

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.А.НОВОСЕЛОВ, А.К. СААКЯН</i> Проектный институт №2 (Москва) - , строительному комплексу	2
БЕТОНЫ	
<i>Г.П. САХАРОВ, В.П. СТРЕЛЬБИЦКИЙ</i> Перспективы развития производства и повышения качества ячеистых бетонов на традиционной и альтернативной основе	5
<i>Ш.М. РАХИМБАЕВ, Т.В. АНИКАНОВА</i> О влиянии размера и формы пор на теплотехнические характеристики ячеистых бетонов	10
КОНСТРУКЦИИ	
<i>В.А. КАЛАТУЗОВ</i> Опыт эксплуатации вытяжных башен градирен	13
СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	
<i>В.Б. ПЕРМЯКОВ, И.Л. ЧУЛКОВА, С.М. КУЗНЕЦОВ</i> Обоснование организационно-технологической надежности производства бетонных работ	18
В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ	
<i>Б.В. КАРАБАНОВ</i> Особенности расчета монолитных железобетонных зданий на температурные воздействия	22
В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ	
<i>В.В. ДАНЕЛЬ</i> Анализ формул для определения жесткости при сдвиге платформенных стыков крупнопанельных зданий	25
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	
<i>О.Н. КРАШЕНИННИКОВ, Т.П. БЕЛОГУРОВА</i> Использование вмещающих пород хибинских апатитонепелиновых месторождений для подземного бетонирования	29

ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ №2 (Москва) – СТРОИТЕЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ

ООО "Проектный институт №2" (Москва) – один из старейших проектных институтов стройиндустрии в России, сохранив основной костяк опытных специалистов в период социальных и экономических потрясений 90-х годов прошлого столетия и начала XXI века, продолжает осуществлять свою деятельность в новых условиях по комплексному проектированию заводов стройиндустрии, подземных и надземных многоэтажных гаражей-стоянок, автозаправочных станций, промышленных, гражданских и общественных зданий по индивидуальным проектам и др., отвечая на запросы строительного комплекса сегодняшнего дня.

Для обеспечения потребности строительства Олимпийских объектов и инфраструктуры г. Сочи Краснодарского края в стадии проектирования находится проект реконструкции Адлерского завода ЖБИ (ООО "Главстрой-Адлер") в г. Сочи, ул. Гастелло, 42.

Составной частью большого проекта реконструкции завода является законченный проект мощного бетоносмесительного узла на базе современного технологического оборудования фирмы "Liebherr" (Германия), имеющего техническую производительность 100 м³ бетонной смеси в час. Этот уникальный бетоносмесительный узел (рис. 1), уже смонтированный и пущенный в эксплуатацию, способен давать бетон как для основного производства, так и товарный высокомарочный бетон для нужд строительства, в том числе для гидротехнических сооружений. Контроль и стабильность качества бетона обеспечивает заводская лаборатория, оснащённая современным контрольно-измерительным и испытательным оборудованием.



Рис. 1. Бетоносмесительный узел Адлерского завода ЖБИ

В г. Сочи и его ближайших окрестностях для удовлетворения строительных нужд в бетоне появилось большое количество бетоносмесительных узлов. Только в Адлерском районе сосредоточено около трех десятков БСУ, предлагающих застройщикам товарный бетон. Большинство из них не имеет лабораторий, обеспечивающих контроль качества материалов и конечной продукции – товарного бетона и, как следствие, выпускающих товарный бетон нестабильного, сомнительного качества.

На фоне таких полукустарных БСУ бетонная смесь бетоносмесительного узла Адлерского завода с широким диапазоном марок (от высокомарочного бетона до марки М50) с пооперационным контролем заводской лабораторией имеет наилучшее соотношение цена – качество.

Оснащённость формовочных цехов завода кранами большой (20 т) грузоподъёмности и мощным формовочным оборудованием позволяет успешно решать задачи по изготовлению уникальных, в том числе мостовых железобетонных конструкций для нужд региона в преолимпийский период. Выпускаются также крупногабаритные изделия из преднапряжённого железобетона.

Производственные мощности Адлерского завода способны поставлять изделия сейсмостойких КПД большой этажности, конструкции для каркасных сборно-монолитных домов, преднапряжённые плиты пустотного настила, опоры освещения, дорожные плиты и другую продукцию промышленного и спец-железобетона.

ООО "Проектный институт №2", отвечая вызовам времени, проектирует также цеха и заводы по производству строительных металлоконструкций, заводы по изготовлению газобетонных блоков по импортной технологии, гипскартона (для ООО "Кнауф-Гипс", г. Красногорск Московской обл.), керамического и силикатного кирпича, технологические линии и цеха по изготовлению арматуры для ЖБИ, в том числе товарной арматуры, заводы по производству изделий каркасных сборно-монолитных домов различных типов: с использованием в перекрытиях и наружных стенах элементов несъемной опалубки, с вибропрессованными плитами пустотного настила (по испанской технологии "Тенсиланд" на комплекте оборудования фирмы "Вибропресс", Россия), домов с безригельным каркасом Универсальной конструктивной системы "КУБ-2,5" (рис. 2).

Так, в проекте реконструкции Адлерского завода ЖБИ предусмотрено комплектное производство изделий высотных домов (до 16 этажей) системы



Рис. 2. Многоэтажный дом Универсальной системы "КУБ-2,5"

"КУБ-2,5". Уменьшенный строительный габарит перекрытия в безригельном каркасе дома "КУБ-2,5" даёт возможность на 5...8% снизить кубатуру здания и, соответственно, затратность его изготовления. Расход материалов на 1 м² перекрытия домов данной системы, по данным ЦНИИПИ "Монолит", г. Москва, составляет:

1. Бетон (м³/м²)
 - сборный - 0,165;
 - монолитный - 0,016;
2. Цемент (кг) - 67,7;
3. Металл (кг) - 12,63.

Проектом реконструкции производственного корпуса в составе завода ЖБИ ООО "Новые строительные системы" (НСС) в г. Обнинск Калужской обл. в двух пролётах корпуса с габаритными размерами 2x18x120 м предусмотрено комплектное производство изделий каркасного сборно-монолитного дома с элементами несъёмной опалубки для плит перекрытий. В проекте заложена стендовая технология с использованием комплекта технологического оборудования фирмы "Рекон" (г. Чебоксары, Россия). Мощность производства составляет 80000 м² общей площади жилья в год. Эта разновидность сборно-монолитных каркасных домов с несъёмной опалубкой получила в последнее десятилетие массовое применение в зарубежных странах и в Российской Федерации.

Каркас такой конструктивной системы, принятый Заказчиком к изготовлению в данном проекте, состоит из трёх основных железобетонных элементов: ненапрягаемых колонн, преднапряжённых ригелей с напрягаемым канатом К7 Ø12 мм и преднапряжённых тонкостенных плит перекрытий – несъёмной опалубки (скорлуп) толщиной 60 мм с напрягаемой высокопрочной проволокой Ø5 Вр-II. Расход железобетона в этом сборно-монолитном каркасе составляет всего 0,12 м³ на 1 м² перекрытия. Однако при этом возрастает доля монолитного бетона (0,08 м³/м²). Для сравнения, в аналогичном полносборном ригельном каркасе серии 1.020-1/87 расход железобе-



Рис. 3. Строящийся завод газобетонных блоков в г. Усть-Лабинск

тона достигает величины 0,27 м³/м², а монолитного бетона – 0,01 м³/м².

Технико-экономические показатели зданий сборно-монолитного каркаса с использованием плит пустотного настила, выпускаемых на стендовой линии "Тенсиланд" (ЗАО "Вибропресс"), выглядят следующими: сборный железобетон – 0,17 м³/м² перекрытия; монолит – 0,015 м³/м².

Помимо проектов заводов по производству каркасных сборно-монолитных домов, в разработке находятся проекты реконструкции заводов крупнопанельного домостроения, в которых применены прогрессивные технологические решения. Наглядным примером может служить реконструкция серпуховского завода ЖБИ №250 по выпуску преднапряженных панелей перекрытий размером "на комнату" и других изделий для дома серии 111 разработки ООО "ГВСУ ЦЕНТР-ПРОЕКТ".

В преднапряженных панелях перекрытий предложена замена напряженной стержневой арматуры Ø12 Ат-V на более высокопрочную арматуру Ø10 Ат-VI (экономия металла – до 30%) с сохранением того же парка форм (без переделки упоров). Такое стало возможным благодаря применению на напрягаемых стержнях прогрессивных анкеров повышенной несущей способности – проволочных конических спиральных анкеров с использованием двух изобретений известного изобретателя А.Ф. Шашина – а.с. 558103 и а.с. 1636545, обеспечивающих также существенную экономию стальной проволоки класса А-I (до 30%) в сравнении с анкерами типа "обжатая обойма" по ТУ 21-33-31-88 разработки института ВНИИЖелезобетон.

Для армирования плитных изделий КПД (размером "на комнату") применены отечественные высокопроизводительные арматурно-сварочные комплексы машин нового поколения завода ООО "Унитех" (г. Новочебоксарск, Россия). В этих комплексах возможно использование фронтальных автоматических питателей по а.с. 732058 и а.с. 334000, позволяющих сваривать сетки экономичного армирования (армирование панели перекрытия по изгибающему моменту). Применение такой автоматизированной линии в

составе с многоточечной сварочной машиной и экономичным питателем, с ножницами и пакетировщиком, по сравнению с линией для сварки традиционных сеток, позволит снизить расход арматурной стали в каркасе панели до 15% и расход электроэнергии благодаря исключению из цикла части (до 20%) сварочных трансформаторов, повысить производительность труда путем замены автоматического питателя с боковой подачей стержней на фронтальный. При этом увеличивается срок службы электродов, работающих в зоне сдвинутых стержней сетки и составляющих 20...40% общего числа электродов, и снижаются затраты до 15% на правку и резку арматуры правильно-отрезными станками.

На проектируемых заводах ЖБИ рекомендуются к применению унифицированные треугольные замкнутые монтажные (подъемные) петли с угловым стыком с использованием а.с. 629300 по серии 3.400-7, выпуск 2, совместной разработки в конце 80-х годов прошлого века ленинградского института ПИ-1 и КТБ "Стройиндустрия" (г. Видное Московской обл.). Применение петель такого типа в изделиях сборного железобетона, предложенных вышеуказанным сортаментом, обеспечит экономию петлевой арматурной стали на 40...50% по сравнению с традиционными петлями. Подробнее материалы по замкнутым монтажным петлям с угловым стыком изложены в журнале "Бетон и железобетон" №2 за 2005 г.

По проекту института в г. Усть-Лабинск Краснодарского края (ООО "Главстрой-Усть-Лабинск") на единой промплощадке должны разместиться новые заводы: по производству газобетонных блоков автоклавного твердения мощностью 420 тыс.м³ блоков в год с использованием технологии немецкой фирмы "Wehrhahn" (в стадии строительства) и силикатного кирпича мощностью 71,5 млн. шт. условного кирпича в год (рис. 3).

Автоклавные газобетонные блоки – экологически чистый и энергосберегающий строительный материал. Он предназначен для кладки наружных и внутренних стен в одно- и многоэтажных жилых и промышленных зданиях, отвечает требованиям строительных норм по тепло- и звукоизоляции. Ячеистый газобетон можно использовать без дополнительного утеплителя. В процессе эксплуатации здания из данного материала расходы на отопление снижаются на 25...30%. Теплопроводность этого материала составляет в среднем 0,1...0,16 Вт/(м·°С). Для сравнения, теплопроводность полнотелого, пустотелого и силикатного кирпича составляет, соответственно 0,81; 0,64 и 0,87. В связи с низким объемным весом (300...800 кг/м³) и большой точностью размеров блоков ячеистый газобетон обладает высокой экономичностью строительства: уменьшается нагрузка на фундамент; сокращается расход кладочной смеси; снижается трудоемкость кладки, так как один блок из ячеистого бетона заменяет 15...20 обычных кирпичей. При этом вес последних составляет приблизительно 80 кг, а блок из ячеистого газобетона весит

примерно 15 кг. По своим экологическим свойствам ячеистый газобетон стоит в одном ряду с деревянными конструкциями. Он "дышит", регулируя влажность в помещении, обладает свойствами древесины и камня одновременно, не гниет и не горит.

Год назад завершен проект уникального строящегося завода по производству лицевого кирпича и эффективных керамических изделий мощностью 220 млн. шт. усл. кирпича в год ОАО "Победа ЛСР" в Ленинградской области. Для выпуска широкой гаммы керамических изделий на заводе применен метод пластичного формования с использованием комплектов технологического оборудования фирм "Ceric" (Франция) и "Тектон" (Германия). Номенклатура продукции этого предприятия включает более 60 наименований, в том числе: лицевой полнотелый и пустотелый кирпич; камень (блок) поризованный крупноформатный (31 наименование); фигурные изделия в виде облицовочной плитки и дорожный клинкер для тротуаров. Производство поризованных крупноформатных блоков, отвечающих требованиям норм по тепло- и звукоизоляции, позволит в домостроении отказаться от применения традиционной трехслойной стены.



Рис. 4. Здание многоэтажного гаража в Москве

В настоящее время институтом ведется проектирование реконструкции заводов по производству кирпича и железобетонных изделий и конструкций для КПД и промжелезобетона. Институт принимает заявки на проектирование разнопрофильных новых и реконструкцию различных старых заводов, технологических линий, цехов, комплексов, промышленных баз с применением прогрессивного отечественного и зарубежного технологического оборудования, гражданских и общественных зданий, многоэтажных гаражей (рис. 4) и других сложных в инженерном и архитектурном отношении объектов строительства.

Координаты ООО "Проектный институт №2":

Почтовый адрес:

125993 ГСП, Москва, А-80,

Волоколамское шоссе, д. 1 стр. 1

Телефакс: 8 (499) 158-89-02

Телефон (495) 744-03-82

E-mail: oao@pi2.ru

Сайт: www.pi2.ru

*Г.П. САХАРОВ, д-р техн.наук, проф., заслуженный деятель науки РФ (МГСУ);
В.П. СТРЕЛЬБИЦКИЙ, канд. техн. наук (Управление развития стройиндустрии)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НА ТРАДИЦИОННОЙ И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОСНОВЕ

Ячеистые бетоны в России, странах СНГ и в других бывших союзных республиках после резкого сокращения их производства в 1991 г., обусловленного распадом Советского Союза, вновь (до возникновения кризисных явлений в 2008 г.) получили оживлённое развитие, особенно после 1995 г., когда были введены повышенные нормы сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Они, по существу, поставили заслон однослойным наружным стенам из легкого бетона и кирпича по причине недопустимо большой, требуемой по этим нормам, толщины стен. Выходом из создавшегося положения, наряду со слоистыми стенами с эффективными утеплителями, оказались ячеистые бетоны средней плотности 400...600 кг/м³, обеспечивающие высокий уровень теплозащитных свойств ограждающих конструкций в однослойном исполнении.

Это обстоятельство с учетом положительных свойств ячеистого бетона, большого многолетнего отечественного и зарубежного опыта его производства и применения во всех видах строительства, большой востребованности в связи с реализацией национальной программы "Доступное и комфортное жилье – гражданам России" обеспечило интенсивное развитие и модернизацию производства ячеистых бетонов (преимущественно газобетона автоклавного твердения) во всех регионах России и в странах СНГ. Это производство базировалось на новой техно-технологической основе зарубежных фирм "Хебель", "Маза-Хенке", "Итонг", "Сипорекс", "Верхан", "Дюррокс" "Xella" и других, особенно фирмы "Hess", являющейся ведущим машиностроительным предприятием Европы по поставке, в первую очередь, резательного оборудования для ряда указанных фирм. Заводов и технологических линий, построенных на такой основе, в России насчитывается более 40, в странах СНГ-15. Производительность заводов – 100...400 тыс. м³ в год. Номенклатура выпускаемых изделий – мелкие стеновые блоки, перегородочные плиты, перемычки и частично армированные плиты покрытий и перекрытий для малоэтажного строительства. Производство полностью механизировано и автоматизировано, но требует для этого стабильного и качественного сырья, чтобы получать высококачественные калиброванные стеновые блоки и перегородочные плиты из автоклавного газобетона средней плотности 400...600 кг/м³ с минимальными допусками размеров 1...1,5 мм и прочностью

2,5...5 МПа. Блоки кладут на тонком слое клеевого раствора, что повышает прочность и теплотехническую однородность стен и эффективность их применения в ограждающих конструкциях в малоэтажном и высотном монолитном строительстве.

В настоящее время производство автоклавного ячеистого бетона – одна из самых динамично развивающихся отраслей промышленности строительных материалов. Объем его производства в России в 2008 г. достиг 6 млн. м³, а в перспективе, с учётом строящихся заводов, его предполагается довести в 2010 г. до 10 млн. м³; в Республике Беларусь – 2,97 млн. м³, и в перспективе – 6 млн. м³; в Украине – 1 млн. м³ (с перспективой доведения объёма выпуска к 2015 г. до 15 млн м³); в странах СНГ – около 3 млн. м³. Всего в мире его производят более 50 млн. м³, из них на долю стран Европы, объединённых в "Европейскую ассоциацию производителей автоклавного ячеистого бетона" (EAACA-The European Autoclaved Concrete Association), насчитывающую 18 членов, приходится 20 млн. м³, выпускаемых на 113 заводах (см. таблицу) [1].

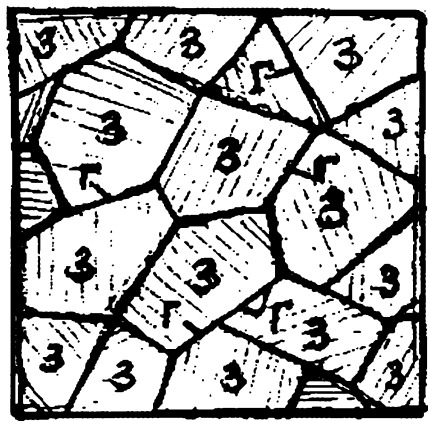
Как видно из приведенных в ней данных, наибольшее число заводов автоклавного газобетона (62%) сосредоточено в Польше, Германии и Великобритании. На их долю приходится и соответствующий объём выпуска этого продукта. Обращает на себя внимание преимущественное использование на этих заводах в качестве кремнезёмистого компонента песка и кондиционной золы-уноса (19,5%). Аналогичным образом обстоит дело с утилизацией золошлаковых отходов и в России, Украине и Беларуси.

Ускорению развития производства автоклавного ячеистого бетона в России способствуют образованные, по аналогии с европейскими, ассоциации производителей, например, "НААГ" (Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона), Центр ячеистых бетонов (Санкт-Петербург), ЗАО "Силбетиндустрия" (Москва) [2].

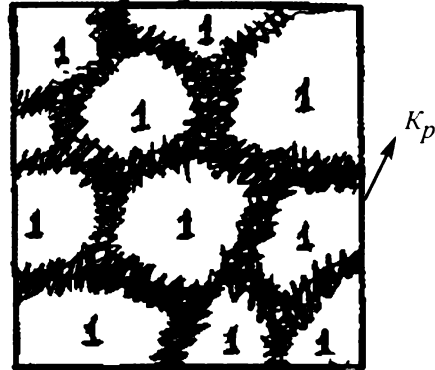
Сказанное в полной мере характеризует нынешнее развитие производства и применение ячеистого бетона в России и бывших союзных республиках как новый этап, основанный на использовании зарубежных технологий и оборудования, в отличие от доперестроечного периода, ориентированного на отечественные разработки и технологическое оснащение, значительно уступающие зарубежному. Этим и объясняется наблюдающееся различие качественных

№ № п/п	Страна	Число заводов	Фирмы- производители	Число заводов, применяющих	
				песок	зола- уноса
1	Австрия	1	Xella	1	0
2	Бельгия	1	Xella	1	0
3	Болгария	1	Hebel	1	0
4	Чехия	6	Durox, Unipol	3	3
5	Дания	3	Durox, Selcon	2	1
6	Эстония	2	Aeroc	1	1
7	Финляндия	1	Siporex	1	0
8	Франция	3	Ytong, Hebel, Durox	3	0
9	Германия	28	Durox, Hebel, Ytong, Wehrhahn, Swanholm	28	0
10	Великобритания	12	Durox, Hybrid, AS Stema, Ytong, Wehrhahn	6	6
11	Венгрия	1	Hebel	1	0
12	Италия	4	Hebel, Siporex	4	0
13	Голландия	3	Durox, Hebel	3	0
14	Польша	30	Unipol, SW PGS, Ytong	23	7
15	Словакия	4	Ytong, Unipol, Hebel	2	2
16	Словения	1	Ytong	1	0
17	Швеция	4	Ytong, Siporex	2	2
18	Турция	8	Ytong, Hebel, Swanholm	8	0
		113		91	22

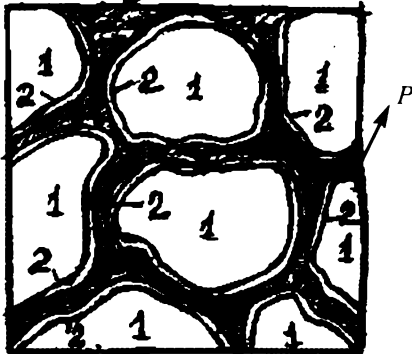
а)



б)



в)



Микроструктура кристаллизующихся расплавов металлов, стекла, тонкой керамики, магматических горных пород (а); твердой фазы (матрицы) автоклавного (б) и неавтоклавного (в) газо- и пенобетона

1 - частицы твердой фазы (песка, золы и др.); 2 - прослойки жидкой дисперсионной среды; P - цементно-песчаный или газопенный раствор; K_p - кристаллический силикатный сросток; 3 - зерна кристаллизующихся расплавов; Г - межзеренные границы

показателей ячеистого бетона и товарной продукции на его основе в России и за рубежом. Основная задача нового этапа, таким образом, состоит в достижении мирового уровня производства автоклавного ячеистого бетона, которая в принципе трудностей, за исключением организационно-экономических вопросов, не вызывает.

Научный интерес в рассматриваемых проблемах повышения качества и потребительской эффективности ячеистого бетона отечественного производства представляет выявление специфики структурообразования автоклавного и неавтоклавного газо- и пенобетона (производство которых активно развивается) с целью более полной реализации потенциальных возможностей технологий для повышения и сближения качественных показателей автоклавного и неавтоклавного ячеистых бетонов и энергоэкономической эффективности.

Ячеистый бетон, как вид бетона, по способам изготовления подразделяется на автоклавный газобетон (мировое производство), автоклавный пенобетон (незначительный объем производства) и неавтоклавный газо- и пенобетон. Технология и свойства этих разновидностей ячеистого бетона существенно различаются между собой. Носителем технических

свойств ячеистого бетона, при благоприятной структуре газовоздушных пор в газо- и пенобетоне, является структура его матрицы.

Имеется принципиальное отличие структуры сплошных тел с практически нулевой пористостью (металлов, стекол, отдельных видов керамики, полимеров) (см. рисунок, а) от структуры твердой фазы ячеистого бетона.

Структура сплошных тел образуется при кристаллизации расплавов срастанием выделяющихся новообразований в сплошной кристаллический сросток, придающий этим материалам большую прочность, плотность и другие полезные свойства.

Структура твердой фазы ячеистого бетона образуется в процессе его изготовления в результате взаимодействия дисперсных частиц вяжущего и заполнителей, обусловленного силами молекулярного и ионно-электростатического притяжения-отталкивания и химических связей.

Возникающие при этом коагуляционно-кристаллизационные контакты между частицами, включая продукты гидратации вяжущего, имеют локальный сплошной по периметру частиц характер, свойственный зернистым и пористым структурам, подчиняющимся иным, чем сплошные тела, законам прочности и разрушения. Поэтому распространение механики разрушения идеально твердого тела, по Гриффитсу, на бетоны с зернистым типом структуры является неоправданно большим допущением. Разрушение последних происходит не вследствие большой концентрации напряжений возле дефектов, например, дислокаций кристаллической решетки, как в идеальном твердом теле, а вследствие разрушения кристаллических или аморфных фазовых контактов между частицами вяжущего, продуктов их гидратации и заполнителей [3, 4, 5]. Следовательно, прочность материалов зернистой структуры обусловлена главным образом количеством и прочностью фазовых контактов. Последняя во многом зависит от условий формирования структуры и твердения ячеистого бетона.

При твердении ячеистого бетона в автоклаве в среде насыщенного водяного пара при высокой (174...200 °С) температуре и щелочности ($pH > 12$) частицы кремнеземистого компонента, имеющие сравнимую с частицами цемента дисперсность, растворяются с поверхности и вступают во взаимодействия с продуктами гидролиза и гидратации вяжущего с образованием малоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Последние вследствие близости кристаллохимических структур со структурой кремнеземистого компонента эпитаксиально срастаются с ним по всей поверхности, образуя сплошной поверхностный контакт. Разрастающиеся частицы кремнеземистого компонента, перемещаясь в жидком пересыщенном растворе реагирующих веществ, сближаются между собой и контактируют с образованием прочного кристаллического сростка. Аналогичным образом контактируют между собой частицы цемента. В промежутках между частицами цемента и песка образуется пористая конденсационно-кристаллизационная структура синтезированных гидратных соединений кальция, т.е. концентрации раствора явно недостаточно для образования сплошного тела, как это происходит при кристаллизации расплавов металла, стекла, керамики.

Вместе с тем высокая прочность гидросиликатов кальция, конденсационно-кристаллизационный характер структуры твердой фазы, прочное сращение продуктов реакции вяжущего с поверхностью зерен кремнеземистого компонента, высокая степень кристаллизации продуктов реакции и фазных контактов обеспечивают автоклавному ячеистому бетону высо-

кую прочность, водо- морозо- и трещиностойкость, малую усадку и ползучесть.

Основными продуктами химических реакций и превращений, происходящими в автоклаве при температуре 180...190 °С и давлении 1...1,2 МПа, являются: тоберморит ($C_5S_6H_{5-5,5}$), составляющий в структуре кристаллического сростка 50...60%, некристаллический гидросиликат кальция ($CSH(B)$), 5...10%; ангидрит ($CaSO_4$), 5...6%; гидрогранат ($C_3(A,F)SH_4$), частично гидроксилэпестадит $Ca_{10}(SiO_4)_3(SO_4)_3(OH)_2$, 1,5...2%; и неизменный кварц (SiO_2), 20%. Наибольшее влияние на все свойства автоклавного ячеистого бетона оказывает, естественно, тоберморит и сросшийся с ним и гидросиликатами кальция кварц. Кристаллы первого в виде мелких планок, лент, пластинок хорошо закристаллизованы и имеют меньшую, по сравнению с гелеобразным $CSH(B)$, удельную поверхность, что и обеспечивает автоклавному ячеистому бетону малые усадку, ползучесть и пониженную сорбционную влажность [7].

Уникальная возможность образования сплошного и прочного кристаллизационного сростка между зернами кварцевого песка и гидросиликатами кальция и тоберморита, возникающая при автоклавном твердении ячеистого бетона, открывает дополнительные возможности повышения его качества и эффективности: позволяет снизить послеавтоклавную влажность до 15...25% и расход вяжущего на 20...30%; повысить трещиностойкость армированных изделий за счет реализации самоупрочнения, возникающего вследствие различия коэффициентов температурного расширения ячеистого бетона и арматуры и других факторов [9,10].

Это достигается, как показано в наших работах, путем применения грубомолотого песка, затворения компонентов бетона неподогретой водой, вибрации на стадии вспучивания, целенаправленного формирования структуры твердой фазы и армирования при изготовлении изделий [8, 9, 10]. В частности, дисперсность песка для ячеистого бетона средней плотности 400...500 кг/м³ рекомендуется принимать соответственно 170...200 м²/кг и 130...150 м²/кг. Уровень самоупрочнения арматуры и обжатия ячеистого бетона после автоклавного твердения армированных изделий обеспечивает их трещиностойкость.

Иная картина наблюдается при неавтоклавном твердении ячеистого бетона, особенно пенобетона. В отличие от конденсационно-кристаллизационной структуры твердой фазы автоклавного ячеистого бетона, твердая фаза (матрица) неавтоклавного слагается более мелкими слабозакристаллизованными гидросиликатами кальция CSH и имеет преимущественно коагуляционную структуру, особенно в начальный период. Это означает, что дисперсные частицы, агрегированные в коагуляционной структуре, разделены между собой тонкими прослойками дисперсионной среды, содержащей в ряде случаев (в частности, в пенобетоне) поверхностно-активные и мак-

ромолекулярные вещества, создающие структурно-механический барьер для контактного взаимодействия частиц (см. рисунок, в).

Снижение температуры твердения, несмотря на высокую щелочность среды, обусловленную повышенной растворимостью цемента и извести, резко замедляет растворимость зерен кварцевого песка, практически исключает их химическое взаимодействие с продуктами гидролиза и гидратации вяжущего и образование прочного кристаллизационного контакта. Отсутствие такого контакта является существенным препятствием для повышения прочности неавтоклавного ячеистого бетона до уровня автоклавного. Замена кристаллической формы кремнезема на аморфную или аморфизованную (золу, тонкомолотый песок, перлит и др.), аналогичного "автоклавно-го" эффекта, однако, как показывает практика, не дает. При этом ухудшаются и другие свойства – повышаются водопоглощение, сорбционная влажность, усадка, ползучесть, снижается морозостойкость. В автоклаве эти недостатки компенсируются кристаллизацией новообразований и контактов срастания.

По общепринятой терминологии структуры дисперсных частиц, разделенных тонкими жидкими прослойками дисперсионной среды, относят к структурам с "дальней" коагуляцией, а структуры с непосредственным контактом частиц – к конденсационным или структурам с "ближней" коагуляцией. Переход от "дальней" коагуляции структуры к "ближней" П.А. Ребиндер, применительно к цементам, рассматривал как временной процесс собирательной рекристаллизации, сопровождающийся образованием конденсационно-кристаллизационной структуры контактов срастания [11]. В автоклаве при высокой температуре этот процесс протекает достаточно быстро, в течение 12...18 ч и, что очень важно, практически заканчивается после извлечения изделий из автоклава и их остывания. В нормальных условиях твердение ячеистого бетона, изготавливаемого преимущественно на цементном вяжущем, растягивается во времени и имеет экспоненциально возрастающий характер. Это значит, что через некоторое время прочность неавтоклавного газо- и пенобетона может достигнуть прочности автоклавного, практически неизменяющейся или частично снижающейся во времени вследствие карбонизации и других воздействий. Задача заключается в том, чтобы проектная прочность неавтоклавного газо- и пенобетона заданной средней плотности могла быть достигнута исходя из условий строительства, в более короткие сроки (28...60 дней) без увеличения стоимости.

Главным условием для решения этой задачи является высокая физико-химическая активность и однородность используемых сырьевых материалов, способных ускорить переход от "дальней" коагуляции к "ближней". Этот переход затрудняется при пониженной концентрации минеральной суспензии, специфической адсорбции одноименных ионов, молекул ПАВ и мелких твердых частиц на поверхности

дисперсных частиц силами ионно-электростатического отталкивания при перекрытии диффузных слоев противоионов сближающихся частиц. Поэтому литые газо- и пенобетонные смеси медленно твердеют и склонны к осадке, особенно при изготовлении из них ячеистого бетона пониженной средней плотности ($\leq 500 \text{ кг/м}^3$). Существенно тормозят этот переход молекулы ПАВ, адсорбирующиеся на поверхности твердых частиц и газовоздушных пузырьков.

Для преодоления указанного негатива целесообразно использовать более концентрированные газо- и пенобетонные смеси, минимизировать количество вводимых ПАВ; нейтрализовать ионно-электростатическое отталкивание диффузных слоев частиц введением электролитов в количестве до 1% от массы вяжущего.

Даже при состоявшемся переходе на поверхности твердых частиц и пузырьков воздуха остается очень тонкая и устойчивая "черная" (перреновская) жидкая пленка толщиной менее 6 нм [6, 12]. Разрушение её обуславливается флуктуациями толщины и разрывом по слабому месту под действием температуры, десорбции ПАВ и ионов в адсорбционных слоях, а также механической сдвиговой нагрузки.

Для изготовления неавтоклавного газобетона с качественными показателями, близкими к автоклавному, исходя из изложенного, рекомендуется применять высокомарочный бездобавочный цемент, высокодисперсные, в том числе наноразмерные, добавки кремнезема, глинозема, железа и других катализаторов в оптимальном количестве, обеспечивающих ускоренное образование множества фазных контактов, их повышенную прочность и кристаллизацию.

Формовочные смеси должны быть концентрированными, содержать минимально необходимое количество воды и предельно гомогенизированы до полного смачивания частиц твердой фазы, удаления адсорбированного на них воздуха, уменьшения толщины водной прослойки между частицами до метастабильного состояния черных пленок. Использование этих рекомендаций позволили авторам разработать технологию и получить неавтоклавный газобетон средней плотности $450...500 \text{ кг/м}^3$ с близкими к автоклавному показателями и приступить к его промышленному освоению [13].

В общем объеме производства неавтоклавного ячеистого бетона пенобетон занимает не менее 70...80% и пользуется большим спросом, несмотря на пониженные техно-технологические показатели, по сравнению с автоклавым и неавтоклавым газобетоном. Такая популярность неавтоклавного пенобетона объясняется сравнительно небольшой его стоимостью, плотностью, удовлетворительной прочностью, простой и доступной технологией. Имеющиеся в то же время недостатки, такие как медленное твердение, недостаточная устойчивость пеномассы, повышенный расход цемента при снижении средней плотности пенобетона $< 700 \text{ кг/м}^3$, нестабильность во многих случаях качественных показателей, требуют

совершенствования технологии на новой научно-технологической основе.

Концептуально пенобетон высокого качества ускоренного твердения с хорошо организованной микро- и макроструктурой может быть получен по механизму пенной флотации, при которой устойчивость пенномассы обеспечивается не за счет высоковязкой пены, в которой частицы твердой фазы удерживаются во взвешенном состоянии силами вязкого трения, а вследствие физико-механического взаимодействия твердых частиц с пузырьками воздуха. Процесс этот термодинамически и кинетически обусловлен. Самопроизвольное объединение минеральной частицы с пузырьком воздуха сопровождается уменьшением суммарной поверхностной энергии по сравнению с раздельным существованием. Убыль удельной поверхностной энергии новообразованного комплекса при трехфазном контакте взаимодействующих фаз имеет вид

$$\Delta W = \sigma_{жг}(1 - \cos\Theta), \quad (1)$$

где ΔW - убыль удельной поверхностной энергии, Дж/м²; $\sigma_{жг}$ - поверхностное натяжение на межфазной границе раздела жидкость-газ, (Дж/м²)·10⁻³(мДж/м²); Θ - краевой угол смачивания, характеризующий способность поверхности твердого тела смачиваться водой. При $\Theta < 90^\circ$ поверхность хорошо смачивается водой (гидрофильна); при $\Theta \geq 90^\circ$ - наоборот (гидрофобна).

Наибольшая убыль удельной поверхностной энергии комплекса частица-пузырек, как следует из формулы (1), наблюдается при гидрофобной поверхности, т.е. при $\Theta > 90^\circ$, а также повышенного поверхностного натяжения $\sigma_{жг}$. При адгезионном взаимодействии твердой частицы и пузырьком воздуха между газовой средой и твердой поверхностью образуется тончайший слой жидкости молекулярной толщины – черная (перреновская) пленка. Удаление её требует дополнительных затрат энергии (интенсивной аэрации и повышения температуры смеси, введения реагентов-регуляторов и других мер). При традиционной схеме получения пенобетона указанный флотационный эффект и минерализация пузырьков пены, о чем ошибочно иногда говорится в публикациях, проявляться не могут по причине предельной гидрофильности твердых частиц и мощного структурно-механического барьера, образуемого пенообразователями и стабилизаторами на поверхности пузырьков пены.

Возможность реализации флотационного механизма получения пенобетона с повышенными технологическими показателями показана в работах [14,15]. Теоретические и экспериментальные исследования в этой области наряду с проблемой резкого увеличения количества и прочности контактов дисперсных частиц в матрице, с использованием каталитического действия функционально обусловленных частиц наноразмерного масштаба, представляют новое направление в технологии неавтоклавного газо- и пенобетона, которое позволит существенно повысить его качество.

Ячеистым бетонам в нынешней экономической ситуации принадлежит решающая роль в удовлетворении всё возрастающей потребности в стеновых материалах, в первую очередь для жилищного строительства. Производством их в Российской Федерации занимаются более 1200 предприятий, выпускающих керамический и силикатный кирпич, мелкие и крупные стеновые блоки из лёгких и ячеистых бетонов, гипса и полистиролбетона, естественного камня, а также крупные бетонные блоки стен подвалов. В основном выпускается керамический и силикатный кирпич. Из общего объёма стеновых материалов, произведенных в 2008 г. в количестве 19,8 млрд. шт. условного кирпича, на их долю приходится 72% и 18% на ячеистые бетоны. На остальные стеновые материалы – 10%. Однако при принятой методике расчёта (в условных кирпичах) фактическая доля ячеистых бетонов в объёме выпуска кирпича будет в 1,5...1,8 раза больше.

Резкое падение производства стеновых материалов (до 50%) в конце 2008-начале 2009 г., обусловленное кризисными явлениями, может быть преодолено в первую очередь, по мере выхода из кризиса, путем ввода в действие новых крупных заводов автоклавного ячеистого бетона и наращивания мощности мелких и средних предприятий, выпускающих газо- пено- и полистиролбетонные стеновые блоки, обладающие повышенными потребительскими свойствами, особенно для малоэтажного и индивидуального строительства. Достаточно сказать, что из общего количества 64,1 млн. м² жилья, введенного в 2008 г., 27,4 млн. м², или 42,7% приходится на строительство 196,4 тыс. индивидуальных жилых домов. В Западной Европе и в других странах, производящих ячеистобетонные изделия, строительство индивидуальных домов производится полностью из комплекта таких изделий. По сравнению с быстровозводимыми домами из слоистых панелей с пенополистирольным, как правило, утеплителем, дома из ячеистых бетонов, помимо большей прочности и долговечности, обладают повышенной комфортностью, экологичностью, пожаробезопасностью и пониженной стоимостью.

Параллельное развитие и модернизация производства автоклавных и неавтоклавных стеновых материалов будет оказывать мультипликативное действие на повышение качества выпускаемой продукции, снижение её энергоёмкости и стоимости, вовлечение в производство техногенных отходов и оздоровление окружающей среды, а также на развитие сопряженных отраслей – добычу и переработку нерудных строительных материалов, технологическое машиностроение, органическую и неорганическую прикладную химию.

Библиографический список

1. Запотошна-Сытэк Гановефа (Польша). Автоклавный ячеистый бетон в странах Европы//Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка.- 2007, № 24.- с.59-70.

2. "НААГ" - российский автоклавный газобетон ориентирован на будущее//Строительные материалы. - 2006. - №6. - с.1, 17.
3. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids - Phil Trans. Roy. Soc., sec.A., 1921, 221. - p.163-173.
4. Юсупов Р.К. Проблемы физико-химического бетоноведения// Бетон и железобетон. - 2000. - №2. - с.2-4.
5. Дересевич Г. Механика зернистой среды. Сб. "Проблемы механики". Под ред. Драдена Х. и Кармана Т.М., ИЛ., 1961, 3.
6. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д. Вода в дисперсных системах. -М.: Химия, 1989. - 288с.
7. Georg Schober. Die chemischen Umsetzungen bei der Herstellung von Porenbeton: Aus Zement, Kalk, Gips und Quarzsand wird Porenbeton// Zement, Kalk, Gips International. 2005. №7. P. 63-70.
8. Сахаров Г.П. О рациональной дисперсности песка для ячеистого бетона// Строительные материалы. - 1978/ - №6. с. - 28-31.
9. Сахаров Г.П., Скориков Е.П. Предпосылки возникновения преднапряженного состояния конструкций из поробетона автоклавного твердения/ Бетон и железобетон - пути развития. Научн.тр. 2-й Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону, 5-9 сентября 2005 г., Москва, т.4, с.269-278.

10. Сахаров Г.П., Скориков Е.П., Попов Б.К. Технологическое самонапряжение армированных изделий из поробетона/ Бетон и железобетон - пути развития. Научн. тр. 2-й Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону, 5-9 сентября 2005 г., Москва, т.4, с. 279-289.
11. Ребиндер П.А., Сегалова Е.Е. Возникновение кристаллизационных структур твердения и условий развития их прочности/ В кн. "Новое в химии и технологии цемента". - М.: Госстройиздат, 1962, с.202-211.
12. Зонтаг Г., Штрэнге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с нем. и редакция О.Г.Усырова, Л., "Химия", 1973, с. 99-124.
13. Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П. Неавтоклавный поробетон и проблема энергосбережения// Формула строительства. - 2002, №1, с. 20-21.
14. Абдуганиев А.А. Способ производства изделий из ячеистого бетона пеннофлотационным методом. Дисс. канд. техн. наук. 1972.
15. А.с. 355013 (СССР). Способ изготовления ячеистобетонных изделий/ Авт. изобр. Г.П.Сахаров, Г.И.Горчаков, А.А.Абдуганиев, МИСИ им. В.В.Куйбышева. Оpubл. в Б.И. №31, 16.10.1972.

*Ш.М. РАХИМБАЕВ, д-р техн.наук, проф., Т.В. АНИКАНОВА канд. техн. наук
(Белгородский государственный технологический ун-т им. В.Г. Шухова)*

О ВЛИЯНИИ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ПОР НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Известно, что коэффициент теплопроводности любого газонаполненного материала в общем случае зависит от теплопроводности твердой и газообразной фаз, входящих в состав рассматриваемого объекта. Вклад каждого из этих компонентов газонаполненной системы и, в конечном счете, численное значение коэффициента теплопроводности прежде всего зависит от их количественного содержания в материале. По мере уменьшения средней плотности содержание твердой фазы в материале падает и соответственно снижается вклад твердой фазы в численное значение коэффициента теплопроводности, а также в другие технологические и эксплуатационные характеристики газонаполненных систем. Отсюда следует, что изменение поровой структуры, размера и формы пор незначительно повлияет на теплозащитные свойства, если средняя плотность материала равна 150-300 кг/м³, тогда как при средней плотности 600 кг/м³ и более – существенно повлияет на коэффициент теплопроводности.

Очевидно, что теплозащитные свойства газонаполненной поры в определенной степени зависят от природы газообразной фазы, содержащейся в ней. Сравним теплоизоляционные свойства газо- и пенобетонов, приняв во внимание, что поры первого заполнены водородом, а второго - воздухом. Наиболее важным в проблеме оценки теплозащитных свойств легких бетонов с порами различного размера является вопрос о роли конвективной составляющей в переносе теплового потока. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Коэффициент теплопроводности водорода в нормальных условиях составляет 0,183 Вт/(м·К), тогда как воздуха 0,0262 Вт/(м·К) [2], что обусловлено малым размером и высокой подвижностью молекул водорода в сравнении с азотом и кислородом. Простейшие соображения приводят к выводу, что на интенсивность конвективных потоков в газообразной среде оказывает влияние внутреннее трение, которое характеризуется вязкостью. Коэффициент динамической вязкости водорода (8,94·10⁻⁶ Па·с) вдвое меньше, чем у воздуха (18,5·10⁻⁶ Па·с). Сопоставление их теплозащитных свойств затруднительно из-за большой разницы численных значений их плотностей, поэтому предлагаем использовать для сравнения критерии подобия Прандтля, Грасгофа и Рэлея. Критерий Прандтля:

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (1)$$

где v - коэффициент кинематической вязкости, м²/с, который равен $\frac{\mu}{\rho}$; a - температуропроводность, м²/с, равная $\frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$; μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с; c_p - теплоемкость, Дж/(кг·°К); λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°К); ρ - плотность газа, кг/м³.

Критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств теплоносителей в процессах конвективного теплообмена. Он является мерой подобия полей температур и скоростей, показывает отношение сил вязкости к интенсивности теплопереноса.

Критерии Грасгофа и Рэлея описывают процессы в поле силы тяжести.

Критерий Грасгофа:

$$G_r = \frac{g \cdot F \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²; β - коэффициент объемного теплового расширения газа, °К⁻¹; Δt - разность температур, °К.

Критерий G_r представляет собой меру соотношения сил внутреннего трения (вязкости) и подъемной силы, определяемой разностью плотностей в различных точках неизотермического потока. Иными словами, он показывает отношение сил, вызывающих движение пузырька вверх, к силам внутреннего трения – вязкости.

Для оценки роли коэффициента теплопроводности и коэффициента теплоотдачи используют критерий Нуссельта:

$$N_u = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (3)$$

где α - коэффициент теплоотдачи от газа к стенкам поры; l - определяющий геометрический размер поры, в данном случае – диаметр поры.

Однако воспользоваться этим критерием невозможно, так как неизвестно значение коэффициента теплоотдачи от газа к твердой фазе. Поэтому в данном случае необходимо использовать другой критерий подобия, в котором отсутствуют неизвестные величины. Таким показателем является критерий Рэлея. Все входящие в него величины имеются в справочной литературе, что позволяет вычислять его значения в зависимости от природы газа и его физических свойств.

Критерий Рэлея:

$$R_a = \frac{g \cdot F \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu \cdot \alpha} = \frac{g \cdot F \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot c \cdot \rho}{\nu \cdot \lambda}. \quad (4)$$

Критерий Рэлея показывает отношение величины теплового расширения к силам вязкости и теплопроводности. Нетрудно заметить, что он является произведением критериев Грасгофа и Прандтля, т. е.:

$$R_a = G_r \cdot P_r \quad (5)$$

Критерии подобия могут быть получены для любого процесса, если известны аналитические зависимости между характеризующими его величинами – дифференциальные уравнения, описывающие процесс [3]. Сложный характер структуры и механизма теплопереноса в дисперсных телах (кондукция, конвекция, излучение и др.) обусловил применение к ним термина "эффективная теплопроводность" [4, 5].

В настоящее время можно считать доказанным, что эффективные теплофизические свойства материала в общем случае зависят от размеров образцов, их формы, скорости подъема температуры, величины теплового потока [5-7].

В [3] отмечается, что тепловое излучение играет существенную роль при температуре более 600 °С. Так как ограждающие конструкции из пено- и газобетона эксплуатируются при более низких температурах, то этой составляющей можно пренебречь. Передача тепла теплопроводностью будет складываться из $\lambda_{\text{матрицы}}$ и $\lambda_{\text{ячеек}}$. Последняя состоит из теплопроводности теплового пограничного слоя ($\lambda_{\text{ТПС}}$), теплопроводности слоя газа в объеме ячейки и конвективного теплопереноса в поре (коэффициент теплоотдачи α). Таким образом, тепловое сопротивление ячеистого материала имеет следующий вид:

$$\frac{L}{\lambda} = \frac{L_{\text{матр}}}{\lambda_{\text{матр}}} + \frac{1}{\alpha} + \left(\frac{L_{\text{ТПС}}}{\lambda_{\text{ТПС}}} + \frac{L_{\text{поры}}}{\lambda_{\text{поры}}} \right), \quad (6)$$

где $L_{\text{матрицы}}$ - толщина межпоровой перегородки, которая имеет небольшое численное значение; $L_{\text{ТПС}}$ - толщина теплового пограничного слоя; $L_{\text{поры}}$ - определяющий геометрический размер поры; $\lambda_{\text{поры}}$ - коэффициент теплопроводности газа в объеме поры, Вт/(м·°К).

При этом коэффициент теплопроводности матрицы сравнительно высок. Значит,

$$\frac{L}{\lambda_{\text{матр}}} \ll \frac{1}{\alpha} + \frac{L_{\text{ТПС}}}{\lambda_{\text{ТПС}}} + \frac{L_{\text{поры}}}{\lambda_{\text{поры}}}. \quad \text{Тогда:}$$

$$\frac{L}{\lambda} \sim \frac{1}{\alpha} + \frac{L_{\text{ТПС}}}{\lambda_{\text{ТПС}}} + \frac{L_{\text{поры}}}{\lambda_{\text{поры}}}. \quad (7)$$

В данном случае в соотношении (7) $\lambda_{\text{ТПС}}$ и $\lambda_{\text{поры}}$ – величины одного порядка, тогда как $L_{\text{ТПС}} \ll L_{\text{поры}}$, так как толщина теплового пограничного слоя, как минимум, на два порядка меньше, чем диаметр поры, особенно для пенобетона, у которого L находится в пределах от $1 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ м.

Условия перехода от теплопереноса методом теплопроводности к конвективной теплоотдаче оцениваются по численным значениям критериев Рэлея, Грасгофа, Прандтля. Численное значение критерия Рэлея представлено на рис. 1.

В [5] отмечается, что конвекция в единичной поре развивается при $R_a \geq 680$. В нашем случае для газобетона с диаметром пор 0,5 мм и разницей температур в пределах поры $\Delta T = 1^\circ\text{K}$ $R_a = 3,1 \cdot 10^{-4}$ для поры размером 3 мм и $\Delta T = 5^\circ\text{K}$: $R_a = 0,34$. Это гораздо меньше указанной величины, т. е. естественная конвекция в порах газобетона практически отсутствует.

Для пенобетона с диаметром пор 0,5 мм и разницей температур в пределах единичной поры $\Delta T = 1^\circ\text{K}$ $R_a = 0,0156$, для поры 3 мм и $\Delta T = 5^\circ\text{K}$: $R_a = 16,87$. Не-

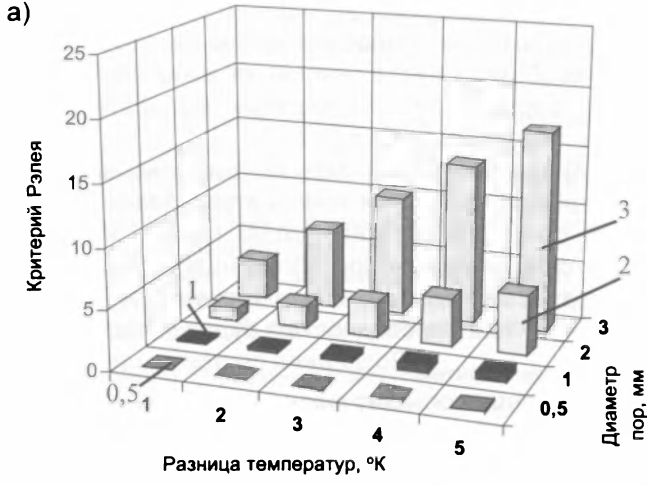
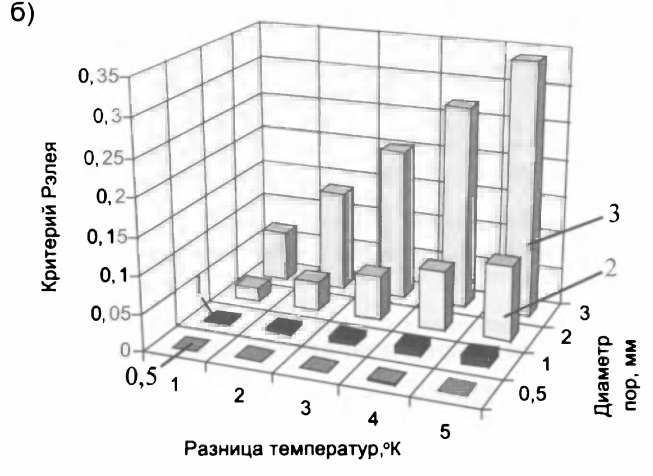


Рис. 1. Зависимость критерия Рэлея от размера пор и температуры



а - для пенобетона; б - для газобетона

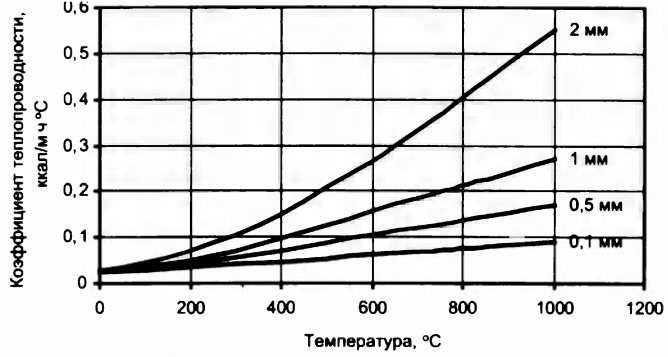


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности пенобетона от температуры и размера пор

обходимо подчеркнуть, что произведенные расчеты относятся к единичной поре. Сделанные при этом допущения о разности температур в пределах одной поры, равной 1°C, предполагают, что при толщине ограждающей стены, равной, как минимум, 20-30 см, общий перепад температуры превышает 100 °С, что значительно превосходит реальные величины.

Анализ результатов работы [8] показывает, что конвекция в горизонтальном слое пористого материала, подогреваемого снизу, начинается при критическом значении критерия Рэлея $Ra_{кр} > 40$. Во всех рассматриваемых случаях критерий Рэлея меньше 40 как для пенобетона, так и для газобетона. Это указывает на то, что конвективной составляющей в тепловом сопротивлении можно пренебречь.

Таким образом, $\frac{L}{\lambda} \sim \frac{L}{\lambda_{ТПС}}$. Отсюда следует, что определяющую роль при переносе тепла играет тепловой пограничный слой.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента теплопроводности от температуры для материала с различным размером пор [5], из которого следует, что чем больше размер пор, тем сильнее повышается коэффициент теплопроводности с ростом температуры. При этом в области до 100°C размер пор очень слабо влияет на коэффициент теплопроводности. При комнатной температуре коэффициент

теплопроводности пенобетона (рис. 1) в интервале диаметров пор от 0,1 до 2 мм практически не зависит от температуры, тогда как с ростом температуры размер оказывает все большее влияние на коэффициент теплопроводности. Это явление объясняется теорией теплового пограничного слоя [3]. Согласно этой теории, на внутренней поверхности пор, заполненных воздухом или другим газом, имеется тонкий слой, удерживаемый силами межмолекулярного притяжения, который обладает большим термическим сопротивлением. Этот слой достаточно устойчив при комнатной температуре, но при повышении температуры до 200-500 °С разрушается и утончается, что вызывает быстрый рост коэффициента теплопроводности с увеличением температуры.

При наличии устойчивого теплового пограничного слоя конвективные потоки в порах, движущиеся от одного пограничного слоя к другому, мало влияют на теплоперенос в порах газонаполненного материала. В связи с этим теплозащитные свойства газонаполненных материалов прежде всего зависят от толщины теплового пограничного слоя и в меньшей степени от конвективной составляющей, так как, согласно теории переноса, тепловое сопротивление многослойных материалов в основном определяется значением L/λ в слое с максимальным значением этой величины (здесь L – определяющий размер ячейки (поры), λ – коэффициент теплопроводности газа, заключенного в ней).

Из приведенных данных следует вывод, что в пено- и газобетонах, в которых диаметр пор не превышает 2-3 мм, конвективная составляющая теплопереноса не играет существенной роли, если температура не превышает 20-50 °С. В этой связи представляет интерес вопрос о том, при каком размере отверстий в пустотном кирпиче и стеновых блоках на основе вяжущего гидратационного твердения конвективная составляющая теплопереноса значительно снижает термическое сопротивление материала.

Разница температур между стенками поры, °K	Диаметр пор, мм, при котором критерий Рэлея			
	> 40	> 680	> 40	> 680
	пустоты заполнены воздухом		пустоты заполнены водородом	
1	7	18	26	65
2	6	14	20	52
3	5	13	18	45
4	5	12	16	41
5	5	11	15	38

Нами выполнен расчет численных значений критерия Рэлея при разности температур между стенками пустот в материале в пределах от 1 до 5 °K. Результаты расчетов для случаев конвекции в горизонтальном слое пористого материала, подогреваемого снизу, а также естественной конвекции приведены в таблице. Рассмотрены два варианта для материалов, в которых поры заполнены воздухом, либо водородом. Первый случай характерен для пустотных материалов (пустотного кирпича, блоков), второй – для газобетона на алюминиевой пудре с замкнутыми порами.

Результаты расчета приводят к выводу, что при естественной конвекции последняя играет роль при теплопереносе лишь при определяющем размере пустот 11-18 мм, в зависимости от температуры меж-

ду стенками пустот, и от 38 до 65 мм, в зависимости от газа, заполняющего пустоты.

Исходя из изложенного, можно сделать выводы о том, что коэффициент теплопроводности для теплоизоляционных ячеистых материалов (пенобетон, газобетон) при средней плотности не более 300-400 кг/м³ при температуре до 30-40 °C мало зависит от формы, размера ячеек, пористости перегородок. Совершенство поровой структуры не дает существенного улучшения теплофизических свойств, однако оказывает большое влияние на физико-механические свойства и долговечность изделий и конструкций из поробетонов.

Библиографический список

1. Королев А.С., Волошин Е.А., Трофимов Б.Я. Оптимизация состава и структуры конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона // Строит. материалы. 2004. - № 3. - С. 30 - 32.
2. Физические величины. Справочник / под ред. И.С. Григорьева; Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат. 1991. 1232 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: "Химия", 1973, 752 с.
4. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. - М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1962, 456 с.
5. Кауфман Б.Н. Теплопроводность строительных материалов. - М.: Изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1955, 159 с.
6. Сергеев О.А., Мень А.А. Теплофизические свойства полупрозрачных материалов. - М.: Стандарты, 1977, 288 с.
7. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справ. изд. - М.: Энергия, 1972, 560 с.
8. Власюк М.П., Полежаев В.Н. Естественная конвекция и перенос тепла в пронцаемых пористых материалах. - М.: АН СССР, 1975, №77, 78 с.

КОНСТРУКЦИИ

В.А. КАЛАТУЗОВ, канд. техн. наук (ООО "НПО "ИРВИК")

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫТЯЖНЫХ БАШЕН ГРАДИРЕН

Башенные градирни, широко применяемые в системах оборотного водоснабжения в энергетике и других отраслях промышленности, возводятся из монолитного железобетона в виде тонкостенных оболочек или из металлического каркаса с обшивкой. Учитывая, что градирня является ответственным технологическим сооружением, обеспечивающим процесс производства электроэнергии, абсолютно ясно, что сохранение и надежность эксплуатации вытяжных башен градирен является важной стратегической задачей обеспечения устойчивости энергетического потенциала страны. В этой связи для определения правильного пути развития градирен необходимы знания не только в области конструирования и проектирования, но и эксплуатации таких значимых высотных сооружений.

Башни из монолитного железобетона.

Градирни с вытяжной башней из железобетона сооружаются в нашей стране с 1949 г.

Обследования вытяжных башен градирен, расчеты на прочность и устойчивость, выполненные ООО "НПО "ИРВИК" на Новогорьковской ТЭЦ, Ярославской ТЭЦ-3, Артемовской ТЭЦ, градирен ОАО "Мосэнерго", Новолипецкого металлургического комбината и др. выявили массовые структурные повреждения железобетона, коррозию внутренней арматуры, создающих разрушающие напряжения в оболочке, превышающие предельно допустимые значения.

Анализ результатов обследований более раннего периода показывает, что процессы разрушения оболочек проявлялись уже в первый год эксплуатации. Несмотря на проводимые ремонтные работы, площади и объемы разрушений бетона постоянно уве-

личиваются, что в конечном счете приводит к образованию сквозных разрушений и потере несущей способности сооружения. По состоянию обследованных башен градирен очевидно, что применяемые технологии ремонтов в большинстве своем не учитывают все многообразие конструктивных и эксплуатационных особенностей конкретного сооружения.

Башенные градирни, возводимые из монолитного железобетона, – специфические сооружения как по конструкции, так и по условиям их эксплуатации. Оболочка вытяжной башни представляет собой тонкостенную монолитную железобетонную конструкцию, сильно насыщенную арматурой. В процессе эксплуатации железобетон оболочек подвергается большому многообразию воздействий, вызывающих или способствующих процессу разрушения сооружений. Условно агрессивные воздействия на оболочки градирен можно разделить на физические и химические. К первым относятся:

- перепады температур внутренней и наружной поверхности оболочки, а также поверхностей, обращенных к солнцу и находящихся в тени, достигающие соответственно 50-60 и 25-30 °С

- колебания влажности бетона от максимальной в конце зимы до минимальной летом

- изменения режима работы градирен и смены температур окружающей среды с частыми переходами через 0 °С в холодные периоды года, приводящие к многократным циклам замораживания и оттаивания бетона

- постоянный контакт бетона оболочки с воздушной средой, имеющей температуру 40-45 °С и влажность 95-100%, вызывающей одностороннее увлажнение бетона

- разрежения при всех режимах работы градирен, составляющие 1-30 Па.

Кроме этого, в системах технического водоснабжения часто производится химическая обработка циркуляционной воды, в результате которой она имеет слабокислую или слабощелочную реакцию, что оказывает существенное влияние на состав и соотношение химических воздействий.

К химическим воздействиям на железобетон оболочек относятся:

- коррозия I вида – вымывание из цементного камня бетона гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Данный процесс и его результаты видны невооруженным глазом на поверхности в виде подтеков белого цвета (рис. 1, 2). Вымывание происходит в результате фильтрации конденсата пара и атмосферной воды, градиент которой направлен от внутренней поверхности оболочки к наружной. Гидроксид кальция (свободная известь) выделяется в бетоне в количестве до 15% в процессе гидролиза и гидратации цементного клинкера. Этот продукт является структурной составляющей цементного камня, поддерживает высокую щелочность бетона ($\text{pH} > 11$) и тем самым обеспечивает защиту внутренней арматуры от коррозии. Снижение pH нарушает пассивированное сос-

тояние арматуры, что создает благоприятные условия для развития коррозии арматуры (рис. 3)



Рис. 1.



Рис. 2.

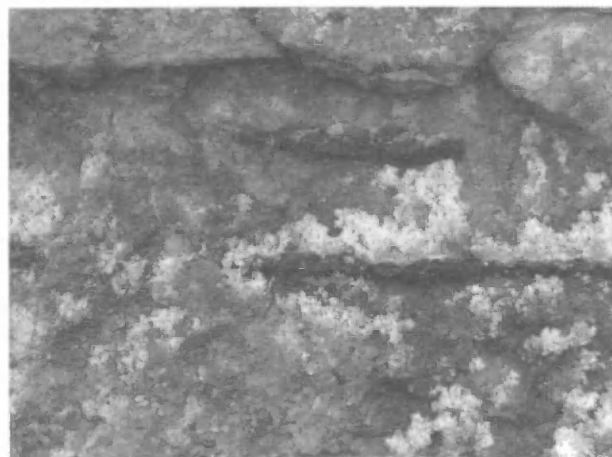


Рис. 3.

- коррозия II вида – развитие обменных реакций между кислотами и солями окружающей среды и составными частями цементного камня. При такой коррозии разрушение цементного камня идет в поверхностных слоях бетона, соприкасающихся с агрессивной средой, и процесс разрушения этих слоев может достичь полного развития при сохранившихся в прилегающих слоях бетона почти без изменения всех элементов цементного камня. Если новообразования не обладают достаточной плотностью, чтобы воспре-

пятствовать дальнейшему проникновению агрессивной среды, растворяются и смываются, то обнажаются более глубокие слои бетона, и так коррозия протекает до полного разрушения цементного камня

- коррозия III вида – накопление солей в порах бетона, вызывающих в нем нерасчетные напряжения и разрушения.

Отдельно в чистом виде коррозия всех видов встречается редко. При действии агрессивной водной среды на бетон в последнем обычно происходят процессы разрушения от всех трех видов коррозии, в разной степени, причем развитие одного вида коррозии может повлечь за собой развитие других видов.

В железобетонных оболочках градирен преобладающей является коррозия I вида, вызываемая односторонним действием воды и конденсата пара. Нейтрализацию такой коррозии на протяжении всего периода строительства и эксплуатации железобетонных оболочек пытались и пытаются решить различными способами, в том числе путем изменения состава применяемых цементов, использования различных ремонтных композиций специального назначения.

Важным и принципиальным отличием эксплуатации железобетонных башен в нашей стране и в западных странах являются климатические условия, стабильность тепловых нагрузок при эксплуатации. Качество применяемых материалов, технология возведения и ее соблюдение также являются определяющим фактором надежности и долговечности. Последние критерии, в свою очередь, зависят от условий эксплуатации.

До 1963 г. для приготовления бетона оболочек проектами предусматривалось применение смеси цементов: 2/3 (по весу) портландцемента марки 400 без активных добавок и 1/3 пуццоланового цемента марки 300 с активными гидравлическими добавками. В такой смеси содержалось 10-12% добавки-трепела (пуццолановая добавка), предназначенной для связывания свободной извести и предотвращения ее выноса из бетона. На данных цементах возводились оболочки градирен №№3,4 Артемовской ТЭЦ, разрушения бетона которых имеют массовый характер.

С 1963 г. для бетона оболочек в основном использовался сульфатостойкий портландцемент без активных или неактивных добавок. На таком цементе, в частности, возводилась оболочка башни градирни №1 Ивановской ТЭЦ-3, №1 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго" и др., имеющих значительные разрушения, характерные для бетонов, приготовленных на сульфатостойком цементе без активных гидравлических добавок.

Совершенствование технологии производства и улучшение качества цемента оценивали по росту во времени его прочности, но это, как известно, еще не говорит об одновременном повышении его стойкости. Увеличение тонкости помола и коэффициента насыщения цемента известью может в известной мере вызвать снижение стойкости цементного камня при некоторых внешних воздействиях. Именно стойкость цементов против воздействия определенных

агрессивных факторов является определяющим, основным показателем долговечности бетона.

Необходимо понимать, что степень агрессивности среды определяется не только ее химическим составом, но и комплексом физических и физико-механических факторов, характеризующих условия контакта среды с капиллярно-пористой структурой бетона, особенности процессов коррозии. Степень агрессивности различна по отношению к бетонам разной плотности и разного состава. Относительность этого понятия легко просматривается на примере применения пуццолановых добавок.

Гидравлические (пуццолановые) добавки играют важную роль в затвердевшем цементном камне, связывая гидроксид кальция, улучшая микроструктуру цементного камня и образуя микробетон более однородной структуры. С этой точки зрения, введение даже неактивной или малоактивной добавки, например, молотого известняка или молотого песка, обеспечивает повышение плотности цементного камня с соответствующим увеличением его стойкости. Поглощение гидроксида кальция введенной активной минеральной добавкой мешает скоплению кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в толще цементного камня. Эти скопления являются очагами разрушения цементного камня при действии сульфатов. Однако при введении добавки, например, трепела или опоки, т.е. материалов, обладающих большой влагоемкостью, скорость капиллярного подсоса воды в цементном камне значительно увеличивается. Это особенно сказывается на стойкости бетона при одностороннем действии воды и наличии поверхности испарения. В этом случае гидравлическая добавка не повышает, а понижает стойкость цементного камня.

При оценке стойкости и долговечности бетона необходимо учитывать как физические (в основном плотность), так и химические факторы (степень связывания гидроксида кальция, состав вяжущего и т.д.). Очень важное влияние на коррозионную стойкость бетона оказывает водоцементное отношение. Многочисленные исследования, проведенные в середине прошлого века, подтвердили ранее полученные сведения о том, что повышение В/Ц, увеличение продолжительности бетонирования и снижение влажности среды, в которой происходит твердение бетона, повышает его проницаемость.

Исследования бетонов различных составов в условиях, приближенных к условиям работы оболочки башенной градирни, показали, что бетоны с В/Ц = 0,40 на сульфатостойком цементе и высококачественных заполнителях обладают наибольшей устойчивостью к коррозии. Водоцементное отношение должно устанавливаться и в зависимости от климатических условий его необходимо принимать равным 0,38-0,40, а для южных районов – 0,43-0,45. Однако несмотря на достаточно глубокие научные исследования в области составов бетона и применения их на практике добиться требуемого качества приготовле-

ния бетона, способов его укладки и ухода не получается. Процесс разрушения бетона оболочек вытяжных башен под воздействием фильтрующей влаги до сих пор предотвратить не удастся, что вполне объяснимо наличием большого количества вышериведенных сочетаний факторов, способствующих разрушению. Соотношения этих факторов имеют индивидуальный характер для каждого конкретного сооружения.

На водонепроницаемость бетона существенное влияние оказывают технология и качество возведения оболочек. Как известно, в мировой практике существуют два варианта возведения железобетонных оболочек: в переставной опалубке (с большим количеством швов) и в скользящей, позволяющей вести непрерывное бетонирование. При этом водонепроницаемость бетона, имеющего рабочие швы бетонирования, примерно в два раза ниже, чем бетона без швов.

В оболочках, возведенных в скользящей опалубке, как правило, пониженной водонепроницаемостью обладают поверхности, образующие цилиндрические вертикальные полости, оставшиеся от опорных стержней опалубки. Помимо развития процессов коррозии бетона, характерных для всех вытяжных башен градирен из железобетона, по направлению расположения вертикальных полостей начинается преждевременное разрушение бетона в виде вертикальных трещин, возникающих от физических усилий замерзающей в них воды.

Очевидно, что механизмы разрушений бетона вытяжных оболочек башен градирен намного сложнее и многообразнее, чем в любых других сооружениях из железобетона. При этом деструктивные процессы в теле оболочек башен имеют необратимый и практически неконтролируемый характер. Ремонтные мероприятия не дают гарантии останова процессов деструкции. По этим причинам зафиксировано значительное число аварий железобетонных башен в Великобритании, Польше, России, Казахстане.

Накоплен большой опыт по применению различных защитных материалов с целью предотвращения воздействия на железобетон конденсата пара. Многие из них по различным причинам непригодны для условий эксплуатации железобетонных башен градирен, так как носят экспериментальный и, как правило, локальный характер. Применение того или иного материала или технологии зависит от субъективности выбора поставщика или производителя. В качестве гидроизоляции использовались покрытия на основе битумного праймера, перхлорвиниловых лаков, эпоксидных смол, специальных ремонтных и гидроизоляционных материалов на цементной основе и многие другие составы. В основном так же, как и у железобетона, разрушения защитных покрытий происходят после первого года их эксплуатации.

Практикой эксплуатации и научными исследованиями определено, что защитные свойства различных видов покрытий в значительной степени зависят

от состояния поверхности железобетона. Оптимальные показатели адгезии достигаются при поверхностной пористости не более 5-7% и ее влажности менее 5%. Данные условия во многих случаях невыполнимы, как уже отмечалось выше, по конструктивным условиям, качеству укладки бетонной смеси, наличию структурных разрушений в бетоне, возникших в процессе длительной эксплуатации, и др.

Одним из видов ремонта и гидроизоляции является нанесение торкретного покрытия на основе цементно-песчаных смесей. В основном торкрет готовится на портландцементе и подвергается тем же коррозионным разрушениям, что и бетон оболочки. В процессе эксплуатации на поверхности торкрета образуются многочисленные трещины являющиеся первым признаком начала его разрушения. Трещины возникают из-за несоизмеримых отношений толщины торкретного слоя и возникающих в нем температурных напряжений (рис. 4).



Рис. 4.

Срок эксплуатации торкретного покрытия не превышает 3-4 лет. Ремонтные мероприятия на наружной поверхности железобетона торкретированием способствуют ускорению структурного разрушения бетона оболочек, вызываемого коррозией I-III видов. Прочность бетона под торкретом снижается до 50 кг/см^2 при расчетных 300 кг/см^2 , в местах полного разрушения образуются сквозные дыры. Одновременно торкретное покрытие создает нерасчетную нагрузку на опорную колоннаду и фундаменты градирни, таким образом способствуя процессу разрушения опорных конструкций. Например, для башни градирни площадью орошения 1520 м^2 дополнительная нерасчетная нагрузка при двухстороннем торкретировании составляет 800 т .

Железобетонные башни требуют значительных затрат на их ремонт, частота и периодичность которого зависит от многих факторов. Ремонтные расходы превосходят первоначальные капитальные затраты, на проведение этих ремонтов требуются существенные затраты в течение всего срока работы сооружения. Единовременные затраты только на ремонт оболочки градирни площадью орошения 1520 м^2 достигают 50-60 млн. р. При этом ремонты начинают проводить уже в первые пять лет. Для сравнения, заме-

на отдельных элементов в башнях из металлических каркасов после 30-40 лет эксплуатации обходится в 3-10 млн. р. Стоимости зависят от агрессивности среды, качества антикоррозионного покрытия и периодичности восстановительных работ.

При определении материала и конструкций для строительства башен градирен учитываются индивидуальные климатические условия страны, структура и режимы эксплуатации электростанций, которые определяют комплекс факторов, оказывающих влияние на долговечность и надежность эксплуатации. Наиболее значимыми из них являются климатические условия. Территориально применение железобетонных башен градирен ограничено СНиП в зависимости от отрицательных значений температуры атмосферного воздуха. Расчетным значением является температура наиболее холодной пятидневки.

В нормах технологического проектирования ВНТП 81, п.10.1.37 ограничения записаны: "...Градирни с башнями из монолитного или сборного железобетона следует применять в районах с расчетной температурой наиболее холодной пятидневки минус 28 °С и выше".

По СНиП 2.01.01.-82 температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 для Москвы -30 °С.

СНиП 2.04.02-84 (табл 4.2, п.7) ужесточил эти ограничения. При расчетных температурах наружного воздуха ниже -20 °С до -40 °С вытяжные башни из железобетона не применяются. Большая часть страны находится в этих условиях. Однако, как показывает практика эксплуатации, численное значение отрицательных температур не является определяющим критерием и границей. Для работающих градирен важен период их длительности и цикличности. Таким образом, даже Москва является районом, где недопустимо строительство градирен из железобетона.

Башни из металлического каркаса

Из общего числа башенных градирен башен из металлического каркаса значительно больше (около 80%). И это не случайно. По надежности, капитальным и эксплуатационным затратам на территории Российской Федерации предпочтительным является вариант с каркасно-обшивной вытяжной башней градирни из металлических конструкций.

Он представляет собой пространственную стержневую конструкцию, состоящую из угловых стоек, раскосов и горизонтальных колец жесткости. Усилия от металлокаркаса на фундаменты передаются через опорные узлы угловых стоек. Последние, как правило, выполнены в виде спаренных ферм, что обусловлено характером возникающих усилий (изгибающих моментов) (рис. 5).

Расчеты железобетонной башни градирни и башни из металлического каркаса имеют существенные отличия. Первая рассчитывается на восприятие нагрузок, как тонкостенная оболочка. В ней возникают усилия только в плоскости оболочки. Усилия, направленные из плоскости оболочки, отсутствуют. Уси-

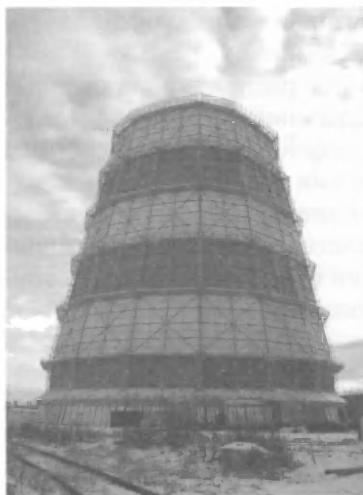


Рис. 5. Башенная градирня на основе металлического каркаса

лия от железобетонной оболочки передаются на нижнее кольцо жесткости, которое рассчитывается, как балка-стенка. В балке-стенке все усилия также распределяются в ее плоскости. Усилия, направленные из этой плоскости, отсутствуют. Усилия от нижнего кольца жесткости передаются на опорную колоннаду, элементы которой рассчитаны, как центрально сжатые стержни, и фундамент выполнен в виде кольцевой наклонной плиты. Стенка водосборного бассейна является одновременно фундаментом опорной колоннады. Стойки наклонной колоннады и стенка расположены в одной плоскости. Поэтому стенка водосборного бассейна рассчитана на восприятие только сжимающих усилий, передаваемых на нее наклонной колоннадой.

От металлокаркаса вытяжной башни на фундаменты передаются радиально направленные изгибающие моменты. Стенка водосборного бассейна не рассчитана на восприятие радиально направленных изгибающих моментов и не может быть использована как фундамент новой башни. Наличие изгибающего момента, конструктивные особенности угловых стоек и условия передачи усилий определяют разное конструктивное исполнение фундаментов под башни из железобетона и металлокаркаса.

Для замены отработавших свой ресурс вытяжных башен градирен площадью орошения 1520 м² на действующих электростанциях ООО "НПО "ИРВИК" разработан и внедрен уникальный проект каркасно-обшивной башни градирни площадью орошения 1800 м². Помимо преимуществ конструкции башни, данный тип градирни позволяет увеличить производительность градирни и системы технического водоснабжения электростанции. Данная технология успешно применена в системе технического водоснабжения ТЭЦ-ПВС Новолипецкого комбината при замене градирен №№1, 2.

При разработке проекта замены железобетонных градирен были учтены определенные ограничительные условия по:

- архитектурным требованиям – башня не должна быть выше установленных рядом градирен №№ 3-7

- стесненности территории с рядом расположенными градирнями и сооружениями

- геодезической отметке расположения опорных конструкций водораспределения

- конструктивному исполнению схемы системы технического водоснабжения электростанции.

Башни вновь установленных градирен представляют собой пространственно жесткий металлический каркас. Геометрия башни максимально вписана в плановое расположение демонтированной железобетонной башни. При этом использованы конструктивные особенности чаши, фундаментов, конфигурации башни. Проекты градирен выполнены с применением современных САПР, используя программные комплексы трехмерного моделирования.

САПР позволяет создавать трехмерные модели металлокаркасов с детальной проработкой узлов, из которой затем автоматически генерируются детализированные чертежи металлоконструкций, сборочные чертежи (планы, разрезы), общие виды (изометрии, перспективы), различные спецификации металла и метизов. Одновременно возможна трехмерная визуализация созданной модели в интерактивном режиме. Использование САПР обеспечивает высокую точность изготовления чертежей и конструкций, совпадение размерностей которых производится контролирующей программой, обес-

печивающей сборку трехмерной модели в компьютере.

С помощью программного комплекса САПР разработаны уникальные проекты металлокаркасов башенных и вентиляторных градирен, по которым построены объекты на Березниковской ТЭЦ, Пермской ТЭЦ-9, Северо-Западной ТЭЦ (Санкт-Петербург), Тюменской ТЭЦ-2, Рязанском и Саратовском нефтеперерабатывающих заводах и др.

Каждый из проектов индивидуален. Например, башня градирни площадью орошения 3200 м² Северо-Западной ТЭЦ с целью сохранения единства архитектурного восприятия имеет геометрическую форму рядом стоящей башни из железобетона.

В отличие от традиционно воспринимаемых башен из металлического каркаса с внутренней обшивкой башня градирни Северо-Западной ТЭЦ имеет внутреннюю и внешнюю обшивки, металлический каркас находится между ними в вентилируемом естественным путем пространстве. При этом исключается разрушающее и способствующее развитию коррозии прямое воздействие атмосферных факторов и воздействий пара из градирни непосредственно на металлический каркас, исключены цикличность увлажнения и высыхания, температурная цикличность. Таким образом, разработанная конструкция является еще одним шагом на пути к обеспечению надежности сооружений подобного типа.

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В.Б. ПЕРМЯКОВ, д-р техн. наук, проф., И.Л. ЧУЛКОВА, канд техн. наук, доц. (Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск); С.М. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доц. (Сибирский государственный ун-т путей сообщения, г. Новосибирск)

ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

Для оценки организационно-технологической надежности работы строительных машин авторами предложено использовать различные имитационные модели строительных процессов. Под имитационным моделированием понимается воспроизведение процессов, происходящих в системе, с искусственной имитацией случайных величин, от которых зависят эти процессы, с помощью датчика случайных чисел. Алгоритм обоснования организационно-технологической надежности производства бетонных работ составлен с использованием метода Монте-Карло. Имитационная модель позволяет учесть влияние возможных реакций на различные ситуации, возникающие при строительстве, на эффективность принимаемого организационно-технологического решения. Одним из основных факторов, влияющих на реализацию календарных планов при строительстве

сооружений, является организационно-технологическая надёжность (ОТН) работы машин при ведении строительно-монтажных процессов. Под организационно-технологической надёжностью понимается вероятность достижения проектных (рекомендуемых) параметров механизированного строительного производства. В основу разработки принципа ОТН заложен вероятностно-статистический подход. Детальное изучение специфики работы системы машин в строительном производстве, многообразных, многочисленных организационно-технологических отклонений и других дестабилизирующих производство факторов, приводящих к изменению параметров работы специализированных по видам работ комплектов машин (СКМ), а также принципов взаимодействия этих факторов с имеющимися сбоями, позволяет рассчитать ОТН строительства [1].

В связи с этим авторами разработана программа "ОТНВ", предназначенная для автоматизации расчета продолжительности и ОТН производства бетонных работ на строительной площадке [2]. Схема оценки ОТН работы машин при производстве бетонных процессов приведена на рис. 1. Оценка ОТН начинается с подбора состава бетона. Для этой цели в СиБАДИ создана база данных по результатам испытаний прочности бетонов на образцах-кубах размером 15×15×15×см в лабораториях заводов железобетонных изделий (ЗЖБИ) г. Омска. Авторами также разработаны вероятностные модели подбора составов тяжелых и легких бетонов. Например, данные таблиц [3] позволяют подобрать при известной стандартной ошибке примерный состав тяжелой бетонной смеси.

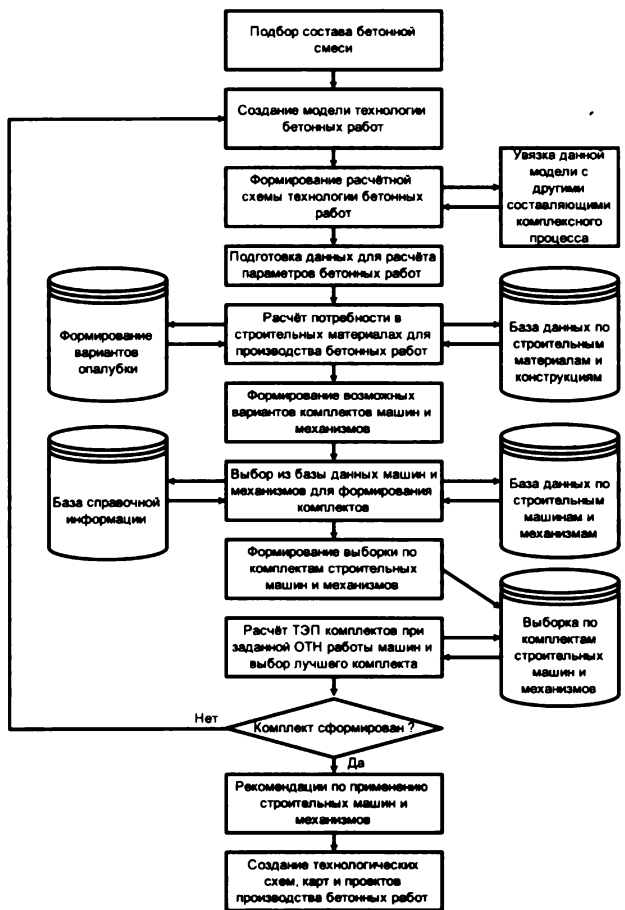


Рис. 1. Оценка организационно-технологической надежности работы машин при производстве бетонных процессов

Затем по данным подбора состава бетона определяется коэффициент выхода бетонной смеси (формула 2) и рассчитывается производительность бетоносмесителя циклического действия (формула 1). Циклический процесс приготовления смеси состоит из ряда последовательно чередующихся операций: дозирование исходных материалов, подача их в смеситель, перемешивание и выгрузка готового замеса.

$$P_{\text{бс}} = \frac{3600}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_{\text{зам}} \times T_c \times K_v}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

$$K_{\text{вых}} = \frac{\frac{Ц}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{К}{\gamma_{\text{к}}} + \frac{М}{\gamma_{\text{м}}} + В}{\frac{Ц}{\gamma_{\text{ц0}}} + \frac{К}{\gamma_{\text{к0}}} + \frac{М}{\gamma_{\text{м0}}}}, \quad (2)$$

$$V_{\text{зам}} = V_{\text{загр}} \times K_{\text{вых}}, \quad (3)$$

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{загр}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{выгр}} + t_{\text{пб}}, \quad (4)$$

где n - число проектировок; $V_{\text{загр}}$ - объем загрузки, м³; $V_{\text{зам}}$ - объем замеса, м³; $K_{\text{вых}}$ - коэффициент выхода бетонной смеси (при отсутствии точных данных его следует принимать равным 0,6...0,7); T_c - продолжительность смены, ч; $t_{\text{ц}}$ - время цикла, с; $\gamma_{\text{ц}}$ - плотность цемента, т/м³; $\gamma_{\text{к}}$ - плотность крупного заполнителя, т/м³; $\gamma_{\text{м}}$ - плотность мелкого заполнителя, т/м³.

На рис. 2 показан пример обработки выборки объемом 165 записей результатов натурных испытаний по работе бетоносмесителя СБ-138А, а на рис. 3 приведена ОТН работы смесителя. Данные обработки статистической информации выборки по производству работ бетоносмесителем СБ-138А приведены в табл. 1.

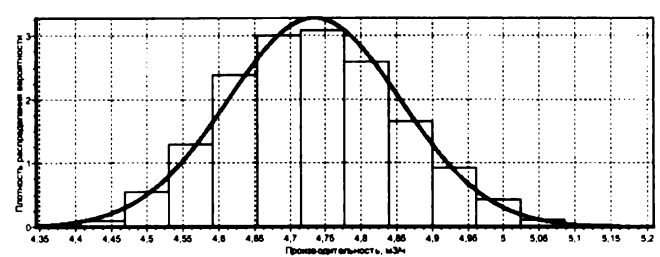


Рис. 2. Плотность распределения вероятности при работе бетоносмесителя СБ-138А

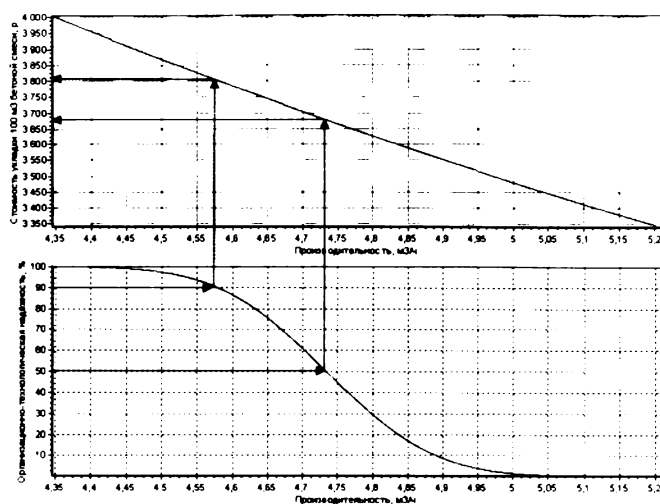


Рис. 3. Стоимость и организационно-технологическая надежность транспортировки на 8 км, укладки, подачи и уплотнения 100 м³ бетонной смеси

Перед расчетом показателей выборки для доказательства обоснованности значений по результатам

натурных испытаний проводились два этапа проверки (очистки):

- логическая, при которой по замечаниям наблюдателя из рядов исключали значения, не относящиеся к нормируемому процессу;

- математическая, при которой методами математической статистики определяли правомерность отклонений.

Таблица 1

Показатели выборки по работе бетоносмесителя СБ-138А

Наименование показателя	Величина
ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	
Число опытов, шт.	165
Уровень значимости	0,05
Число степеней свободы, шт.	3
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	
Минимальное значение	84,6400
Максимальное значение	99,8000
Выборочное среднее значение	92,3782
Выборочное стандартное отклонение	2,8420
Стандартное отклонение	2,8506
Средняя квадратическая ошибка	0,2219
Ошибка в % от среднего значения	0,2402
Эмпирическая дисперсия выборки	8,1261
Коэффициент вариации	0,0880
Вычисленное значение критерия Пирсона	7,3506
Табличное значение критерия Пирсона	11,0443
Число интервалов	8

Далее по формулам 5...15 подбирается комплект машин для транспортировки бетонной смеси.

$$P_c = \frac{3600}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m \times V_{зам} \times T_c \times K_v}{t_{ам}}, \quad (5)$$

$$P_{ам} \geq m \cdot V_{зам} \cdot \gamma_{бс}, \quad (6)$$

$$V_{абв} = m \cdot V_{зам}, \quad (7)$$

$$V_{куз} \geq V_{абв}, \quad (8)$$

$$t_{ам}^* = t_{ногр} + \frac{L_{груз}}{V_{груз}} + t_{разгр} + \frac{L_{нор}}{V_{нор}}, \quad (9)$$

$$t_{ногр} = m \cdot t_{бс}, \quad (10)$$

$$t_{разгр} = t_{под} + t_{оч} + t_{оп} + t_{ман}, \quad (11)$$

$$t_{разгр} = \frac{V_{абв}}{\Pi_{бн}}, \quad (12)$$

$$t_{ам}^* = t_{ногр} + \frac{L_{груз}}{V_{груз}} + t_{разгр} + \frac{L_{нор}}{V_{нор}}, \quad (13)$$

$$t_{ам} = t_{ногр} \cdot N, \quad (14)$$

$$t_0 = t_{ам} - t_{ам}^* \quad (15)$$

где n - число проектировок; $t_{ам}$ - время цикла транспортного процесса; $t_{ам}^*$ - время цикла транспортного процесса при времени ожидания, равном нулю; t_0 - время ожидания погрузки; c ; N - необходимое количество автотранспорта, исходя из условия обеспечения непрерывной работы ведущей машины (бетоносмесителя) и дальности возки бетонной смеси; $V_{куз}$ - вместимость кузова автотранспорта, м³; $P_{ам}$ - грузоподъемность автотранспорта, т.

В табл. 2 приведены показатели машин для производства бетонных работ при строительстве монолитного сооружения в г. Новосибирске.

Таблица 2

Показатели машин для производства бетонных работ

Показатель	Величина
Дальность возки бетонной смеси, км	8,00
Плотность бетонной смеси, т/м ³	2,10
Подвижность бетонной смеси, см	1,0
Характеристика бетоносмесителя	
Вид: Принудительный	
Марка: СБ-138А	
Стоимость машино-часа, р.	28,57
Зарботная плата за час, р.	10,06
Объем замеса, м ³	1,00
Время цикла бетоносмесителя, с	92
Характеристика автотранспорта	
Вид: Автобетоносмеситель	
Марка: СБ-27	
Стоимость машино-часа, р.	124,92
Зарботная плата за час, р.	24,98
Вместимость кузова, м ³	6,0
Грузоподъемность, т	12,600
Масса, т	14,000
Время установки под погрузку, с	30
Время выгрузки бетонной смеси, с	720
Средняя скорость возки, км/ч	21,90
Характеристика бетоноукладчика	
Вид: Бетононасос	
Марка: СБ-165	
Стоимость машино-часа, р.	510,33
Зарботная плата за час, р.	25,10
Производительность, м ³ /ч	40,00
Характеристика вибратора	
Вид: Глубинный	
Марка: ИВ-108	
Стоимость машино-часа, р.	1,90
Зарботная плата за час, р.	0,00
Диаметр рабочей части, мм	76
Частота, Гц	200
Длина вибронаконечника, мм	480
Время цикла вибрирования, с	90,00

На рис. 3 показана зависимость изменения себестоимости производства 100 м³ бетонных работ от производительности СКМ. Проведенные исследования позволили выявить три основных фактора, влияющих на часовую производительность СКМ и построить модель этой зависимости (табл. 3).

В результате исследований были выявлены зависимости стоимости производства работ СКМ от их производительности и организационно-технологической надежности.

Таблица 3

Модель часовой производительность СКМ

Фактор	Значимость фактора, %	Многофакторная модель
		$B_m = + 9,471593E+0000$
Время цикла автотранспорта	83.24	$- 1.245177E-0003 * T_{ati}$
Время цикла бетоноукладчика	13.02	$- 1.247043E-0003 * T_{bui}$
Время цикла бетоносмесителя	3.74	$- 1.239420E-0003 * T_{bsi}$

Выводы

1. Предложен единый метод оценки организационно-технологической надёжности производства бетонных работ на строительной площадке, позволяющий прогнозировать основные показатели этих работ. Этот метод является универсальным и его мож-

но использовать для оценки ОТН производства строительно-монтажных работ на реальных строительных объектах.

2. При оптимизации работы парков, комплексов, комплектов и отдельных машин рекомендуется учитывать организационно-технологическую надежность их работы, что способствует повышению ОТН строительства, составлению более реальных ПОС, ППР и календарных графиков производства строительно-монтажных работ.

3. Организационно-технологическую надежность работы автобетоносмесителей (вспомогательных машин) рекомендуется определять по формуле

$$OTN = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} OTN_i \times \Pi_i \times n_i}{\sum_{i=1}^{i=N} \Pi_i \times n_i}, \quad (16)$$

где OTN_i - организационно-технологическая надежность производства работ бетоносмесителем i -го вида; N - количество видов автобетоносмесителей в комплекте; Π_i - производительность автобетоносмесителя i -го вида; n_i - число автобетоносмесителей i -го вида в комплекте.

Библиографический список

1. Пермяков В.Б., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности работы строительных машин // Механизация строительства. - 2008. - № 11. - С. 24 - 29.
2. Кузнецов С.М., Чулкова И.Л. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 11485 "ОТН производства бетонных работ при строительстве зданий и сооружений" от 04.09.2008.
3. Чулкова И.Л., Санькова Т.А., Кузнецов С.М. Вероятностная модель подбора составов тяжелых бетонов // Изв. вузов. Строительство. - 2008. - № 10. - С. 39 - 43.

К сведению авторов

Статья, представляемая в редакцию журнала для публикации, должна соответствовать следующим требованиям.

1. Объем статьи не должен превышать 10-12 страниц компьютерного набора в программе Microsoft Word, межстрочный интервал – полуторный или двойной. Шрифт: Times New Roman, начертание – обычное (без переносов), размер – 14. Оптимальный объем статьи не более 15000 знаков. Необходимо приложить дискету.

Иллюстрации к статье следует представлять отдельными файлами в форматах: Photoshop TIFF, JPEG, BMP; Illustrator EPS, Corel Draw EPS (все тексты в кривых); дополнительно можно помещать их в Word. Чертежи, сделанные в программах типа AutoCAD, принимаются только экспортированные в TIFF или JPEG. Сложные формулы набирать в формульном редакторе Word.

2. Если к статье прилагаются оригиналы иллюстраций, то на обороте каждой из них мягким карандашом необходимо указать их порядковый номер и фамилию автора, в необходимых случаях пометить "верх".

Чертежи, графики должны быть четкими, без лишних надписей, цифр, размером не более А4, выполненными карандашом или тушью, позиции на чертежах следует нумеровать по часовой стрелке, начиная с правого нижнего угла. Фотографии – размером не менее 9x12 см и не более А4.

3. К статье должен быть приложен список иллюстраций с подрисовочными подписями, в тексте – ссылки на иллюстрации (в первоначальном виде и после доработки).

4. К научной статье обязательно прилагаются аннотация и рецензия на нее ученых или ведущих специалистов в данной области.

5. Статья должна быть подписана авторами и содержать сведения обо всех авторах: фамилию, имя и отчество (полностью), место работы (полное и сокращенное название учреждения), должность, ученую степень, адрес с почтовым индексом (служебный и домашний), номера телефонов (служебный и домашний).

Б.В. КАРАБАНОВ, д-р техн. наук ("ПОИСК1")

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

В "Пособии" [1] по проектированию жилых зданий регламентируется расстояние между температурными швами, которое требуется выдерживать в том случае, когда не проведен специальный расчет на температурные воздействия. В соответствии со СНиП [2] усилия в статически неопределимых железобетонных конструкциях вследствие изменения температуры, как правило, необходимо определять с учетом неупругих деформаций арматуры и бетона. Актуальность проведения расчетов на температурные воздействия с учетом неупругой работы железобетона следует из того, что аналогичный расчет в линейной стадии, например, для плит перекрытий зданий приводит зачастую к увеличению усилий растяжения до 2,5 раз и связанному с этим чрезмерному расходу арматуры.

Между тем, в соответствии со СНиП [2], для конструкций, методика расчета которых с учетом неупругих свойств железобетона не разработана, допускается усилия в статически неопределимых конструкциях определять в предположении их линейной упругости. Однако образование трещин в железобетонных элементах при расчете на температурные воздействия существенным образом изменяет напряженное состояние, в частности, плит перекрытий здания, и усилия при этом должны определяться только с учетом нелинейной работы железобетона.

В статье приведены особенности расчета на температурные воздействия, которые относятся, во-первых, к расчетной величине Δt – изменению во времени средней температуры по сечению конструкций здания, включая величину Δt для монолитной фундаментной плиты, и, во-вторых, к особенностям расчета с учетом нелинейной работы железобетона, в том числе с учетом образования трещин, для случаев ручного счета, а также использования в программном комплексе Лира 9 нелинейных конечных элементов.

1. Определение расчетной величины Δt для наземных конструкций здания в соответствии со СНиП [3].

В соответствии с п.3.25 [1] усилия, возникающие в несущих конструкциях зданий из-за стеснения их температурных деформаций, определяются только для строительного периода как для неотопливаемого здания. Для стадии возведения расчетным является случай, когда здание возведено в теплое время года

и до замыкания конструкции здания охлаждаются вследствие понижения температуры наружного воздуха в холодное время года. При этом усадочные деформации можно не учитывать, поскольку в холодное время года деформации усадки бетона не увеличиваются. Другой случай, когда температура повышается (здание возведено в холодное время), допускается не рассматривать, потому что температурные и усадочные деформации в рассматриваемом случае противоположны по знаку, а сжимающие усилия в плитах перекрытий здания относительно невелики.

Нормативное значение Δt в теплое время года равно $\Delta t = t_w - t_{oc}$, где t_w – нормативное значение средних температур по сечениям элемента в теплое время года; $t_w = t(V11) + 6$ °С, $t(V11)$ – многолетняя средняя месячная температура воздуха в июле по СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика" – для Москвы равна 18,1 °С. Начальная температура t_{oc} , соответствующая замыканию конструкций здания в законченную систему в холодное время года, равна $t_{oc} = 0,2 t(V11) + 0,8 t(1)$. $t(1)$ – средняя месячная температура воздуха в январе в соответствии со СНиП 2.01.01-82 – для Москвы равна -10,2 °С. $t_{oc} = 0,2 \times 18,1 - 0,8 \times 10,2 = -4,54$ °С; $\Delta t_w = 18,1 + 6 - (-4,54) = 28,64$ °С.

Расчетный уровень величины Δt с учетом условий возведения по п.1.3 СНиП [3] (расчетные значения температурных воздействий снижаются на 20%) при коэффициенте надежности по нагрузке для температурных воздействий 1,1 равен $\Delta t = 28,64 \times 0,8 \times 1,1 = 25,2$ °С.

Таким образом, расчетная величина Δt для наземных конструкций при учете кратковременных нагрузок равна 25,2 °С (при понижении температуры). Для фундаментной плиты СНиП [3] не позволяет определить величину Δt , однако, учитывая, что для нижней поверхности фундаментной плиты летние и зимние температуры можно принять близкими, среднюю температуру Δt для фундаментной плиты можно принять равной $25,2/2 = 12,6$ °С.

2. Особенности расчета монолитных железобетонных зданий на температурные воздействия.

На простом примере покажем, какова причина возникновения усилия растяжения N в плите диска

перекрытия при понижении температуры на Δt ($\Delta t = 25,2$ °С для г. Москвы) – рис. 1.

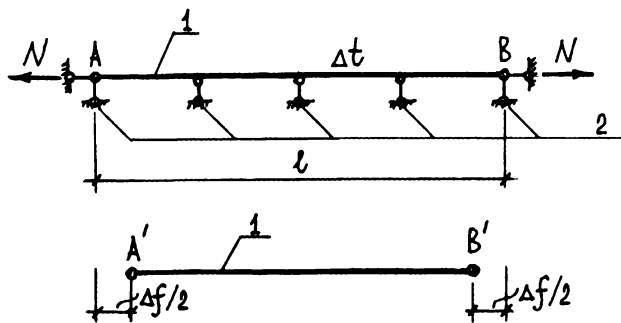


Рис. 1. Расчетная схема для плиты участка диска перекрытия

A, B - места крепления к лестнично-лифтовым блокам; A', B' - положение точек A и B при возможности свободного смещения по горизонтали; 1 - плита; 2 - опирание на колонны

Свободно лежащая на опорах плита толщиной $h = 25$ см при длине $l = 35,4$ м укорачивается на величину $\Delta f = \alpha \Delta t l = 1,0 \times 10^{-5} \times 25,2 \times 3540 = 0,89$ см ($\alpha = 1,0 \times 10^{-5}$ 1/°С [4] – коэффициент линейного расширения бетона при температуре в пределах от -50 до +50 °С для тяжелого бетона). Найдем усилие растяжения N , при котором обеспечивается удлинение этой свободно лежащей плиты на величину $\Delta f = 0,89$ см. Полученное усилие будет решением данной статически неопределимой задачи.

Рассчитаем удлинение плиты при усилении трещинообразования $N_{\text{крс}}$ непосредственно перед образованием трещин. По [2], $N_{\text{крс}} = R_{\text{bt,ser}} A_b$ (1). Для бетона класса B25 $R_{\text{bt,ser}} = 16,3$ кгс/кв.см. Для полосы бетона шириной 1 м площадь сечения A_b равна $A_b = 100 \times 25 = 2500$ кв.см. $N_{\text{крс}} = 40750$ кгс. Деформативность плиты при растяжении определяется при модуле деформации бетона при растяжении E_{bt} , равном [4] $E_{\text{bt}} = 0,5 E_b = 0,5 \times 3,06 \times 10^5 = 1,53 \times 10^5$ кгс/кв.см (E_b – начальный модуль упругости бетона при сжатии). Непосредственно перед образованием трещин при усилении $N_{\text{крс}}$ удлинение плиты Δf^* равно $\Delta f^* = N_{\text{крс}} l / (E_{\text{bt}} A_b) = 0,38$ см.

Поскольку $\Delta f^* = 0,38$ см $<$ $\Delta f = 0,89$ см, то при $N = N_{\text{крс}}$ начнется процесс раскрытия поперечных трещин, который продолжится до тех пор, пока удлинение плиты не станет равным 0,89 см. Расстояние между трещинами при растяжении плиты равно [4] $l_{\text{крс}} = \eta A_b / s$, где $\eta = 0,7$ – опытный коэффициент для арматуры периодического профиля; s – периметр арматуры; при армировании верхней и нижней зоны 5 стержнями диаметром $d = 1,6$ см $s = 10 \pi d = 50,3$ см. Кратковременное раскрытие поперечных трещин при

этом равно [2] $a_{\text{крс}} = 0,158$ мм. На длине 35,4 м может возникнуть примерно 102 поперечные трещины с общей шириной раскрытия 1,61 см $>$ $\Delta f = 0,89$ см. Таким образом, стесненное укорочение плиты при понижении температуры на $\Delta t = 25,2$ °С будет полностью погашаться в пределах образовавшихся поперечных трещин, при этом усилие растяжения равно усилию, при котором образуются трещины ($N = N_{\text{крс}}$).

Отметим, что при учете упругой работы бетона с модулем деформации при растяжении $E_{\text{bt}} = 1,53 \times 10^5$ кгс/кв.см усилие растяжения $N = 96,2$ тс (в 2,36 раза больше усилия $N_{\text{крс}} = 40,75$ тс).

Поскольку, кроме температурных воздействий, на плиту действуют также собственный вес и временные нагрузки, то трещины возникают еще и от изгиба, но при этом податливость плиты в горизонтальном направлении не уменьшается и, следовательно, усилие растяжения можно принимать равным $N_{\text{крс}}$. Как показывают расчеты, при совместном действии на плиту изгиба и растяжения дополнительного расхода арматуры при учете температурных воздействий, как правило, не требуется.

Определим усилие растяжения N по рис. 1 от температурных воздействий на основе расчета на программном комплексе Лира 9 с использованием методики нелинейных конечных элементов. Получаем $N = 44700$ кгс (отличие от результата, полученного выше, на 9,7%). Отметим, что при армировании верхней и нижней зоны плиты 5 стержнями диаметром 1,2 см усилие растяжения равно 43,1 тс (разница со сравниваемым результатом 5,8%). Выше было показано, что усилие N по (1) не зависит от армирования. Таким образом, результаты на основе анализа и расчета на Лире 9 близки по величине.

На рис. 2 изображено каркасное здание железобетонного паркинга, имеющего 5 надземных этажей, цокольный этаж внизу и технический этаж вверху. Вдоль оси 1 устанавливаются колонны, между осями 7 и 8 расположен лестнично-лифтовой блок, вдоль оси 14 примыкает лестнично-лифтовой блок и железобетонная рампа, которые для плит перекрытий 5 являются жесткими устоями.

Колонны 2, расположенные по оси 1 и монолитно соединенные со стеной железобетонной "коробки" подземной части 7, при температурном воздействии и связанном с этим укорочении дисков перекрытий 4 выше точки В до точки С смещаются по горизонтали на величину $\Delta f = 0,89$ см (при параметрах вышерассмотренного примера). Поскольку железобетонные колонны обладают относительно малой жесткостью в горизонтальном направлении, усилий растяжения в плитах 4 не возникает. В точке А железобетонная "коробка" подземной части обладает относительно малой податливостью в продольном направлении, в

В.В. ДАНЕЛЬ, канд. техн. наук, доц. (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Московский государственный строительный ун-т)

АНАЛИЗ ФОРМУЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЁСТКОСТИ ПРИ СДВИГЕ ПЛАТФОРМЕННЫХ СТЫКОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

В статье сделан анализ существующих формул для определения жёсткостей при сдвиге платформенных стыков (рис.1) крупнопанельных зданий и плит перекрытий относительно стеновых панелей. Предложены новые формулы для определения этих жёсткостей, жёсткостей моделирующих их связей и модулей упругости раствора горизонтальных швов.

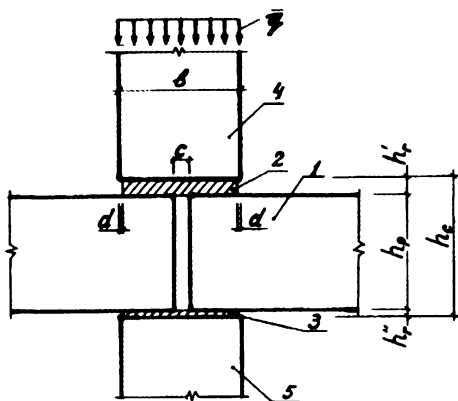


Рис. 1. Платформенный стык внутренних стеновых панелей

1 - плиты перекрытий, 2 и 3 - соответственно, верхний и нижний растворные швы, 4 и 5 - верхняя и нижняя стеновые панели

В платформенном стыке сжимающая нагрузка передаётся через опорные участки плит перекрытий и два растворных шва.

В работе [1] жёсткость каждой связи, моделирующей платформенный стык при сдвиге в направлении горизонтальных осей X и Y, рекомендовано определять по формуле

$$X_i = Y_i = \frac{GA_f}{n}, \quad (1)$$

где G - модуль упругости при сдвиге мелкозернистого бетона, равнопрочного используемому цементному раствору; A_f - площадь платформенных участков стыка в пределах плит перекрытий, через которую передаётся сжимающее усилие; n - количество связей.

Коэффициент податливости стыка плит перекрытий со стеновыми панелями при величине сдвига не более 0,5 мм и растворе марки не ниже 100, по [1] и [2]

$$\lambda_\tau = 5 \times 10^{-6} \text{ мм/Н}. \quad (2)$$

Жёсткость [1]

$$S = \frac{h_p + h'_r + h''_r}{\lambda_\tau}. \quad (3)$$

В [3] связи между плитами предложено считать абсолютно жёсткими в горизонтальном направлении, перпендикулярном плоскости соответствующей стены. В [2] и [3] рекомендован способ учёта наличия горизонтальных растворных швов в панельных стенах с помощью приведённого модуля упругости. Известны формулы податливости λ и жёсткости K стержней длиной a и площадью поперечного сечения A , работающих на чистый сдвиг:

$$\lambda_\tau = \frac{a}{GA}, \quad (4)$$

$$K = \frac{GA}{a} \quad (5)$$

Используемый платформенный стык здания имеет вид, показанный на рис.1, и размеры: $b = h_p = 16$ см; $c = 2$ см; $h'_r = 1$ см; $2h''_r = h'_r$; $d = 0,5$ см. (6)

Т.е. растворные швы не доходят до боковых грани стеновых панелей на 0,5 см с каждой стороны. На практике это означает учёт срывов растворных швов, пониженной прочности части шва на границе с воздухом. Материал стеновых панелей и плит перекрытий – бетон тяжёлый класса по прочности В20. Растворные швы выполнены из цементного раствора М150.

Согласно [2], коэффициенты податливости при сжатии (ν в м³/Н) соответственно верхнего 1 λ'_r и нижнего 2 λ''_r растворных швов (рис. 1):

$$\lambda_r = 1,5 \times 10^{-12} R_r^{\frac{2}{3}} h_r \quad (7)$$

при среднем значении сжимающих напряжений в растворном шве $\sigma < 1,15 R_r^{\frac{2}{3}}$

$$\lambda_r = 5 \times 10^{-12} R_r^{\frac{2}{3}} h_r, \quad (8)$$

при $\sigma \in \left[1,15 \times R_r^{\frac{2}{3}}; 2 \times R_r^{\frac{2}{3}} \right]$, где R_r - кубиковая прочность раствора (в МПа); h_r - толщина растворного шва (в мм)

Модули упругости при сжатии и сдвиге раствора

$$E_r = \frac{h_r}{\lambda_r}, \quad G_r = 0,417 E_r. \quad (9)$$

Марка раствора	Кубиковая прочность раствора R_r , МПа	Класс бетона, равнопрочного раствору $B = 0,07786M$	Начальный модуль упругости равнопрочного мелкозернистого бетона группы Б $E_{b,m}$, МПа	Коэффициент податливости растворного шва по формуле (9) [1] при толщине шва $h_r = 10$ мм $\lambda_r \times 10^{12}$ м ³ /Н,	Модуль упругости раствора $E_r = \frac{h_r}{\lambda_r}$, МПа	$\frac{E_{b,m}}{E_r}$	Модуль упругости раствора $G_r = 0,417E_r$, МПа
200	20	15,6	17300	2,036	4911,6	3,52	2046,5
150	15	11,7	15000	2,466	4055,2	3,70	1689,7
100	10	7,8	12630	3,232	3094,1	4,08	1289,2

Значения модулей упругости раствора, вычисленных по формулам (7) и (9), приведены в табл.1.

Коэффициент жёсткости стыка плиты перекрытия со стеновыми панелями при сдвиге (рис. 1) – величина, обратная коэффициенту податливости:

$$k = k' + k'' = \frac{G_r}{h'_r} + \frac{G_r}{h''_r} = G_r \left(\frac{1}{h'_r} + \frac{1}{h''_r} \right). \quad (10)$$

$$\text{При } 2h''_r = h'_r \quad k = 1,5 \frac{G_r}{h''_r}. \quad (11)$$

При размерах стыка (4) (рис. 1)

$$\begin{aligned} k &= 30,77 \times 10^{10} \text{ Н/м}^3 \text{ при марке раствора М200,} \\ &25,38 \times 10^{10} \text{ Н/м}^3 \text{ при марке раствора М150,} \\ &19,38 \times 10^{10} \text{ Н/м}^3 \text{ при марке раствора М100.} \end{aligned} \quad (12)$$

При ширине площадки опирания плиты 6,5 см и марке раствора М150 погонная жёсткость $k_n = 25,38 \times 10^{10} \times 0,065 = 1,65 \times 10^{10}$ Н/м². (13)

По пособию [2], $k_r = \lambda_r^{-1} = 2 \times 10^8$ Н/м, так как λ_r уже имеет размерность податливости. Из [2] и [1] не понятно, как коэффициент податливости с такой размерностью и такой величины можно использовать.

Если в размерности (2) опечатка и это податливость одного погонного метра, то для каких исходных данных стыка? И почему такая размерность повторяется от публикации к публикации? Не может не удивлять малая величина λ_r . Особенно в той же статье [1], где она и формулы (7) и (8) рекомендуются одновременно с пожеланием использовать модуль упругости при сдвиге G мелкозернистого бетона, равнопрочного используемому цементному раствору. При использовании формул (7) и (8) для раствора получаются другие значения модулей упругости (см. табл. 1), при применении которых и получены значения (12) и (13).

Цементный раствор содержит только мелкий заполнитель, и при монтаже крупнопанельных зданий, в отличие от бетона при бетонировании стыков и конструкций, в том числе и мелкозернистого, его не подвергают предварительному уплотнению.

Предложения использовать модуль упругости при сдвиге G мелкозернистого бетона, равнопрочного используемому цементному раствору в статье [1], при одновременной рекомендации использования формул (7) и (8), в свете вышесказанного, противоречат друг другу.

Формулы жёсткости (1) и (3) имеют размерность Н вместо Н/м, поэтому не понятно, как их можно использовать. Остаётся использование формул (4) и (5), в которых модули упругости раствора горизонтальных швов надо определять по формулам (7), (8) и (9).

Необходимо различать три вида участков стыков:

участок контакта длиной L и площадью A (рис. 3, 4), участок передачи нагрузки длиной L_f и площадью A_f , участок постановки n_s связей в расчётной схеме длиной L_n и площадью A_n .

На рис.2,3 показаны примеры определения длин L_f и L_n последних двух участков.

$$\text{Для рис. 2 } L_f = 2(h_n + e), L_n = 2e. \quad (14)$$

$$\text{Для рис.3 } L_f = 2e + h_m, L_n = 2e. \quad (15)$$

Для стыка плиты с внутренними стеновыми панелями, показанного на рис.1

$$f = 0,5(b - c - 2d). \quad (16)$$

Для использования в формулах жёсткостей при сжатии и сдвиге платформенного стыка (рис.1) внутренних стеновых панелей

$$f = b - c - 2d. \quad (17)$$

$$\text{Площадь участка передачи нагрузки } A_f = L_f f. \quad (18)$$

$$\text{От отношения } v = L_f / L_n \quad (19)$$

зависит жёсткость каждой 3D-связи, моделирующей платформенный стык.

ПРИМЕР. Определить параметр v для наружной стеновой панели ЗНС 48.Т-1 (см. рис. 2), имеющей размеры (в метрах), показанные на рис. 4. В конечно-элементной модели панель моделируем плоской оболочкой, перемышку над оконным проёмом – 3D-стержнем, позволяющим учитывать сдвиговые

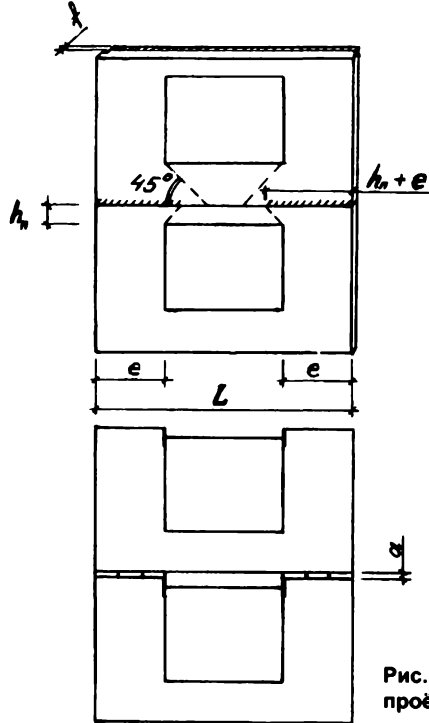


Рис. 2. Панель с оконным проёмом

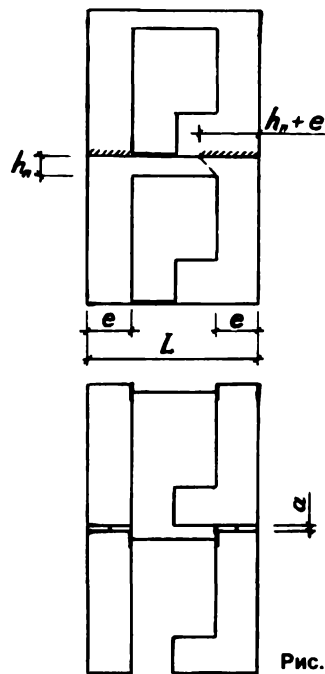


Рис. 3. Панель с оконным и дверным проёмами

Участки передачи усилий заштрихованы

L – длина панели; L_n – ширина проёма; e – ширина простенка; f – ширина участка передачи усилия; h_n – высота перемычки

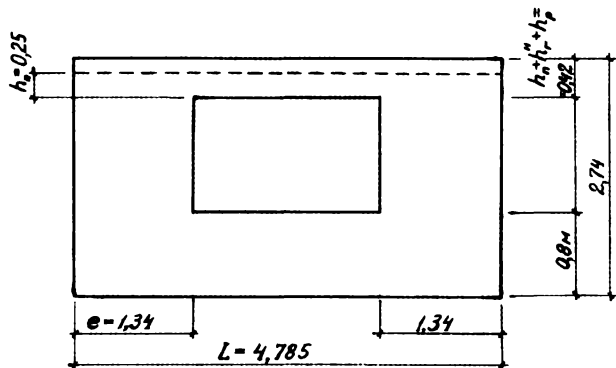


Рис.4. Размеры наружной стеновой панели ЗНС 48.Т-1

деформации (см. рис. 2). Располагаем этот стержень вдоль оси перемычки: посередине высоты вставок повышенной жёсткости. Высота этих вставок равна высоте перемычки. Поперечное сечение 3D-стержня надо принимать прямоугольным с высотой, равной высоте перемычки и шириной, равной её толщине, т.е. толщине стеновой панели.

Длина участка передачи нагрузки

$$L_f = 2(h_n + e) = 2(0,25 + 1,34) = 3,18 \text{ м.} \quad (14)$$

Длина участка установки связей

$$L_n = 2e = 2 \cdot 1,34 = 2,68 \text{ м.}$$

$$\text{Параметр } v = 3,18 / 2,68 = 1,19. \quad (20)$$

На участке L_n постановки n_s связей жёсткости стыка в любом направлении (в вертикальном r , горизонтальных s и t) надо принимать равными его жёсткостям на участке передачи нагрузки L_f : K_{fr} , K_{fs} , K_{ft} .

$$\begin{aligned} K_{nr} &= K_{fr} = K_{rn} \cdot L_n \cdot v = K_{rn} L_f, \\ K_{ns} &= K_{fs} = K_{sn} \cdot L_n \cdot v = K_{sn} L_f, \\ K_{nt} &= K_{ft} = K_{tn} \cdot L_n \cdot v = K_{tn} L_f. \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь K_{rn} , K_{sn} , K_{tn} – погонные жёсткости стыка в направлениях r , s и t .

Для внутренних стеновых панелей без проёмов $v = 1$ (рис. 6).

Жёсткость каждой связи, моделирующей горизонтальный стык, должна быть пропорциональна площади (длине) участка, приходящейся на неё. Поэтому при постоянном шаге между связями в пределах панели жёсткость каждой крайней связи должна быть в 2 раза меньше жёсткости промежуточной. Пусть K_{ft} – жёсткость при сдвиге вдоль оси t платформенного стыка между внутренними стеновыми панелями без проёмов.

$$L_f = L_n, \quad n = n_s - 1. \quad (22)$$

Тогда при общем количестве связей n_s , одинаковом расстоянии между ними, равном $\frac{L_n}{n}$, высоте связи a , равной высоте стыка h_c , жёсткость каждой промежуточной связи $K_t = \frac{K_{ft}}{n}$. Жёсткость каждой крайней связи равна $\frac{K_t}{2}$.

В этом случае в расчётной схеме часть высоты стыка замещается плоской оболочкой за счёт увеличения её высоты на дополнительную высоту h_0 (рис. 7).

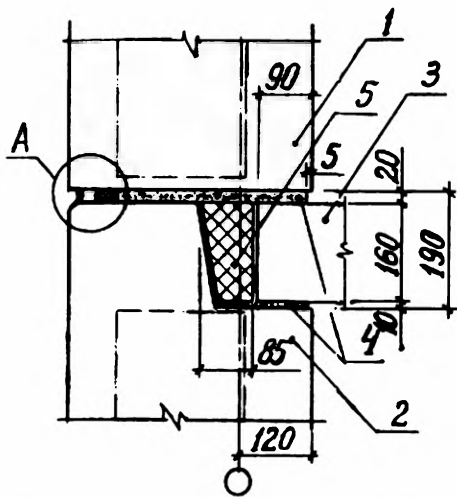


Рис.5. Сечение стыка между наружными стеновыми панелями

$h_p = 16$ см - толщина плиты перекрытия; $h''_r = 1$ см - толщина нижнего растворного шва; 1 и 2 - верхняя и нижняя стеновые панели; 3 - плита перекрытия; 4 - растворные швы; 5 - вкладыш из минераловатной плиты П-125 ГОСТ 9573-96, обернутый пергамином

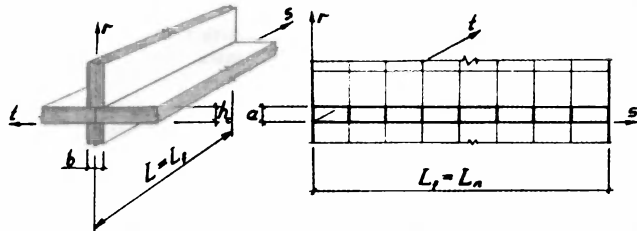
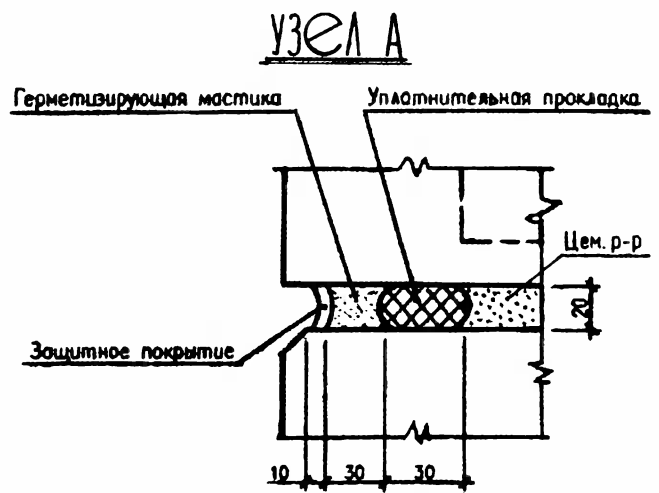


Рис. 6. Расположение связей в стыке панелей без проёмов при $h_c = a$

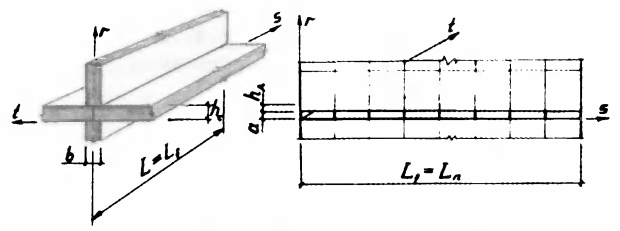


Рис. 7. Расположение связей в стыке панелей без проёмов при $h_c \geq a$.

Податливость λ_c на участке стыка высотой $h_c = a + h_d$ в этом случае есть сумма двух податливостей: $\lambda_c = \lambda_a + \lambda_d$, (23)

где λ_a - податливость всех связей высотой a на участке постановки связей, λ_d - податливость дополнительной части стеновой панели на участке высотой h_d .

$$\text{При сжатии} \quad \lambda_d = h_d / (E_d A_d) \quad (24)$$

$$\text{при сдвиге} \quad \lambda_d = h_d / (G_d A_d), \quad (25)$$

где E_d , G_d - модули упругости бетона стеновой панели; A_d - площадь поперечного сечения несущего слоя стеновой панели.

При длине связи a менее высоты платформенного стыка h_c , т.е. при $a < h_c$, общая жёсткость всех связей на участке их постановки L_n

$$K_a = \lambda^{-1}_a = (K_c^{-1} - \lambda_d)^{-1}, \quad (26)$$

где K_c - жёсткость стыка по рассматриваемому направлению (т.е. K_{fz} , K_{fs} или K_{ft}); λ_d - податливость в соответствующем направлении дополнительной части стеновой панели на участке L_n высотой

$$h_d = h_c - a. \quad (27)$$

Для определения жёсткостей при сдвиге нами предлагаются следующие формулы.

Жёсткость стыка плиты перекрытия со стеновыми панелями при сдвиге с учётом (7)-(10) и (16)-(18)

$$K = A_f k = A_f G_r \left(\frac{1}{h'_r} + \frac{1}{h''_r} \right), \quad (28)$$

$$\text{погонная жёсткость } K_n = f k = f G_r \left(\frac{1}{h'_r} + \frac{1}{h''_r} \right). \quad (29)$$

Коэффициент податливости при сдвиге платформенного стыка в целом

$$\lambda_t = \frac{1}{G_r} (h'_r + h''_r) + \frac{h_p}{k_c G_b}, \quad (30)$$

где G_b - модуль упругости бетона плиты перекрытия при сдвиге; G_r надо определять по формулам (7)-(9); k_c - коэффициент связности. Он больше единицы и учитывает работу бетона плит перекрытий на сдвиг, как связанного материала.

В действительности в работе на сдвиг, как и на сжатие, участвует участок плит перекрытий шириной в несколько раз больший толщины стеновых панелей (результаты исследований по его определению в ближайшее время будут опубликованы).

$$\text{Жёсткость платформенного стыка при сдвиге} \quad K_t = A_f \cdot \lambda_t^{-1}, \quad (31)$$

его погонная жёсткость

$$K_{tm} = f \cdot \lambda_i^{-1} \quad (32)$$

Для сравнительных расчётов при кратковременном воздействии использованы два платформенных стыка. Один – между внутренними стеновыми панелями (см. рис. 1), другой – между наружными (см. рис. 6). Стык на рис.1 имеет размеры (6). Коэффициент связности для принятых размеров стыков $k_c \approx 1,2$.

Результаты вычислений погонных жёсткостей платформенных стыков между внутренними и наружными стеновыми панелями приведены в табл. 2.

Таблица 2

Погонная жёсткость, $K_n \cdot 10^9$, Н/м	Стены	
	внут- ренние	наруж- ные
платформенного стыка при сжатии	10,454	6,821
платформенного стыка при сдвиге	4,303	2,814
при сдвиге плиты перекрытия	16,475	21,544

Выводы

1. Формулы для определения жёсткостей (1) и (3), значение (2) коэффициента податливости не пригодны для использования.

2. Для определения жёсткостей при сдвиге плиты перекрытия относительно стеновых панелей необходимо пользоваться формулами (28) и (29), платформенного стыка – формулами (30) – (32).

3. В расчётах при определении жёсткостей стыков для определения модулей упругости раствора горизонтальных швов необходимо использовать формулы (7), (8) и (9).

4. Сами формулы (7) и (8), а также значение коэффициента Пуассона раствора необходимо проверить экспериментально.

5. Для определения жесткостей связей, моделирующих платформенный стык, необходимо пользоваться формулами (14)-(27).

Библиографический список

1. Шапиро Г.И., Юрьев Р.В. К вопросу о построении расчётной модели панельного здания // Пром. и гражд. стр-во. - 2004. - № 12. - С. 32-33.
2. Пособие по проектированию жилых зданий /ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып.3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). - М.: Стройиздат, 1989. - 304с.
3. Шапиро Г.И., Гасанов А.А., Юрьев Р.В. Расчёт зданий и сооружений в МНИИТЭП // Пром. и гражд. стр-во. - 2007. - № 6. - С. 31-33.
4. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М. 2004. 52с.
5. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

О.Н. КРАШЕНИННИКОВ, д-р техн. наук, Т.П. БЕЛОГУРОВА канд. техн. наук
(ИХТРЭМС Кольского научного центра РАН)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ХИБИНСКИХ АПАТИТОНЕФЕЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Разработку Хибинских месторождений апатитонефелиновых руд осуществляет ОАО "Апатит" – крупнейший в стране производитель апатитового концентрата. Подземная добыча руды сосредоточена на Кировском руднике, разрабатывающем Кукисвумчорское месторождение, которое входит в состав единой интрузии ийолит-уртитовых пород Хибинского щелочного массива. Основной разновидностью вмещающих пород являются уртиты, содержащие более 60-70% нефелина. Поскольку горные породы с высоким содержанием нефелина являются некондиционным сырьем для получения бетонов, нами были проведены специальные исследования бетонов на уртитовом заполнителе с учетом условий их эксплуатации в подземных выработках Кировского рудника.

Уртиты представляют собой породы среднекрупнозернистого и пегматоидного сложения. Средний минеральный состав отобранной для испытаний представительной партии вмещающих пород рудника, мас. %: нефелин – 71,3; эгирин – 16,4; полевошпат – 6,2; сфен – 2,8. В качестве второстепенных

минералов присутствуют титаномагнетит, апатит, слюда; среди аксессуарных отмечаются эвдиалит, лепидомелан, содалит, канкринит, натролит и др. Исследованиями установлено, что уртиты относятся к плотным (2.75-2.79 г/см³), прочным (160-230 МПа) породам, с низкой истираемостью (0.12-0.20 г/см²) и высокой морозостойкостью (F200-300). По радиационному фактору они не имеют ограничений для использования в строительстве.

Результаты испытаний щебня из уртитов показали, что данные заполнители характеризуются как плотные (1470-1540 кг/м³) с низкими значениями водопоглощения (0.5-1.8%). Марки щебня, не менее: по прочности 1000, по истираемости И-II, по морозостойкости F150. Структура щебня устойчива против всех видов распадов. Качественные характеристики щебня, включающие показатели содержания пластинчатых зерен, слабых зерен и пылевидных частиц, отвечают требованиям, предъявляемым к щебню высшей категории качества. Таким образом, заполнители на основе уррита Кировского рудника

соответствуют основным требованиям ГОСТ 8267-93 и могут быть использованы для строительных работ. Мелкий заполнитель из отсевов дробления уртитов соответствующего зернового состава также отвечает требованиям стандарта на строительный песок.

Предыдущими исследованиями показана принципиальная возможность использования нефелин-содержащих заполнителей из вскрышных скальных пород Хибинских апатитнефелиновых месторождений в ряде областей строительства [1-3]. При этом исследованиями тяжелых бетонов на таких заполнителях установлено, что они могут быть рекомендованы для получения изделий и конструкций, эксплуатирующихся в воздушно-сухих и воздушно-влажных условиях. Однако вопрос эксплуатации этих бетонов под действием неблагоприятных факторов эксплуатации в условиях подземных выработок оставался открытым. В статье приведены данные исследований поведения бетонов на основе уртитов в различных средах, характерных для условий эксплуатации в рудниках ОАО "Апатит", где осуществляется бетонирование с использованием в качестве заполнителей вмещающих нефелинсодержащих пород.

В исследованиях руководствовались как оценкой коррозионной стойкости бетонов в лабораторных условиях, имитирующих жидкие среды, аналогичные рудничным водам, но с повышенным содержанием агрессивных составляющих, так и натурными испытаниями бетонов в подземных условиях, соответствующих режиму эксплуатации рудника.

По данным гидрогеологической службы ОАО "Апатит", на Кировском руднике рН рудничных вод находится в пределах 6,5-10,0. Главными химическими составляющими вод являются сульфаты ($\text{SO}_4^{2-} = 120-150 \text{ мг/л}$), нитраты ($\text{NO}_3^{2-} = 250-350 \text{ мг/л}$) и хлориды ($\text{Cl}^- = 6-12 \text{ мг/л}$). В лабораторных условиях исследования проводились в искусственно созданных трех жидких средах с наиболее распространенными в сточных водах химическими элементами, концентрацию которых увеличили в 10 раз: сульфатной с концентрацией ионов $\text{SO}_4^{2-} = 1500 \text{ мг/л}$, азотнокислой с концентрацией ионов $\text{NO}_3^{2-} = 3500 \text{ мг/л}$ и хлористой с концентрацией ионов $\text{Cl}^- = 120 \text{ мг/л}$. Контрольной жидкой средой служила дистиллированная вода.

В лабораторных условиях образцы бетонов на основе уртита и, для сравнения, гранита были помещены в четыре вышеуказанные жидкие среды. Климатические условия подземных выработок Кировского рудника, в которых могут находиться бетонные конструкции, характеризуются как среды с различными условиями – от сухих до обводненных. Для проведения долгосрочных испытаний партии образцов бетонов были заложены на руднике в 4 различные среды: воздушно-сухую, воздушно-влажную, в стоячую и проточную воды. Получены гистограммы прочностных испытаний бетонных балочек на уртите, построенные по результатам испытаний при хранении образцов в течение 0,5 года и 2-х лет в лабораторных условиях и в подземных выработках Кировского рудника.

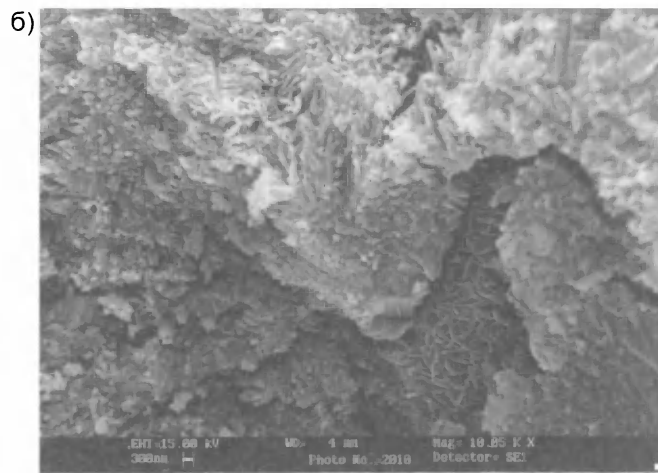
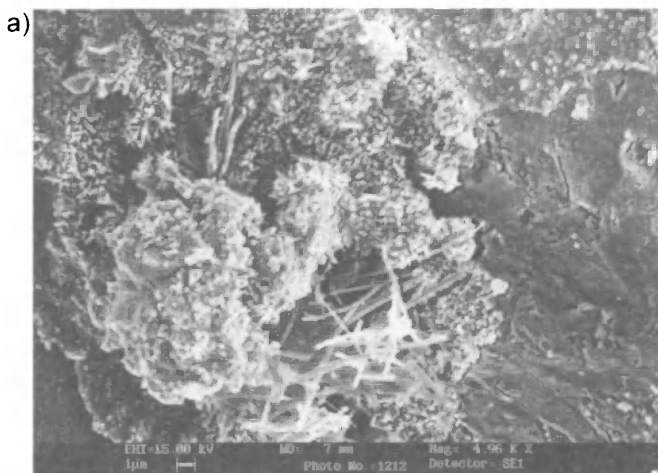
Анализируя результаты прочностных испытаний бетонов, необходимо отметить, что в течение всего срока образцы, хранившиеся как в лабораторных, так и в подземных условиях, ни в одной из сред не снизили показателей прочности при сжатии и при изгибе по сравнению с первоначальными значениями. Интенсивный прирост прочности бетонов во всех средах наблюдался в первые полгода. По абсолютной величине прирост прочности у образцов бетона при подземном хранении несколько превышает таковые значения у лабораторных образцов. Динамика роста прочности бетона в лабораторных и подземных условиях практически одинакова. Приведенные результаты свидетельствуют о коррозионной стойкости исследуемых бетонов в данных средах.

Ультразвуковые исследования показали, что результаты механических испытаний образцов бетона на прочность полностью согласуются с данными о скорости прохождения в них ультразвука. Подобная закономерность отражает закон формирования структуры бетонов в различных агрессивных средах с течением времени. Увеличение, по сравнению с первоначальной, скорости прохождения ультразвуковых волн у бетонов во всех средах в течение года и стабилизация ее к двум годам коррозионных испытаний свидетельствует об упрочнении структуры бетонов. Это происходит в основном за счет уплотнения контактной зоны между цементом и заполнителем, так как скорость распространения ультразвука, в первую очередь, зависит от плотности бетона и сцепления цементного камня с заполнителем.

Во всех исследуемых средах закономерность изменения деформации бетонов практически одинакова. После 0,5 года хранения в различных средах имеют место незначительные деформации усадки. После 2-х лет хранения бетонных балочек в жидких средах деформации образцов перешли из области отрицательных значений в положительную, достигая максимальных значений 0,08% у бетонов на уртите в лабораторной среде с повышенным содержанием нитратов, что не превышает допустимые 0,1%.

Микроскопическими исследованиями внутренней структуры бетонов на уртитсодержащих заполнителях, твердевших в подземных условиях Кировского рудника, установлено, что у каждого из четырех основных минералов породы – нефелина, эгирина, полевого шпата и сфена в зоне контакта с цементом образуется плотная структура, при которой зерна минералов "срастаются" с цементом.

Результаты исследований структуры контактных слоев путем определения микротвердости для каждого минерала непосредственно в контактной зоне, а также по мере удаления от линии контакта показали, что в исследованных образцах бетонов ширина контактного слоя цементного камня с нефелином колеблется от 50 до 120 мк. При этом микротвердость непосредственно в контактной зоне цемента с нефелином находится в пределах 110-140 кг/мм², а цементного камня в объеме – 80-110 кг/мм². Таким образом, на контакте с нефелином отмечается тенденция к изменению микротвердости в сторону повышения ее значений на 20-30% по сравнению с цементным камнем.



Микроструктура бетонов после двух лет испытаний

а - лабораторные условия (среда с повышенным содержанием SO_4^{2-}); б - подземные условия (проточная вода)

Характер изменения микротвердости в контактных слоях цементного камня зависит также от состава и свойств гидратных новообразований в зоне контакта. Изучением процессов, происходящих в контактной зоне, с помощью цифрового сканирующего электронного микроскопа SEMLEO-420 установлено, что образцы бетонов, хранившихся 1 и 2 года в водных средах, имеют сильно развитую контактную поверхность, сплошь покрытую новообразованиями различного состава [4]. Под микроскопом иногда видны пластины $Ca(OH)_2$, но в основном наблюдается большое количество низкоосновных гидросиликатов в виде сферических сростков тонкоигльчатых кристаллов, которые кристаллизуются главным образом в порах, заполняя их и способствуя уплотнению структуры цементного камня (см. рисунок).

В образцах бетонов, хранившихся в лабораторных агрессивных средах, видно, что цементный камень несколько затронут процессом коррозии, заключающемся во взаимодействии кислого раствора с гидроксидом кальция, а затем с гидросиликатами и гидроалюминатами кальция. Поскольку действие слабых кислот на щелочной заполнитель приводит к выделению большого количества геля водной кремнекислоты, улучшающей защитные свойства слоя продуктов коррозии, микроструктура бетонов после двух лет хранения в жидких лабораторных средах лишь незначительно претерпела изменения.

Исследования продуктов гидратации контактной зоны "уртит-цементный камень" методом рентгенофазового анализа показали, что одной из новообразованных фаз являются гидрогранаты, обладающие повышенной плотностью – до $3,5 \text{ г/см}^3$, которые образовались в результате взаимодействия гидроксида кальция с нефелином. Наличие гидрограната поясняет выявленную нами позитивную тенденцию к увеличению микротвердости контактной зоны по сравнению с внутренними слоями цементного камня. На рентгенограммах видно, что в образцах, хранившихся в жидких средах, наблюдается значительное уменьшение интенсивностей линий нефелина и увеличение линий

новообразований, что указывает на большую интенсивность процессов, происходящих в бетонах. Нетипичных новообразований, присутствующих в контактной зоне исследуемых бетонов, не выявлено. Дериватографическим анализом также не зарегистрировано каких-либо специфических эффектов в исследованных образцах бетонов, хранившихся в различных условиях. На всех термограммах присутствует единственный эндотермический эффект при $120-135 \text{ }^\circ\text{C}$, обусловленный десорбцией воды из бетона.

В целом, исследования структуры бетона на уртитовом заполнителе показали, что взаимодействие нефелина с активными продуктами гидратации сводится к повышению щелочности среды, что приводит к упрочнению контактного слоя цементного камня с заполнителем бетона. Проведенные исследования позволяют заключить, что структура бетона на нефелинсодержащих заполнителях не только практически не отличается от таковой на традиционных заполнителях, но и является более прочной за счет уплотненной контактной зоны.

Таким образом, полученные данные после 2 лет испытаний свидетельствуют о возможности использования нефелинсодержащих вмещающих пород в качестве заполнителей бетонов, эксплуатирующихся в условиях подземных рудничных выработок Хибинских месторождений апатитоневфелиновых руд.

Библиографический список

1. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Полякова А.И., Фурсов С.Г. Вскрышные нефелиносодержащие породы и их применение // Автомобильные дороги. - 1990. - № 5. - С. 16-17.
2. Крашенинников О.Н. Нефелиновые породы Хибинского массива и возможности их использования в строительстве. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. - 66 с.
3. Белогурова Т.П., Крашенинников О.Н. Утилизация вскрышных пород Хибинских апатитоневфелиновых месторождений в строительстве // Строительные материалы. - 2004. - №6. - С. 32-35.
4. Белогурова Т.П., Беляевский А.Т., Крашенинников О.Н. К вопросу коррозионной стойкости бетона на нефелинсодержащих заполнителях в условиях подземных выработок рудников АО "Апатит" // Химия, технология и свойства силикатных материалов. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. - С. 122-129.

Шилин А.А. Кирпичные и каменные конструкции. Повреждения и ремонт: Учебное пособие для ВУЗов. - М.: издательство "Горная книга", издательство Московского государственного горного университета, 2009. - 214с.: ил. (Стройтехиздат)

В книге изложены важнейшие принципы и методы диагностики и оценки состояния каменных и кирпичных строительных конструкций. Дан серьезный анализ особенностей эксплуатации каменных и кирпичных зданий и сооружений.

Рассмотрены современные технологии и материалы для ремонта, реставрации, а также защиты от воздействий окружающей среды и несоблюдения правильного эксплуатационного режима.

Описаны и систематизированы различные типы и виды повреждений и дефектов конструкций. Проанализированы причины, их вызывающие.

В книге обобщены результаты многолетнего изучения отечественного и зарубежного опыта ремонта и реставрации кирпичных и каменных конструкций, включая более чем двадцатилетний опыт автора, полученный им при выполнении подобных работ на объектах различного назначения.

В книге собран богатейший иллюстративный материал – технологические схемы, рисунки, чертежи, а также большое количество фотографий из разных городов и стран.

Методы контроля качества материалов и строительных конструкций. Лабораторный практикум / Шилин А.А., Кириленко А.М., Загоршменный А.И. и др. / Под ред. проф., д.т.н. Шилина А.А. - М.: издательство "Горная книга", издательство Московского государственного горного университета, 2009. - 214с.: ил. (Стройтехиздат)

В лабораторном практикуме описаны методы, основанные на многолетнем опыте практических и научно-исследовательских работ по контролю качества строительных конструкций и материалов с учетом самых современных разработок, используемых в мировой и отечественной практике.

Рассмотрены схемы применения методов неразрушающего и разрушающего контроля для оценки состояния строительных конструкций. Приведены примеры наиболее типичных видов дефектов и повреждений конструкций и сооружений.

Описаны виды и типы самых современных приборов, используемых для определения и оценки самых различных параметров и характеристик конструкций и материалов.

Даны практические, а также научно-теоретические рекомендации для специалистов, занимающихся вопросами диагностики и оценки состояния строительных конструкций.

Книга рекомендована также как учебное пособие для студентов и аспирантов соответствующих ВУЗов и специальностей.

Книга оснащена богатым справочно-иллюстративным материалом.

Шилин А.А. Ремонт строительных конструкций с помощью инъецирования: Учебное пособие для ВУЗов. - М.: издательство "Горная книга", издательство Московского государственного горного университета, 2009. - 170с.: ил. (Стройтехиздат)

В книге рассматриваются практически все аспекты использования современных инъекционных технологий при строительстве, ремонте, реставрации и усилении конструкций и сооружений различного назначения, а также при укреплении грунтовых и породных массивов.

Описаны технологии герметизации трещин и пористых участков в кирпичных, каменных и железобетонных конструкциях; упрочнения кирпичных, каменных и трещиноватых бетонных конструкций больших размеров; заполнения пустот в конструкциях и за ними.

Приведены варианты технических приемов и проектных решений, а также принципы расчета параметров инъецирования.

Описано большое число практических примеров применения новейших материалов для инъецирования, приведены технические характеристики.

Рассмотрены способы нагнетания, виды используемого оборудования.

Значительное внимание уделено такому важному фактору, как контроль производства инъекционных работ.

Книга написана на основе изучения зарубежного и отечественного опыта, а также многолетних научных и практических работ автора в этой области.

Книга оснащена богатым справочно-иллюстративным материалом.

По вопросу приобретения книг обращаться в ЗАО "Триада-Холдинг"

123308 г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д.6, стр.2

Тел.: (495) 956-15-04; 956-18-52; 234-16-10

E-mail: info@triadaholding.ru

Редакционная коллегия: Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, В.М. Бондаренко, Ю.С. Волков, В.В. Гранев, А.И. Звездов, Ю.П. Назаров, В.А. Рахманов, А.С. Семченков (главный редактор), А.Г. Тамразян, В.Р. Фаликман, Ю.Г. Хаютин, А.А. Шлыков (зам. главного редактора)

Подписано в печать 25.01.10. Формат 60x88 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1

Усл.печ.л. 4,0. Тираж 930 экз. Заказ №

Адрес для писем:

111672, Москва, ул. Новокосинская, д. 14, корп. 2, кв. 172

E-mail: magbeton@rambler.ru

<http://www.cstroy.ru/kindwork/izdat/beton>

Тел. (495) 703-9762

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