в 28-суточном возрасте. Первый коэффициент не может дать сравнительные характеристики расходов различных цемента, поскольку носит общий характер без учета их водопотребности и активности. Второй, качественно характеризует кинетику твердения при ТВО,

также не учитывает его водопотребность и соответственно расход цемента в бетонной смеси.

Наконец, третий коэффициент учитывал водопотребность цемента и его активность, определяемую в 28-суточном возрасте. Он был получен [1] в виде прогнозируемого изменения прочности бетона R_6^{28} при использовании тех или иных видов цемента с учетом прочности $R_{6см}^{28}$, достигаемой при принятом за эталонный цемент, имеющий активность $R_{ц,см}^{28} = 40$ МПа и НГЦТ_{ст} = 24 %

$$K_{эф} = \frac{R_6^{28}}{R_{см}^{28}} = \frac{R_{ц}^{28} A \left(\frac{1}{НГЦТ} - C \right)}{R_{цсм}^{28} A \left(\frac{1}{НГЦТ_{см}} - C \right)} = \frac{R_{ц}^{28} \cdot 24}{40 НГЦТ} = 0,6 \frac{R_{ц}^{28}}{НГЦТ} \quad (1)$$

Ожидаемый расход цемента при заданных жесткостях смеси и прочности бетона должен быть обратно пропорционален этому коэффициенту, т.е. чем он больше, тем расход цемента меньше. Представим расход цемента в виде

$$Ц = \frac{f(J, R_6^{28})}{K_{эф}} = \frac{\alpha_1}{K_{эф}} (кз) \quad (2)$$

Справедливость уравнения (2) подтверждается данными работы [2], в которой с использованием методов планирования эксперимента определяли расход цемента для обеспечения проектной прочности бетонов нормального твердения в зависимости от жесткости смеси, нормальной густоты цементного теста и активности цемента.

Рассмотрим возможность корректировки упомянутого выше первого коэффициента, представив его в виде

$$\frac{R_6}{Ц} = \alpha_2 K_{эф} \quad (3)$$

Здесь α_2 - коэффициент, определяемый удобоформуемостью смеси, видами заполнителей, возрастом и условиями твердения бетона.

Решая совместно (2) и (3), получим

$$\alpha_2 = \frac{R_6}{\alpha_1} \quad (4)$$

В табл. 1 приведены значения α_2 с учетом данных, опубликованных в [2].

Из табл. 1 следует, что α_2 определяется только жесткостью смеси и не зависит от прочности бетона. Тогда уравнение расхода цемента можно представить в виде

$$Ц = \frac{R_6^{28}}{\alpha_2 (Ж) K_{эф}} = \frac{R_6^{28} \cdot НГЦТ}{\alpha_2 (Ж) \cdot 0,6 R_{ц}^{28}} \quad (5)$$

Таблица 1

Ж _с	R _б ²⁸ , МПа				Среднее	Козф. вариации V _м , %
	32,5	40	50	57		
5	0,094	0,087	0,091	0,086	0,09	4,3
10	0,102	0,098	0,102	0,097	0,1	2,4
15	0,108	0,108	0,114	—	0,11	3,2
23	0,123	0,114	0,12	—	0,12	4,4

Эту закономерность можно развить, учитывая применение ТВО с использованием предложенного второго коэффициента – активности при пропаривании, представив его в виде

$$K_{эф.л} = \alpha_1^n \cdot 0,6 \cdot \frac{R_{б}^{пр}}{НГЦТ} = \alpha_1^n \cdot 0,6 \cdot \frac{R_{б}^{28} K_{п}}{НГЦТ} = K_{эф} \cdot K_{п} \quad (6)$$

Тогда

$$Ц = \frac{R_{б}^{пр}}{\alpha_2^{пр} (Ж) K_{эф.л}} \text{ кг/м}^3$$

$$\text{где } \alpha_2^{пр} = \frac{R_{б}^{пр}}{\alpha_1^{пр}} \quad (7)$$

Возможность использования этих уравнений была сопоставлена с данными работы [3], в которой приведены сведения по R_ц²⁸, R_ц^{пр} в суточном возрасте и НГЦТ 60 видов цемента, изготовленных на 28 заводах, их расходы в бетонах с указанием прочностей бетонов естественного твердения в 28-суточном возрасте и в суточном после пропаривания. Бетоны изготавливались из смесей с ОК = 2-3 см и 5-7 см.

Пользуясь этими данными, определяли: K_{эф} по уравнению (1), K_{эф.л} – по (6), α₁ и α₂^н – соответственно из (5) и (7) по фактическим расходам цемента и прочностям бетонов. Приняв средние значения α₂ и α₂^н, определяли расчетные расходы цемента. Коэффициенты вариации отклонений фактических расходов цемента от расчетных составили: при применении смесей с ОК = 2-3 см, вычисленные по уравнениям (5) и (7), соответственно 15,9 и 15,1%, а при ОК = 5-7 см – 14,2 и 13%.

Изложенное показывает возможность комплексной оценки свойств цемента, проявляемых при изготовлении бетонов, с учетом как их водопотребности, так и активности.

Широкое практическое применение предлагаемых зависимостей для

строгой количественной оценки расходов цемента требует проведения дополнительных исследований, направленных на их уточнение, поскольку сделанный анализ базировался на данных, не охватывающих весь спектр формовочных свойств смеси, прочностных характеристик вяжущих и бетонов, в том числе достигаемых в раннем возрасте, при разных температурно-влажностных условиях твердения, при применении различных модификаторов бетона – ускорителей твердения, пластификаторов и др.

Вместе с тем качественную оценку возможных расходов цемента можно выполнять, принимая за основу проектную прочность бетонов, а также их распалубочную и передаточную прочность, в том числе в условиях применения тепловой обработки [4].

Для такой оценки предприятию-потребителю следует, определив характерные для него коэффициенты α₂ или α₂^н (учитывающие особенности его технологии) по фактическим расходам цемента одной партии (или нескольких) и их коэффициентах активности при пропаривании, сравнить возможные расходы других видов цемента, имеющих гарантированные поставщиками характеристики НГЦТ, R_ц²⁸ и K_п. Отношения K_{эф} и K_{эф.л} возможных к использованию цемента к K_{эф} и K_{эф.л} применяемых позволяют определить возможную при этом экономию или перерасход цемента.

В качестве примера рассмотрим два варианта определения расхода цемента для бетонов: естественного твердения и с применением ТВО. Примем за аналог данные примеров подбора составов бетона, приведенные в [3].

Для бетонов естественного твердения определялся состав, обеспечивающий прочность бетона 30 МПа в возрасте 28 сут на цементе с R_ц = 400 кг/см² и НГЦТ = 26%. Смесь с ОК = 7 см, расход цемента = 329 кг.

Та же проектная прочность требовалась для бетона, подвергнутого ТВО, но с обеспечением отпускной

прочности 21 МПа. Цемент тот же, активность при пропаривании – 29,5 МПа. Смесь имела ОК = 3 см, расход цемента = 363 кг.

Для первого примера находим

$$K_{эф} = 0,6 \frac{40}{20} = 0,92$$

$$\text{и } \alpha_2 = \frac{30}{329 \cdot 0,92} = 0,099$$

$$\text{Для второго} - K_{эф.л} = \frac{29,5}{40} = 0,74$$

$$\text{и } \alpha_2^n = \frac{21}{363 \cdot 0,92 \cdot 0,74} = 0,085$$

В табл. 2 приведены расчетные данные по расходу нескольких видов цемента заводов Центрального региона с использованием найденных α₂ и α₂^н.

Здесь же указаны сравнительные расходы цемента для достижения отпускной прочности пропаренного бетона 21 МПа при ОК смеси 3 см (пример 1) и бетона нормального твердения прочностью 30 МПа при ОК = 7 см (пример 2).

Из табл. 2 следует:

- при применении цемента марки 500 и ТВО минимальный расход получен на Белгородском ПЦ 500-ДО, максимальный – на Брянском ПЦ 500-Д20. По сравнению с аналогом, экономия 35% Белгородского и перерасход Брянского примерно 21%. Применение первого вместо Брянского может обеспечить до 46% экономии цемента. Расходы Липецкого и Михайловского ПЦ 500-ДО одинаковые, хотя они имеют разные коэффициенты пропаривания K_п. Это объясняется разной водопотребностью цемента;

- при применении цемента марки 400 и ТВО минимальный расход получен на Воскресенском ПЦ 400-ДО, максимальный – для цемента того же завода ПЦ 400-Д20 с добавкой трепела, значительно повышающего НГЦТ. Экономия по сравнению с аналогом ≈ 27%, перерасход ≈ 21%;

- при естественном твердении минимальный расход цемента марки 500 – на Брянском ПЦ 500-ДО, максимальный – на Воскресенском ПЦ 500-Д20Б. Экономия по сравнению с аналогом – 22%, перерасход = 25%. Здесь отметим, что Брянский цемент требует наибольшего расхода при применении ТВО;

- при естественном твердении минимальный расход цемента марки 400 на Щуровском ПЦ 400-Д20, максимальный – на Воскресенском

Таблица 2

Вид цемента	Источник информации	НГЦТ, %	K _{эф}	K _n	Вид добавки	Расход цемента кг/м ³	
						пример 1	пример 2
Белгородский							
ПЦ500-ДО	[5]	24,27	1,24	0,77	–	236	269
ПЦ400-Д20	То же	24,69	0,97	0,74	шлак	311	343
ПЦ500-ДО-Н	- " -	24,31	1,23	0,77	–	236	271
ШПЦ-400	- " -	25,33	0,95	0,74	шлак	318	350
ПЦ400-Д20	- " -	25,25	0,95	0,70	шлак	333	350
ПЦ600-ДО	- " -	25,5	1,41	0,705	–	225	236
Брянский							
ПЦ500-Д20	[2]	26,5	1,13	0,45	трепел	440	296
ПЦ500-ДО	То же	23,0	1,3	0,42	–	408	256
Воскресенский							
ПЦ400-Д20	[2]	29,5	0,81	0,63	трепел	438	411
ПЦ400-ДО	То же	25,5	0,94	0,90	–	264	354
ПЦ500-Д20-Б	- " -	30,75	0,98	0,75	трепел	301	340
Липецкий							
ПЦ500-ДО	[5]	26,4	1,15	0,69	–	282	290
ПЦ400-ДО	То же	25,92	0,99	0,72	–	313	336
ПЦ400-Д20	- " -	26,23	0,92	0,69	шлак	351	362
ПЦ400-Д20-Б	- " -	26,27	1,04	0,765	шлак	280	320
Михайловский							
ПЦ400-ДО	[2]	24,5	0,98	0,72	–	317	340
ПЦ500-ДО	То же	24,5	1,22	0,65	–	281	273
Щуровский							
ПЦ400-ДО	[5]	23,93	1,0	0,67	–	333	333
ПЦ400-Д20	То же	23,92	1,05	0,65	–	327	317
ПЦ400-Д20-Б	- " -	24,43	0,98	0,67	–	340	340

ПЦ400-Д20. Экономия в данном случае, по сравнению с аналогом, небольшая ($\approx 2\%$), перерасход $\approx 26\%$. Но расход Щуровского цемента, по сравнению с Воскресенским, примерно на 25% меньше.

Библиографический список

1. Руденко И.Ф., Селиванова С.А. и др. К оценке эффективности использования цемента в бетоне. Сб. трудов НИИЖБ Технология виброформования железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1970.
2. Михайлов В.В., Соркин Э.Г. О математической модели жесткости бетонной смеси//Бетон и железобетон. – №6. – 1969.
3. Каталог основных строительно-технических свойств цемента, Концерн "Цемент", М, 1990.
4. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006 – 86). М. ЦИТГ, 1990.
5. Справочник Качество продукции цементных заводов России и ближнего зарубежья за 2001 – 2002 год, ЗАО "НИИ Гипроцемент-Наука", Санкт-Петербург, 2003.

В АНО «Секция «Строительство» Российской инженерной академии» можно приобрести книгу:

«Системные подходы к определению цен и управление стоимостью в строительстве». Справочное пособие с методиками и примерами расчетов. Авторы: академик РИА и МАИЭС, д.т.н., проф. Резниченко В.С. и инженер-экономист Ленинцев Н.Н.

В книге изложены:

- ♦ проблемы ценообразования в строительном комплексе Российской Федерации;
- ♦ организационно-экономические направления снижения стоимости строительства;
- ♦ зарубежный опыт ценообразования в строительстве;
- ♦ порядок разработки сметной документации в современных экономических условиях;
- ♦ содержание и пути совершенствования сметной нормативной базы;
- ♦ методика прогнозной оценки стоимости строительства в текущих ценах;

♦ методики формирования смет с применением ресурсного, ресурсно-индексного и ресурсно-ранжированного методов;

- ♦ рекомендации по совершенствованию оценки стоимости материальных ресурсов;
- ♦ рекомендации по совершенствованию оценки стоимости эксплуатации строительных машин и механизмов;
- ♦ рекомендации по совершенствованию методов оценки оплаты труда рабочих;
- ♦ рекомендации по оценке затрат на содержание службы заказчика;
- ♦ программные комплексы по оценке стоимости строительства.

Объем книги – 465 стр., книга издана ограниченным тиражом.

**Контактные телефоны: (095) 174-75-67,
174-75-80, 171-43-74**

Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Научное издание. – М.: Стройиздат, 2004 – 144 с. с иллюстрациями.

Впервые в отечественной практике выпущена книга по усилению железобетонных конструкций композиционными материалами нового поколения. Рассмотрены основы проектирования и технология усиления железобетонных конструкций современными композиционными материалами на основе углеродных, арамидных и стекловолокон.

Изложены основные преимущества применения композиционных материалов для усиления железобетонных конструкций по сравнению с другими способами усиления. Даны базовые положения по проектированию усиления изгибаемых железобетонных конструкций по первой и второй группам предельных состоя-

ний. Приведена технология усиления различных железобетонных конструкций. Освещены вопросы качества, требования к исходным материалам и условиям проведения работ, а также даны рекомендации по мониторингу усиливаемых конструкций.

Проанализирован зарубежный и отечественный опыт работы по усилению элементов различных сооружений композиционными материалами, в том числе накопленный авторами. Даны примеры усиления различных железобетонных сооружений.

Книга предназначена для специалистов в области проектирования, ремонта и реконструкции зданий и инженерных сооружений.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в ЗАО «Триада-Холдинг» по телефонам: 946-32-76; 946-33-92; e-mail: trhold@comail.ru

Книга о гидроизоляции подземных сооружений

Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: Учебн. пособие. – Тверь: Изд-во «Русская торговая марка», 2003. – 398 с.: 110 ил.

Настоящая книга является единственным в данной области учебным пособием, в котором вопросы гидроизоляции рассматриваются как комплексная проблема защиты подземных и заглубленных зданий и сооружений. Впервые осуществлен системный подход к гидроизоляции, основанный на решении задач по созданию гидроизоляционной мембраны, теплоизоляции, дренажа, вентиляции сооружений.

В книге изложены основы проектирования и создания системы гидроизоляционной защиты сооружений при их строительстве и ремонте, приводятся методики расчета различных систем гидроизоляции, систематизированы и описаны новые материалы, технические и технологические решения по выполнению гидроизоляционных работ подземных и заглубленных объектов строительного комплекса. Приведены многочисленные

примеры производства работ в различных сооружениях. Пособие иллюстрировано чертежами, схемами, рисунками, позволяющими наглядно представить решение различных технологических задач по гидроизоляции зданий и сооружений.

Уникальность книги состоит в том, что она основана на многолетних научных исследованиях ведущих сотрудников «Триады-Холдинг» и богатейшем опыте фирмы в области строительства и ремонта огромного числа крупных подземных сооружений различного назначения (более 1000!). Таким образом, настоящее пособие представляет собой законченный фундаментальный труд, в котором соединены теоретические основы защиты сооружений от воды и влаги с их практическим решением.

Представляемая книга будет интересна и полезна всем специалистам в области проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта зданий и сооружений.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в ЗАО «Триада-Холдинг» по телефонам: 946-32-76; 946-33-92; e-mail: trhold@comail.ru

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

Подписано в печать 02.08.05. Формат 60x88^{1/8}. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1
Усл.печ.л. 4,0 Заказ № 791

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

E-mail: magbeton@rambler.ru
Тел. 692-6205, 703-9762

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

ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ

Суперпластификаторы
и пластификаторы

Противоморозные
добавки

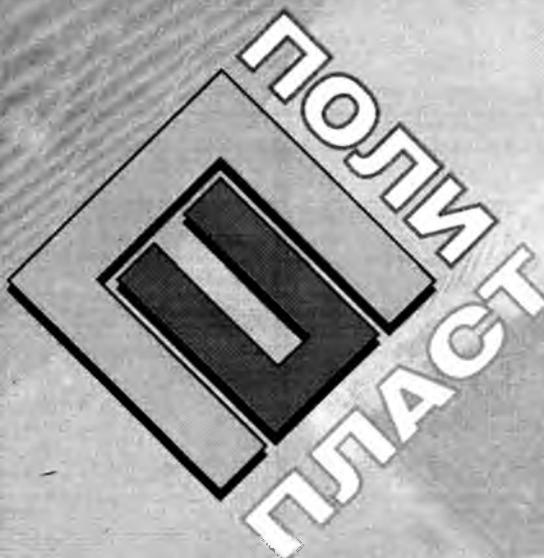
Ускорители набора
прочности

Модификаторы
бетона

Замедлители схватывания
и набора прочности

Диспергаторы и
специальные добавки

НОВЫЙ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОР ПОЛИПЛАСТ СП-3



“ПОЛИПЛАСТ”

115114, Москва, Кожовнический пр., д. 3.
Тел/факс (095)580-70-83, 580-70-84
Secretar@polyplast-un.ru

“ПОЛИПЛАСТ СЕВЕРО-ЗАПАД”

183480, Ленинградская обл.,
г. Кингисепп, промышленная “Фосфорит”
Тел/факс (81375)95-239, 2-69-98
Polyplast_nw@mail.ru

“ПОЛИПЛАСТ НОВОМОСКОВСК”

301653, Тульская обл., г. Новомосковск,
Комсомолецкая ш., д. 72
Тел/факс (08752)78-435, 78-472, 78-527
Polyplast@polyplast.novomoskovsk.ru

“ПОЛИПЛАСТ-УРАЛСИБ”

623109, Свердловская обл.,
г. Первоуральск, ул. Заводская, д. 3
Тел/факс (34392)93-737, 91-135
polyplast_ua@pervouralsk.ru

WWW.POLYPLAST-UN.RU



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Лицензия Госстандарта РФ
на изготовление средств
измерений №000110-ИР

Индекс 70050

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

ИПС-МГ4.01 /ИПС-МГ4.03

Измерители прочности бетона методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Оснащены функциями ввода коэффициента совпадения K_s , типа контролируемого изделия, вычисления класса бетона В. Диапазон.....3...100 МПа

ПОС-2МГ4П

Измеритель прочности ячеистых бетонов методом вырыва спирального анкера. Предусмотрена возможность корректировки результатов испытаний в зависимости от влажности бетона. Диапазон.....0,5...8 МПа



ПОС-30(50)МГ4 "Отрыв"

Измерители прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 Диапазон.....5...100 МПа

ПОС-30(50)МГ4 "Скол"

Измерители прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 Диапазон.....5...100 МПа



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40(60)МГ4

Измерители силы натяжения высокопрочной арматуры классов Вр-II (В-II), К-7 методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362 Диаметр контролируемой арматуры.....3...5 (6...9) мм

ЭИН-МГ4

Измеритель напряжений в арматуре частотным методом по ГОСТ 22362 Диаметр контролируемой арматуры.....3...32мм Длина.....3...18м

ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ИТП-МГ4 "100/250"

Измерители теплопроводности и термического сопротивления материалов при стационарном режиме по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256 Диапазон.....0,02...1,5 Вт/мК

ИТП-МГ4.03 "Поток"

Измеритель плотности тепловых потоков по ГОСТ 25380 трехканальный с режимом самописца (до 15 суток) Диапазон измерения: плотности тепловых потоков.....2...999 Вт/м², температуры.....-30...+100°C

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ТГЦ-МГ4.01, ТЦЗ-МГ4.01

ТГЦ-МГ4.01 измеритель влажности и температуры воздуха с режимом самописца (до 24 часов) Диапазон измерения влажности.....0...99%, температуры.....-20...+85°C
ТЦЗ-МГ4.01 термометр цифровой зондовый одно- и двухканальный с режимом самописца (до 15 суток) диапазон.....-30...+250°C

Влагомер-МГ4

МГ4Д - измеритель влажности древесины (13 видов) по ГОСТ 16588
МГ4Б - измеритель влажности бетона, кирпича (13 видов), древесины (13 видов) по ГОСТ 21718, 16588
МГ4Зонд - измеритель влажности сыпучих материалов.
МГ4У - универсальная версия с настройками на древесину, бетон и сыпучие материалы. Диапазон измерения влажности.....1...60%

ИПА-МГ4

Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры в ЖБ конструкциях по ГОСТ 22904 Диапазон измерения защитного слоя 3...100мм при диаметре стержней 12...40мм

ПСО-МГ4

Измеритель прочности сцепления (адгезии) защитных и облицовочных покрытий с основанием по ГОСТ 28089, 28574 Максимальное усилие отрыва 2,45/4,9/9,8 кН

Анемометр ИСП-МГ4.01

Измеритель скорости воздушных потоков и их температуры с режимом самописца (до 24 часов) Диапазоны измерения: скорости потока.....0,4...30м/с, температуры.....-20...+100°C

Вибротест - МГ4+

Измеритель, виброскорости, виброускорения, амплитуды и частоты колебаний виброустановок и др. объектов с режимом самописца (до 25 часов) Диапазон измерения: частоты.....2...1000Гц, амплитуды.....0,01...20мм

Приборы сертифицированы, имеют автономное питание, энергонезависимую память результатов измерений, связь с ПК.

454084 г. Челябинск, а/я 8538, ул. Калинина 11-Г офис 5. тел/факс (351) 790-16-13, 790-16-85, в Москве (095) 964-95-63, 220-38-58 e-mail stroypribor@chel.surnet.ru http://www.stroypribor.ru