

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «Стройматериалы»

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
ПИ №77-1989

Главный редактор
ЮМАШЕВА Е. И.

Редакционный совет:
РЕСИН В. И.

(председатель)
БАРИНОВА Л. С.
БУТКЕВИЧ Г. Р.
ВАЙСБЕРГ Л. А.
ВЕРЕЩАГИН В. И.
ГОНЧАРОВ Ю. А.
ГОРИН В. М.
ЖУРАВЛЕВ А. А.
КОЗИНА В. Л.
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.
КРИВЕНКО П. В.
ЛЕСОВИК В. С.
ОРЕШКИН Д. В.
ПИЧУГИН А. П.
ФЕДОСОВ С. В.
ФИЛИППОВ Е. В.
ХЕЛМИ Ш.
ХИХЛУХА Л. В.
ЧЕРНЫШОВ Е. М.
ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.
ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.

Авторы
опубликованных материалов
несут ответственность
за достоверность приведенных
сведений, точность данных
по цитируемой литературе
и за использование в статьях
данных, не подлежащих
открытой публикации

Редакция
может опубликовать статьи
в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора

Перепечатка
и воспроизведение статей,
рекламных
и иллюстративных материалов
возможны лишь с письменного
разрешения главного редактора

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламы и объявлений

Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

**Тел./факс: (499) 976-22-08
(499) 976-20-36**

**E-mail: mail@rifsm.ru
http://www.rifsm.ru**

Доклады V Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики»

В. Н. ЯРМАКОВСКИЙ

Ресурсоэнергосбережение при производстве элементов конструктивно-технологических систем зданий, их возведении и эксплуатации..... 4

Представлена научная концепция и сформулированы основные пути ресурсоэнергосбережения на стадиях производства элементов конструктивно-технологических систем зданий, их возведения с использованием инновационных технологий и эксплуатации здания.

В. Г. ГАГАРИН, П. П. ПАСТУШКОВ

Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий 7

Предложен подход для количественной оценки энергоэффективности энергосберегающих мероприятий. В случае оценки энергоэффективности повышения теплозащиты ограждающей конструкции получена формула, учитывающая все значимые факторы.

В. В. КОЗЛОВ

Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий 10

Проведено исследование экономики тепловой защиты при рассмотрении конструкции как сложной системы множества элементов. Введены новые характеристики элементов конструкции и района строительства. Введена классификация энергоэффективности элементов ограждающей конструкции. Сформулированы условия достижения минимума функции приведенных затрат. Из множества вариантов конструкций выделено подмножество, содержащее все оптимальные конструкции. Заложены основы инженерного метода проектирования энергоэффективных конструкций.

В. Г. ГАГАРИН, К. А. ДМИТРИЕВ

Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах 14

Рассмотрен метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в актуализированной редакции СНиП 23-02. Приведены данные по нормированию минимального значения сопротивления теплопередаче в России и Германии. Рассмотрены вопросы выполнения расчетов сопротивления теплопередаче в странах Северной и Центральной Европы при проектировании зданий.

А. УЙМА, А. ЛИС

Элементы устойчивого развития при термомодернизации зданий 17

Рассматриваются различные эффекты термомодернизации жилого здания, проведенной в соответствии с концепцией устойчивого развития. Проведено сравнение расхода топлива, расходов на эксплуатацию, условий использования здания жителями и т. п. до и после термомодернизации. Показано, что в результате термомодернизации существенно снижен расход энергии на отопление, соответственно уменьшился выброс углекислого газа, повысилась безопасность эксплуатации здания, а также улучшился микроклимат в помещениях.

В. Н. КУПРИЯНОВ, А. С. ПЕТРОВ

Влияние различной скорости движения воздуха на паропроницаемость теплоизоляционных материалов 20

Представлено исследование закономерности паропроницаемости теплоизоляционных материалов при воздействии движения воздуха различной скорости у поверхности образцов. Сделан вывод, что скорость паропроницаемости увеличивается при ветровом воздействии, но зависит также от свойств материалов.

В.С. РОЙФЕ

Обоснование выбора неразрушающего метода оценки теплозащитных свойств строительных материалов 22

Показано, что проблема повышения энергосбережения при эксплуатации жилых и общественных зданий не исчерпывается только повышением энергоэффективности стеновых материалов. Одной из задач является мониторинг теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий с использованием новых стеновых материалов, при их эксплуатации и накопление экспериментальной базы данных по фактическим значениям теплофизических характеристик материалов. Приведено обоснование выбора неразрушающего экспрессного метода оценки теплозащитных качеств стеновых строительных материалов и основные технические характеристики прибора, реализующего этот метод.

С.Н. ОВСЯННИКОВ, Т.О. ВЯЗОВА

Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями 24

Представлены расчеты однослойных и многослойных ограждающих конструкций, определено приведенное расчетное сопротивление теплопередаче, выявлена неоднородность ограждающих конструкций в узлах сопряжения. Показаны ослабленные зоны: неутепленные однородные ограждающие конструкции; теплопроводные включения в виде шпонок, жестких ребер – для многослойных ограждающих конструкций, через которые происходят теплопотери, влияющие на микроклимат помещения, энергозатраты и образование конденсата в местах теплопроводных включений.

Н.П. УМНЯКОВА, Т.С. ЕГОРОВА, К.С. АНДРЕЙЦЕВА, В.А. СМИРНОВ, В.А. ЛОБАНОВ

Новое конструктивное решение сопряжения наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами 28

Приведены результаты теплотехнических исследований нового конструктивного решения узла сопряжения наружной стены, монолитного железобетонного перекрытия и монолитной балконной плиты с использованием теплоизоляционного несущего элемента, позволяющего повысить температуру на внутренней поверхности стыка и теплотехническую однородность наружной стены по сравнению с традиционным решением узла с устройством перфорации в междуэтажном перекрытии.

Х.З. БАШИРОВ, А.М. КРЫГИНА, К.М. ЧЕРНОВ

Экспериментальные исследования прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям. . . 32

Приведены основные результаты экспериментальных исследований прочности железобетонных составных конструкций с разрушением по наклонным сечениям при силовом нагружении, которые позволяют определять опытные параметры и анализировать вводимые расчетные гипотезы.

В.П. ГУСЕВ, А.В. СИДОРИНА

Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов 37

Представлены данные, связанные с акустическим проектированием оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от шума воздуховодов систем вентиляции в помещениях зданий различного назначения (подбором звукоизолирующих покрытий по результатам расчетов).

Т.Ф. ЕЛЬЧИЦЕВА

Учет влияния многокомпонентных солевых систем на наружные ограждающие конструкции зданий 41

Установлена необходимость учета и предложен порядок инженерного расчета парциального давления насыщенного водяного пара при наличии во внутренней среде помещений смеси солей. Это позволяет корректно осуществить подбор защитного покрытия стен.

С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, Н.С. КАСЬЯНЕНКО, И.В. КРАСИЛЬНИКОВ

Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы. 44

Приведена математическая модель процесса коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы в твердой фазе. Представлена математическая задача массопереноса в безразмерном виде. Приведены полученные решения задачи, описывающие безразмерные концентрации переносимого компонента по толщине бетона и в жидкой фазе, позволяющие рассчитывать динамику и кинетику процесса. Описана методика определения коэффициента массопереноса и мощности внутреннего источника массы.

Н.И. КАРПЕНКО, В. А. ЕРЫШЕВ, Е. В. ЛАТЫШЕВА

К построению диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений 48

В рамках кратковременных моделей нагружения предложена методика описания диаграмм при малоцикловых нагрузках с учетом накопления деформаций в вершинах циклов и остаточных деформаций в зависимости от уровня напряжений и количества циклов.

С.Н.КАРПЕНКО, А.Н. ПЕТРОВ, А.В.ЕВСЕЕВА

Опыт построения диаграммы-изохроны для высокопрочного модифицированного бетона 52

Рассматривается опыт построения диаграммы-изохроны для высокопрочного модифицированного бетона. Теоретические положения базируются на предложении Н.И. Карпенко по описанию зависимости напряжения-деформации для бетона при длительном нагружении. Получено хорошее соответствие теоретических, по предложенным зависимостям, и опытных данных.

Н.И. КАРПЕНКО, Б.С. СОКОЛОВ, О.В. РАДАЙКИН

Совершенствование методики расчета изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения по образованию нормальных трещин 54

Момент образования трещин в изгибаемых железобетонных элементах определен с использованием нелинейной деформационной модели при неоднородном распределении деформаций по высоте растянутой зоны элемента, что достигнуто введением в расчетные выражения коэффициента, учитывающего градиент деформаций. Это позволило получить значения искомого момента близкие к методике СНиП 2.03.01-84*.

В порядке обсуждения

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ

О строении глин 56

На основании экспериментов, проведенных в институте «ИНТА-строй», выдвинута гипотеза о строении глинистого коллоидного тела. Предлагается гранулометрический состав глин дополнить коллоидной фракцией от 1 до 100 нм, представлена предполагаемая структура глинистого вещества с использованием двойного логарифмического масштаба.

Нанотехнологии в строительстве**Нанотехнологии в строительстве: оценка достигнутого и дальнейших перспектив (Информация)** 57

Е.В. КОРОЛЕВ

Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении 60

Представлен инструментарий для определения потенциала разрабатываемой технологии, в том числе нанотехнологии. Рассмотрен рецептурно-технологический дуализм, реализующийся в процессе разработки и совершенствования технологии. Проведена оценка рецептурных и технологических способов совершенствования технологии цементных бетонов. Показано, что наиболее высокий рецептурно-технологический потенциал имеют: из рецептурных способов – снижение водосодержания бетонной смеси посредством применения пластифицирующих добавок; из технологических способов – заполнение пористо-капиллярного пространства бетона полимерными или другими веществами. Сформулирован принцип рецептурно-технологического совершенства материала. Разработаны условия, выполнение которых обеспечивает реализацию нанотехнологии посредством введения первичных наноматериалов и достижение высоких показателей эксплуатационных свойств материала.

Фирма Lode SIA вводит в эксплуатацию автомат резки ротационного действия фирмы LINGL (Информация) 65**ISO-сертификация компании КЕЛЛЕР ХЦВ (Информация)** 66**Результаты научных исследований**

А.Г. ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ

Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Часть 7. Расчет коэффициента термовлагопроводности модельного пористого тела 69

Рассматривается методика расчета коэффициента термовлагопроводности для модельного пористого тела.

В.И. КОНДРАЦЕНКО, А.Г. КЕСАРИЙСКИЙ, Д.А. ГРЕБЕННИКОВ, А.В. КЕНДЮК, Е.В. ТАРАРУШКИН

Применение голографической интерферометрии для изучения сложноструктурированных материалов 72

Методами голографической интерферометрии выявлены важные для построения теории прочности строительных композитов особенности их поведения при действии кратковременной сжимающей нагрузки. К ним относятся проворот заполнителя, образование протяженных высокоградиентных зон, являющихся на ранних этапах нагружения предвестниками трещин, и образование оптически неидентифицируемых областей – блоков, а на более поздних этапах нагружения совместно с образующимися трещинами высокоградиентные зоны служат границами таких блоков, относительно самостоятельно деформирующихся под нагрузкой.

Новости 78**Дорогие коллеги, друзья, читатели!**

Заканчивается подписной период I полугодия 2013 г. Если вы не оформили подписку на II полугодие на почте, то сейчас это можно сделать в редакции журнала «Строительные материалы»®.

Письмо-заявку с указанием реквизитов вашей компании и почтового адреса можно направить по тел./факсам: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по e-mail: mail@rifsm.ru.

Электронную версию журнала можно заказать на сайте <http://ejournal.rifsm.ru/>

Другую полезную информацию о подписке на журнал можно получить на сайте <http://www.rifsm.ru/page/5/>

Подписные индексы журнала «Строительные материалы»® на почте:

70886 по каталогу «Пресса России»

79809 по каталогу агентства «Роспечать»

61970 по каталогу «Издания органов научно-технической информации»

В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, почетный член РААСН,
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)

Ресурсоэнергосбережение при производстве элементов конструктивно-технологических систем зданий, их возведении и эксплуатации

Анализ результатов отечественных и зарубежных исследований и практического опыта в области поиска и реализации направлений ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации здания показывает очевидную целесообразность и перспективность развития следующих приоритетных направлений.

Производство по инновационным низкоэнергоемким и экологически чистым технологиям альтернативных традиционным строительных материалов на основе крупнотоннажных вторичных продуктов промышленности (ВПП) [1]. Это связано с тем, что основным строительным материалом конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного назначения являются в настоящее время и остаются на обозримую перспективу бетоны. Отсюда следует, что необходимо активно развивать производство низкоэнергоемких материалов, альтернативных основным компонентам этих бетонов, т. е. альтернативных традиционным цементам и заполнителям, производимым на основе природных сырьевых ресурсов.

Развитие индустрии полифункциональных (теплоизоляционного – Т, конструкционно-теплоизоляционного – КТ и конструкционного – К назначения) *легких бетонов новых наиболее эффективных модификаций* [2], в том числе высокопрочных. Это обусловлено следующими основными факторами.

В легких бетонах наиболее эффективно применение низкоэнергоемких и наиболее экономичных продуктов переработки ВПП. Следовательно, такие бетоны конструкционного назначения менее энергоемки, более долговечны [1, 2] и экономичны в производстве в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами. Кроме того, применение их позволяет экономить природные сырьевые ресурсы, в частности, горные породы, и способствовать решению «одной из приоритетных задач энергетической политики в строительстве – минимизации техногенного воздействия на окружающую среду при строительстве зданий» [3].

Легкие бетоны Т- и КТ-назначения, особенно последних модификаций [2], существенно менее энергоемки, более долговечны и надежны в эксплуатации в сравнении с традиционными плитными утеплителями и ячеистыми бетонами, особенно в сравнении с автоклавными газобетонами импортных технологий. Применение первых в ограждающих конструкциях здания позволяет снизить минимум на 20–30% себестоимость и энергоемкость 1 м² оболочечной системы здания.

Применение легких бетонов К-назначения, особенно последних модификаций, в конструкционно-теплоизоляционной системе (КТС) здания взамен рав-

нопрочных тяжелых позволяет снизить нагрузку на КТС и фундаменты здания и соответственно сократить требуемый расход стальной арматуры.

Совершенствование КТС здания, особенно в части стыков его несущих элементов между собой, например колонн с ригелями, позволяет снизить металлоемкость этой системы: металл – самый энергоемкий (1850–2000 кг у.т./т) после полимеров материал в строительстве.

Совершенствование узлов сопряжений несущих элементов с ограждающими конструкциями в КТС здания позволяет повысить уровень его тепловой защиты за счет уменьшения тепловых потерь через эти узлы сопряжений.

Оптимизация технических решений ограждающих конструкций здания с позиции повышения их теплозащитной функции, причем при высокой обеспеченности ее на весь расчетный период эксплуатации здания, позволяет значимо повысить уровень его тепловой защиты. Отсюда возможность соответствующего снижения энергозатрат на отопление здания. Совершенствование технологии изготовления таких конструкций при рациональном использовании составляющих их элементов с минимально возможной энергоемкостью производства позволяет существенно снизить энергоемкость 1 м² наружной стены.

Совершенствование технологии производства бетонов за счет модифицирования их структуры с помощью современных химических, химико-минеральных, а также активных минеральных добавок позволяет существенно улучшить строительно-технические, в частности теплофизические, свойства и способствовать экономии цемента.

Совершенствование технологических схем производства несущих и ограждающих конструкций КТС здания с использованием модифицированных бетонов вместе с совершенствованием технологических схем возведения здания позволяет в целом существенно снизить материалоемкость, трудоемкость и энергоемкость строительства.

На базе изложенной концепции можно сформулировать следующие потенциально возможные и некоторые уже реализуемые направления конструктивно-технологического характера по обеспечению энергоресурсосбережения на стадиях проектирования и производства элементов КТС здания, возведения и эксплуатации здания.

На стадиях производства элементов КТС и возведения здания:

– при проектировании и выполнении всех вертикальных (колонны, внутренние несущие стены) и горизонтальных (ригели, плиты покрытий, диски перекрытий) элементов конструктивной системы здания

из легких, в том числе высокопрочных, бетонов классов по прочности на сжатие В15–В50, марок по средней плотности D1200–D1850 масса здания снижается в среднем до 30%. Это позволяет сократить расход стальной арматуры: в горизонтальных элементах на 20–30%; в вертикальных элементах – на 10–15% в несущих стенах, на 30–40% в колоннах; в фундаментах на 15–25%;

– при совершенствовании конструкции стыков сборно-омоноличенного каркаса здания (колонн с колоннами, внутренних стен с колоннами, колонн с ригелями) позволяет существенно снизить металлоемкость КТС зданий при их возведении, а следовательно, и их энергоемкость. Так, в результате соответствующего изменения технологии монтажа каркаса КТС 16-этажного здания ОАО «Томский ДСК» появилась возможность снижения металлоемкости стыков на 30–54% (в зависимости от типа стыка и его исходной и усовершенствованной конструкции). В целом количество сэкономленного металла ΔM (ненапрягаемой стальной арматуры и листового стали для закладных деталей) в стыках составило 91,84 т. Соответственно снижение энергозатрат ($\Delta \Theta_k$) на возведение (монтаж) такого каркаса составило: $\Delta \Theta_k = \Delta M \times \Delta \Theta_m = 178$ т. у. т.;

– применение в несущем каркасе здания бесстыковых колонн минимум на четыре этажа, отсутствие сварных стыков при сборке каркаса, как при стыковке колонн с ригелями, так и при наращивании колонн, при омоноличивании бетоном арматуры колонн в сопряжениях с арматурными выпусками из перекрытий и ригелей позволяет на 15–20% снизить энергозатраты на монтаж КТС здания;

– изготовление на «длинных» ($l=100–120$ м) стенах методом безопалубочного формования предварительно напряженных элементов КТС здания, прежде всего, легкобетонных многпустотных перекрытий, с использованием стабилизированных высокопрочных арматурных канатов и высокопрочной проволоки Вр-2 позволяет сократить в 1,5–1,8 раза расход высокоэнергоемкой стальной арматуры за счет отказа от арматурных сеток и каркасов. Применение метода безопалубочного формования элементов конструктивной системы здания на «длинных» стенах позволяет отказаться от дорогостоящих арматурных цехов, от энергозатратных технологических процессов изготовления в них арматурных элементов;

– применение в качестве монолитной теплоизоляции в наружных стенах, возводимых с теплотехнически эффективной несъемной опалубкой, особо легких (марок по плотности D150–D250 в зависимости от этажности здания) бетонов с высокопоризованной и пластифицированной матрицей взамен традиционной стеновой кладки из легкобетонных блоков или ячеистобетонных блоков, подвергаемых пропариванию или даже (для ячеистых бетонов) тепловой обработке в автоклавах под давлением, позволяет снизить энергозатраты на 1 м^2 возводимой стены соответственно на 25–40% [2, 4];

– применение в легких и ячеистых бетонах стеновых и теплоизоляционных изделий низкоэнергоемких (85–150 кг у. т. на 1 т) композиционных малоклинкерных вяжущих КМВ (расход клинкера – 10–30% от массы вяжущего), изготавливаемых на основе химически взаимосочетаемых продуктов переработки металлургии и тепловой энергетики, взамен традиционных цементов (260–300 кг у. т. на 1 т) позволяет, сократить энергозатраты на производство этих бетонов на 30–45% [1, 4];

– применение в конструкционных, в том числе высокопрочных, легких бетонах безобжиговых пористых заполнителей, например, пористого гравия с остекло-

ванной оболочкой из металлургических шлаков текущего выхода или безобжигового зольного гравия со связующим из бесклинкерного или малоклинкерного композиционного вяжущего, изготавливаемых по низкоэнергоемким и экологически чистым технологиям, взамен добываемых в карьерах плотных заполнителей из горных пород позволяет снизить энергозатраты на производство этих бетонов на 20–30% [1, 2].

На стадии эксплуатации здания:

– применение легких бетонов на пористых заполнителях в элементах несущего каркаса, прежде всего перекрытия и внутренних стенах, выходящих на наружные стены или проходящих через них (на лоджии, балконы), позволяет повысить теплотехническую однородность стены, уменьшить теплопотери в узлах сопряжения с наружными стенами до 20% в сравнении с традиционным вариантом выполнения аналогичных элементов каркаса здания из тяжелого бетона на природных плотных заполнителях. Это обусловлено существенно меньшими (в 2,5–3 раза) значениями коэффициентов теплопроводности легких бетонов [2].

Так, для легких бетонов классов по прочности на сжатие В15–В30 (марок М200–М400), применяемых для перекрытий и внутренних несущих стен зданий, величины коэффициентов теплопроводности их в состоянии равновесной влажности, например для условия эксплуатации ограждения Б по СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», составляют при марках по плотности этих бетонов D1200–D1800 соответственно: $\lambda_B = 0,52–0,92$ Вт/(м·°С) для керамзитобетона; $\lambda_B = 0,44–0,76$ Вт/(м·°С) для бетона на пористом шлаковом гравии.

Величина λ_B для тяжелого бетона составляет 1,85 Вт/(м·°С);

– возведение наружных ненесущих стен с применением монолитной теплоизоляции из особо легких (марок по плотности D150–D250) бетонов при использовании теплотехнически эффективной несъемной опалубки обеспечивает следующие значительные преимущества в сравнении со стеной в виде кладки из легкобетонных блоков (марка по плотности бетонов D300–D500):

– исключаются значительные теплопотери через кладочные швы из цементно-песчаного (на кварцевом песке) раствора, величина коэффициента которого превышает в 3–9 раз аналогичную характеристику легкого или ячеистого бетона стенового блока;

– исключается необходимость регламентировать прочность легкого бетона в случае монолитной теплоизоляции, поэтому плотность, а следовательно, и теплопроводность бетона в ней может быть в 2–3 раза меньше; следовательно, появляется возможность повышения сопротивления теплопередаче стены до 20% при той же ее толщине, что и в блочной кладке, облицованной снаружи кирпичной кладкой (в 1/2 кирпича), а изнутри – штукатуркой по сетке;

– взамен традиционных сборных трехслойных наружных стеновых панелей с так называемыми «эффективными» утеплителями (минплита, пенопласт и др.) и связями между слоями в виде либо дисперсных железобетонных шпонок ($\lambda_B = 1,85$ Вт/(м·°С)) или гибких металлических связей с $\lambda = 50$ Вт/(м·°С), которые являются, по существу, «мостиками холода», целесообразно с целью повышения теплозащитной функции стен применять трехслойные стеновые панели с гибкими композитными связями. Теплопроводность материала последних ниже, соответственно, на порядок или на два порядка. Таким образом, практически исключаются так на-

зываемые мостики холода характерные для традиционной трехслойной стеновой панели со шпонками [5].

- для производства стеновых и теплоизоляционных изделий из легких бетонов (стеновых блоков и теплоизоляционных плит), которые не требуют армирования, целесообразно применять малоклинкерные (содержание цементного клинкера от 10 до 30% от массы вяжущего) пластифицированные композиционные вяжущие, изготавливаемые на основе химически взаимосочетаемых активированных продуктов переработки техногенных отходов (МПКВ) [1–4].

Благодаря пониженной величине коэффициента теплопроводности таких вяжущих в затвердевшем состоянии (до 35% относительно портландцементного камня) и пониженной (до 50%) сорбционной влажности легкие бетоны стеновых камней и теплоизоляционных плит марок по плотности соответственно D200–D250 и D300–D500, изготавливаемые на МПКВ, характеризуются пониженным до 30% значением коэффициента теплопроводности в состоянии равновесной влажности (условие Б эксплуатации ограждения). Соответственно можно ожидать повышения сопротивления теплопередаче стеновой кладки из блоков и перемычек, изготовленных из легких бетонов на МПКВ до 25%.

— определенному уменьшению теплотерь стеновой кладки из легкобетонных и ячеисто-бетонных блоков через ее горизонтальные швы должна способствовать замена укладываемых в эти швы проволочных металлических сеток, связывающих наружную облицовку стены, например, из пустотелого кирпича, со слесовой внутренней штукатурки по сетке, на базальтопластиковые связи с меньшим практически на два порядка коэффициентом теплопроводности (см. выше).

Ключевые слова: ресурсоэнергосбережение, конструктивно-технологические системы, строительство, эксплуатация.

Список литературы

1. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш. Состояние и перспективы использования побочных продуктов техногенных образований в строительной индустрии // Экология и промышленность России. 2012. № 10. С. 50–55.
2. Ярмаковский В.Н., Семенюк П.Н., Родевич В.В., Юдин И.В. Полифункциональные легкие бетоны для ресурсоэнергосберегающего промышленного домостроения // Строительные материалы. 2012. № 4. С. 4–12.
3. Савин В.К. Строительная физика. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. Москва: Лазурь, 2005. 426 с.
4. Ярмаковский В.Н., Торпищев Ш.К. О научных основах создания класса низкотеплопроводных композиционных вяжущих // Научные труды РААСН «Фундаментальные исследования РААСН в 2009 году». Москва – Иваново. 2010. С. 193–200.
5. Ярмаковский В.Н., Семенюк П.Н., Родевич В.В., Луговой А.В. К совершенствованию конструктивно-технологических решений трехслойных наружных стеновых панелей крупнопанельных зданий в направлении повышения их теплозащитной функции и надежности в эксплуатации // Материалы IV Академических чтений РААСН «Актуальные вопросы строительной физики – энергосбережение, надежность, экологическая безопасность». Москва, 3–5 июля 2012 г. С. 88–95.



Лабораторные мельницы «Активатор» для заводских и исследовательских лабораторий.



Активатор-2SL



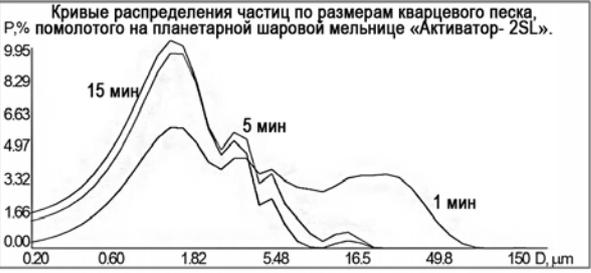
Активатор-4M



Активатор-2S

Мельница	«Активатор-2SL»	«Активатор-2S»	«Активатор-4M»
Количество (объем) барабанов	2 (по 250мл)	2 (по 250мл)	4 (по 1000мл)
Скорость вращения барабанов	0-1500 об/мин	0-2800 об/мин	0-1650 об/мин
Потребляемая мощность	2,2 кВт/ч	2 по 2,2 кВт/ч	18 кВт/ч
Применение	Пробоподготовка	Механохимические исследования	Наработка материала

Кривые распределения частиц по размерам кварцевого песка, Р.% помолотого на планетарной шаровой мельнице «Активатор-2SL».



www.activator.ru >>

Машиностроительный Завод «Активатор»
Новосибирск, Софийская 18, оф 107
630056, Новосибирск 56, а/я 141
Факс: 8 (383) 325-18-49
Тел: 8 913 942 94 81
e-mail: belyaev@activator.ru

Реклама

В.Г. ГАГАРИН, д-р техн. наук, П.П. ПАСТУШКОВ, инженер,
 Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)

Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий¹

Понятие «энергоэффективность» редко используется в рамках точного определения даже в научных публикациях [1]. А в таких часто употребляемых словосочетаниях, как «энергоэффективный дом», «повышение энергоэффективности», «классы энергоэффективности» и т. п., оно несет различный смысл и его можно трактовать по-разному. Между тем понятие «энергоэффективность» в Федеральном законе «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» (ФЗ-261, гл. 1 ст. 2 п. 4) однозначно определяется как «характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта...»

Также п. 3 этой статьи ФЗ определяет, что энергосбережение – это «реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования...»

Настоящая статья посвящена математическому выражению данных определений и получению по этим выражениям количественных оценок энергоэффективности энергосберегающих мероприятий.

Энергоэффективность и энергоемкость полезного эффекта

Из данных выше определений можно заметить, что оба они опираются на понятие «полезный эффект», которое и позволяет связать энергоэффективность и энергосбережение.

Пусть на достижение какого-то полезного эффекта, обозначенного M , затрачивалось W Дж энергии. Пусть выполнение энергосберегающего мероприятия привело к экономии ΔW Дж энергии на достижение данного эффекта. Тогда согласно вышеприведенному определению энергоэффективность достижения этого полезного

эффекта до проведения энергосберегающего мероприятия составляла $E = M/W$, а после выполнения мероприятия – $E_1 = M/(W - \Delta W)$.

Энергоэффективность процесса достижения полезного эффекта после проведения энергосберегающих мероприятий E_1 можно представить в виде:

$$E_1 = \frac{M}{W - \Delta W} = \frac{M}{W} \cdot \left(\frac{W}{W - \Delta W} \right) = E \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta W}{W}} \right). \quad (1)$$

Таким образом, энергоэффективность после проведения энергосберегающего мероприятия есть произведение начальной энергоэффективности на коэффициент, зависящий от относительного энергосбережения. Этот коэффициент показывает, во сколько раз повышается энергоэффективность рассматриваемого полезного эффекта при относительном энергосбережении, равном $\Delta W/W$ (рис. 1).

Величина обратная энергоэффективности, называется *энергоемкостью* полезного эффекта, тогда из (1) следует, что энергоемкость после проведения энергосберегающего мероприятия равна:

$$\frac{1}{E_1} = \frac{1}{E} \left(1 - \frac{\Delta W}{W} \right). \quad (2)$$

Коэффициент изменения энергоемкости полезного эффекта зависит от относительного энергосбережения по линейному закону (рис. 2).

Из представленных графиков можно сделать несколько выводов. Энергоэффективность нелинейно зависит от энергосбережения и при малых значениях относительного энергосбережения энергоэффективность меняется незначительно. Интересно также отметить, что относительное энергосбережение не вызывает такого же снижения энергоемкости. Так, для снижения энергоемкости на 40%, например энергоемкости ВВП на 40% согласно Указу Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889, необходимо снижение затрат энергии не на 40%, а на 60%. Отсюда следует практическая невозможность

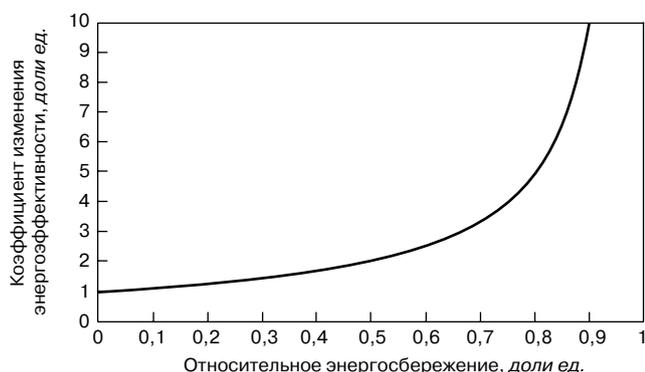


Рис. 1. Зависимость коэффициента изменения энергоэффективности от относительного энергосбережения

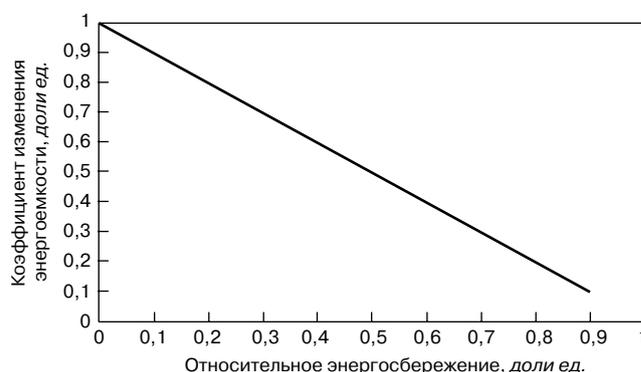


Рис. 2. Зависимость коэффициента изменения энергоемкости полезного эффекта от относительного энергосбережения

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-08-90468).

существенного снижения энергоемкости ВВП за счет только энергосбережения. Это подкрепляется и другими соображениями [2].

Энергоэффективность энергосберегающего мероприятия

Определение энергоэффективности в законе Ф3 -261 сформулировано в общем виде и содержит несколько неопределенностей. В частности, не указаны единицы, в которых выражается полезный эффект, за какой период считать данный эффект, а также затраты энергетических ресурсов и т. д. Эти факторы следует принимать в каждом конкретном случае.

Задача настоящей статьи – количественно оценить энергоэффективность мероприятий, направленных на энергосбережение. Поэтому в дальнейшем принимается, что под полезным эффектом следует считать сбережение ΔW Дж энергии. Тогда если на проведение энергосберегающего мероприятия было дополнительно потрачено ΔW_3 Дж, то энергоэффективностью энергосберегающего мероприятия будет являться отношение $E = \Delta W / \Delta W_3$.

Поскольку выразить ΔW_3 в единицах измерения энергии в практических задачах затруднительно (при проведении энергосберегающих мероприятий следует учитывать не только конкретно энергетические затраты, но и затраты на производство материалов, оплату труда рабочим и т. д.), целесообразно перейти к денежным единицам, тогда энергоэффективность энергосберегающего мероприятия равна:

$$E = \frac{\Delta W}{\Delta W_3} = \frac{\Delta W \cdot C_W}{\Delta W_3 \cdot C_W} = \frac{\Delta \mathcal{E}_o}{\Delta K_o}, \quad (3)$$

где C_W – стоимость энергии, измеряемая в денежных ед./Дж; $\Delta \mathcal{E}_o$ – общий эффект от энергосбережения, выраженный в денежных единицах; ΔK_o – общие единовременные затраты на достижение эффекта от энергосбережения в денежных единицах.

Если энергоэффективность энергосберегающего мероприятия рассчитывать за T лет, то без учета дисконтирования:

$$\Delta \mathcal{E}_o = \Delta \mathcal{E} \cdot T; \quad (4)$$

$$\Delta K_o = \Delta K. \quad (5)$$

С учетом дисконтирования, т. е. приведения стоимости денежного эффекта и затрат к определенному моменту времени, согласно [3] данные выражения приобретают вид:

$$\Delta \mathcal{E}_o = \Delta \mathcal{E} \cdot \frac{((1+p)^T - 1)}{p}; \quad (4a)$$

$$\Delta K_o = \Delta K \cdot (1+p)^T, \quad (5a)$$

где p – процентная ставка по кредиту банка, доли ед./г.; $\Delta \mathcal{E}$ – стоимость сэкономленной за год энергии, денежные ед./г.; ΔK – единовременные затраты, денежные ед.

Тогда (3) преобразуется к виду:

$$E = \frac{\Delta \mathcal{E}_o}{\Delta K_o} = \frac{\Delta \mathcal{E} \cdot ((1+p)^T - 1) / p}{\Delta K \cdot (1+p)^T} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta K} \cdot \frac{((1+p)^T - 1)}{p \cdot (1+p)^T}. \quad (6)$$

Величина $T_0 = \Delta K / \Delta \mathcal{E}$ является бездисконтным сроком окупаемости энергосберегающего мероприятия. Обратная величина $E_n = 1 / T_0$ ¹ называется коэффициентом эффективности капитальных вложений. Теперь формулу (6) можно преобразовать к виду, из которого следует, что энергоэффективность энергосберегающего



Рис. 3. Зависимость понижающего коэффициента от времени. Процентная ставка банка, р.: 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1; 4 – 0,15; 5 – 0,2; 6 – 0,25

мероприятия численно равно коэффициенту эффективности капитальных вложений, помноженному на понижающий коэффициент B , а также на количество лет T , за которое рассчитывается данное мероприятие:

$$E = \frac{T}{T_0} \cdot \frac{((1+p)^T - 1)}{T \cdot p \cdot (1+p)^T} = T \cdot E_n \cdot B; \quad (7)$$

$$B = \frac{((1+p)^T - 1)}{T \cdot p \cdot (1+p)^T}. \quad (8)$$

В свою очередь, из формулы (8) следует, что понижающий коэффициент B определяется процентной ставкой банка и сроком, для которого рассчитывается энергоэффективность. На рис. 3 представлен график зависимости коэффициента B от срока T , на который рассчитывается энергоэффективность мероприятия, при различной ставке по кредиту банка, p . По нему видно, что даже при небольших сроках расчета большая процентная ставка существенно снижает энергоэффективность проводимого мероприятия. Например, если рассмотреть энергосберегающее мероприятие за 25 лет при процентной ставке по кредиту 20% банка годовых (как в среднем по России) и такое же мероприятие при ставке в 5% (наибольшая по Европе), то энергоэффективность последнего практически в три раза выше, чем первого.

Энергоэффективность повышения теплозащиты ограждающих конструкций

Рассмотрим энергоэффективность такого энергосберегающего мероприятия, как повышение теплозащиты ограждающей конструкции. Пусть имеется ограждающая конструкция с некоторым базовым уровнем теплоизоляции с минимальным допустимым сопротивлением теплопередаче R_0^0 . Если в качестве энергосберегающего для данной конструкции применяется наиболее распространенное в настоящее время мероприятие – дополнительное утепление, тогда годовая прибыль за счет снижения теплопотерь через 1 м^2 ограждения при дополнительном утеплении², $\Delta \mathcal{E}$, ден. ед./ $(\text{м}^2 \cdot \text{г})$ согласно [3] равна:

$$\Delta \mathcal{E} = -\Delta k \cdot GCOП \cdot 0,024 \cdot C_T, \quad (9)$$

где Δk – снижение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции в результате ее утепления, Вт/ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; $GCOП$ – градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{г}$; $0,024 = 24 / 1000$ – переводной коэффициент, кВт·ч/(Вт·сут); C_T – стоимость тепловой энергии, ден. ед./ $(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

¹ В советское время величина была нормативной и принималась равной от 0,08 до 0,12 год⁻¹.

² В данном случае величины $\Delta \mathcal{E}$ и ΔK считаются приходящимися на 1 м^2 ограждающей конструкции.

Из (7) и (9) следует:

$$E = T \cdot \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta K} \cdot \frac{((1+p)^T - 1)}{T \cdot p \cdot (1+p)^T} = - \frac{\Delta k}{\Delta K} \cdot ГСОП \cdot 0,024 \cdot C_T \cdot T \cdot B. \quad (10)$$

Формула (10) содержит две характеристики утепления ограждающей конструкции: Δk и ΔK . Можно считать, что коэффициент теплопередачи k функционально зависит от одновременных затрат на утепление конструкции K . Энергоэффективность мероприятия E пропорциональна отношению Δk и ΔK . Предел отношения этих величин при $\Delta K \rightarrow 0$ составляет:

$$\lim_{\Delta K \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta k}{\Delta K} \right) = \left. \frac{dk}{dK} \right|_{K_0},$$

где K_0 – одновременные затраты на конструкцию ограждения при начальном уровне теплозащиты, ден. ед./м².

Таким образом, энергоэффективность мероприятия по утеплению ограждающей конструкции E при некотором начальном уровне значения сопротивления теплопередаче равна:

$$E = - \frac{dk}{dK} \cdot ГСОП \cdot 0,024 \cdot C_T \cdot T \cdot B. \quad (11)$$

Для определения производной применяется прием дифференцирования по параметру. Для этого k и K представляются функциями одного параметра – толщины утеплителя x , m , тогда:

$$\frac{dk}{dK} = \frac{dk/dx}{dK/dx} = - \frac{d \left(\frac{1}{R_0^0 + \frac{x}{\lambda}} \right)}{dx} \cdot \frac{1}{d(K_0 + C_{ym}x)} = - \frac{1}{C_{ym} \lambda \left(R_0^0 + \frac{x}{\lambda} \right)^2}, \quad (12)$$

где C_{ym} – цена теплоизоляционного материала, ден. ед./м³; λ – расчетный коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м·°С); R_0^0 – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции до ее утепления, м²·°С/Вт.

Для начального уровня утепления ($x=0$) формула (12) представляется в виде:

$$\frac{dk}{dK} = - \frac{1}{C_{ym} \lambda (R_0^0)^2}. \quad (12a)$$

Подстановка (12a) в (11) приводит к следующему выражению для энергоэффективности энергосберегающего мероприятия, заключающегося в повышении теплоизоляции ограждающей конструкции:

$$E = \frac{T}{C_{ym} \lambda \cdot (R_0^0)^2} \cdot ГСОП \cdot 0,024 \cdot C_T \cdot B. \quad (13)$$

Полученное выражение (13) для оценки энергоэффективности энергосберегающего мероприятия позволяет выделить разнородные факторы, влияющие на энергоэффективность, – это характеристики теплоизоляционного материала за счет множителя $(T/C_{ym} \lambda)$, теплозащиты ограждающей конструкции здания $(1/(R_0^0)^2)$, региона строительства $(ГСОП \cdot 0,024 \cdot C_T)$, а также влияние экономической (банковской) системы страны за счет коэффициента B .

Рассмотрение каждого из этих факторов по отдельности позволяет поставить новые задачи.

Например, если принять за срок расчета энергосберегающего мероприятия долговечность теплоизоляционного материала, то выражение:

$$E_{ym} = \frac{T_{долг}}{C_{ym} \lambda} \quad (14)$$

можно определить как критерий оценки энергоэффективности теплоизоляционных материалов, по значению

которого возможно ранжировать различные утеплители. Как видно, энергоэффективность материала тем выше, чем больше его долговечность и чем меньше его цена и расчетный коэффициент теплопроводности.

Заключение

Таким образом, предложен общий подход, позволяющий количественно оценить энергоэффективность энергосберегающих мероприятий. В случае оценки энергоэффективности повышения теплозащиты ограждающей конструкции получена формула, учитывающая все значимые факторы. Введено выражение для критерия оценки энергоэффективности теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, полезный эффект, теплозащита ограждающей конструкции, критерий энергоэффективности.

Список литературы

1. Самарин О.Д., Гришинева Е.А. Повышение энергоэффективности зданий на основе интеллектуальных технологий // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 5. С. 12–14.
2. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8–16.
3. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 41–47.

6-8 АВГУСТА ЧЕЛЯБИНСК



СТРОИТЕЛЬСТВО

2013 ВЫСТАВКА-ФОРУМ

Выставка-форум «Строительство-2013» продемонстрирует достижения всех участников строительного процесса - от научных разработок до их внедрения, от проектных решений, производства строительных материалов до готовых объектов.

Разделы выставки:

<ul style="list-style-type: none"> - Современные технологии в строительстве - Строительные конструкции, изделия - Промышленное строительство - Гражданское строительство - Объекты недвижимости - Малоэтажное строительство - Строительные материалы и оборудование для их производства - Строительные комплексы, машины и механизмы - Наука в строительстве 	<ul style="list-style-type: none"> - Инженерные сети: водо-, тепло-, газо-, электроснабжение - Вентиляция, кондиционирование - Оборудование зданий и сооружений - Дорожное строительство - Строительно-дорожная техника - Современные ресурсосберегающие технологии и материалы в строительстве - Экология в строительстве - Автоматизация в строительстве и эксплуатации жилья - Инвестиционные и инновационные проекты - Зодчество и архитектура
---	--

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ:
 КРУГЛЫЕ СТОЛЫ, КОНФЕРЕНЦИИ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ ОТРАСЛИ
 ТОРЖЕСТВЕННЫЙ ПРИЕМ В ЧЕСТЬ
 ДНЯ СТРОИТЕЛЯ

Организатор:

 Первое всероссийское объединение строителей

ДС «Юность», Свердловский пр., 51
 Тел.: (351) 215-88-77, 231-37-41 www.pvo74.ru

В.В. КОЗЛОВ, канд. техн. наук,
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)

Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий

Выбор уровня тепловой защиты ограждающих конструкций должен быть обоснован. Исторически нормирование шло по пути нынешних санитарно-гигиенических требований. При этом обоснованием выбранного уровня тепловой защиты служило удобство для проживания людей. После перехода с 1995 г. к нормированию по принципу энергосбережения возникла необходимость в новом обосновании нормативных требований. Очевидно, что таким обоснованием должен был служить экономический расчет эффективности энергосберегающих мероприятий. К сожалению, квалифицированных расчетов по полноценному экономическому обоснованию требуемых величин тогда проведено не было.

Прошедшее время показывает, что подтверждение экономической целесообразности требуемых величин было бы невозможным. Многообразие экономических ситуаций, слабая предсказуемость их изменения во времени делают общие экономические рассуждения и расчеты практически бесполезными. Тем не менее большинство работ по экономике тепловой защиты зданий последних 40 лет были именно общими и крайне далекими от практики. Работы изобиловали множеством ошибок и неточностей, что приводило к парадоксальным, зачастую противоречащим друг другу результатам. Отметим, что грамотные экономические работы по выбору уровня тепловой защиты все-таки существуют, например есть работа В.А. Сокольского [1], написанная сто лет назад, но по уровню исполнения не потерявшая актуальности до сих пор. Есть современная работа В.Г. Гагарина [2].

Настоящая статья посвящена исследованию экономики тепловой защиты и подготовке метода оптимизации ограждающих конструкций. Отличительной чертой работы является рассмотрение конструкции как сложной системы множества элементов и практическая направленность развиваемых методов.

Некоторые ошибки, допускаемые при экономических исследованиях тепловой защиты зданий

Кратко рассмотрим основные недостатки современных работ по экономическому анализу тепловой защиты зданий.

Обычно для выбора оптимального уровня тепловой защиты исходят из следующей модели. Инвестор осуществляет единовременные вложения K на производство 1 м^2 ограждающей конструкции. Годовые затраты на компенсацию потерь теплоты через 1 м^2 этой конструкции зависят от ее сопротивления теплопередаче и составляют величину \mathcal{E} . Суммарные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции в течение $Z_{\text{ок}}$ лет (приведенные затраты) составляют:

$$P = K + Z_{\text{ок}} \cdot \mathcal{E}. \quad (1)$$

Задача заключается в минимизации функции приведенных затрат.

Такой подход является основой экономической оптимизации, при этом различия между работами разных авторов заключаются в записи затрат на строительство и эксплуатацию конструкции и способах осуществления минимизации. В рассмотрение могут быть включены (или не включены) различные части конструкции, особенности отопительной системы, экономическая ситуация, например учет инфляции или дисконтирования затрат.

На минимизации приведенных затрат основаны методы расчета «экономически целесообразного», «оптимального» и т. п. сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, например подробно рассмотренные Л.Д. Богуславским в [3] и еще по крайней мере в шести его книгах или Г.П. Васильевым в [4]. В этих методах величины K и \mathcal{E} выражаются в виде функций от сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, которое принимается в качестве независимой переменной¹. Затем находится производная функции P по указанной переменной и значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, при котором эта производная равна нулю. Полученное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции считается «экономически целесообразным».

Как уже было сказано, большинство работ последних десятилетий содержит одни и те же повторяющиеся ошибки, значительно снижающие ценность получаемых результатов. Иногда эти ошибки даже специально используются для подгонки результатов под заданную идею.

Чаще всего встречаются следующие ошибки:

1. Нет рассмотрения конкретной конструкции. Для авторов конструкция — некая абстракция, поэтому, получая абсурдные результаты, они этого даже не замечают.
2. Фактически рассматриваются конструкции без неоднородностей. Даже если вводится поправочный коэффициент на теплотехническую однородность, он не изменяется с изменением характеристик конструкции, что неверно.
3. Оптимизация конструкции проводится в предположении непрерывного и гладкого изменения всех величин. В частности, исходя из этого предположения ищется минимум приведенных затрат. Но характеристики конструкций изменяются скачками. Это их неотъемлемое свойство. Поэтому находить минимум функции приведенных затрат дифференцированием нельзя и результаты таких поисков ничтожны без дополнительного математического исследования.

¹ В некоторых вариантах рассматриваемого метода в качестве переменной принимается толщина слоя теплоизоляции или величина, пропорциональная этой толщине.

4. Часто в рассмотрение принимается множество отделенных и мало связанных с решаемой задачей обстоятельств. К таким деталям можно отнести: прогнозы изменения цен на энергоносители на десятилетия вперед; прогноз проблем с сетями или генерирующими мощностями; изучение инфляции и ссудного процента; собиранье множества различных конструкций в единый комплекс. Размывание непосредственно решаемой задачи и снижение точности с включением каждого нового элемента приводят к погрешностям, большим по абсолютной величине, чем сам результат. Особенно это характерно для работы [4].

Приступая к оптимизации ограждающей конструкции, логично именно ограждающую конструкцию и рассматривать подробно, разрешая возникающие при этом проблемы. Остальные факторы могут быть рассмотрены более схематично. В противном случае никакой оптимизации получить невозможно. Говоря коротко, абстрактная конструкция будет абстрактно оптимизирована с абстрактным результатом.

Выбор функции приведенных затрат

Зададимся целью провести экономическое исследование тепловой защиты ограждающей конструкции, учитывая перечисленные выше ошибки. При этом будем стараться создать простой инструмент для анализа реальных конструкций в процессе проектирования.

Создание доступного, по сути, инженерного метода почти всегда предполагает введение удобного критерия, основные параметры которого могут заранее посчитать узкие специалисты, а на долю проектировщика оставить только его использование. Для этого требуется добиться в процессе исследования разделения факторов, зависящих от выбора конструкции, и факторов, зависящих от района строительства и экономической ситуации.

Как всегда, сначала нужно записать функцию приведенных затрат. Для достижения поставленных целей функция приведенных затрат должна учитывать сложный состав ограждающих конструкций и дискретность переменных.

Вопросы дисконтирования затрат и инфляции далее рассматриваться не будут. Правильный учет дисконтирования затрат и инфляции – по-настоящему сложная научная работа, которая в большинстве известных нам случаев проводится недостаточно аккуратно даже научными сотрудниками и тем более не нужна для инженерного метода. Кроме того, дисконтирование затрат и инфляция – противоположно направленные процессы, которые будут по большей части скомпенсированы. Небольшая нескомпенсированная неувязка между этими процессами может быть свободно учтена путем правильного выбора срока окупаемости в бездисконтируемой модели, однако сам вопрос правильного выбора срока окупаемости столь сложен, что на его фоне учет неувязки окажется весьма мелкой проблемой.

Функция приведенных затрат на 1 м² ограждающей конструкции запишется в следующем виде:

$$P = K + K_{от} + Z_{ок} \cdot 0,024 \cdot \frac{ГСОП}{R_{оп}} \cdot C_T \quad (2)$$

В формуле (2) подробнее расписаны годовые затраты на компенсацию потерь теплоты и введен дополнительный член $K_{от}$ – единовременные затраты на систему отопления и подключение к сетям в пересчете на 1 м² конструкции. Этот дополнительный член необходим, так как во многих случаях он оказывает значительное влияние на результаты расчетов. $K_{от}$ требует особой аккуратности при расшифровке, так как нужно выделить часть

отопительной системы, приходящуюся на 1 м² исследуемой конструкции, что может вызвать затруднения.

Выражение $0,024 \cdot \frac{ГСОП}{R_{оп}}$ в формуле (2) – это количество энергии, проходящей через 1 м² ограждающей конструкции за отопительный период в кВт·ч/м²; C_T – цена тепловой энергии, р./кВт·ч.

Стоимость части отопительной системы, приходящаяся на 1 м² исследуемой конструкции, очевидно, зависит от тепловых потерь через эту конструкцию и может быть записана в следующем виде:

$$K_{от} = 0,024 \cdot \frac{ГСОП}{R_{оп}} \cdot C_{от}, \quad (3)$$

где $C_{от}$ – удельная цена отопительного оборудования и подключения к тепловой сети, р./кВт·ч/г.).

Для удобства представления функции P вводится климатический коэффициент, определяемый по формуле:

$$m_{кл} = \frac{ГСОП}{ГСОП(\vartheta)} \quad (4)$$

Выбор $ГСОП(\vartheta)$ достаточно произвольный. Для оптимизации расчетов предлагается принять $ГСОП(\vartheta) = 1000^\circ\text{C сут/г.}$, что примерно соответствует условиям г. Сочи (при $t_{\vartheta} = 20^\circ\text{C}$).

В результате формула (2) преобразуется к виду:

$$P = K + 24 \cdot \frac{m_{кл}}{R_{оп}} \cdot [C_{от} + Z_{ок} \cdot C_T] \quad (5)$$

Для учета сложного состава ограждающих конструкций воспользуемся элементным подходом к тепловой защите ограждающих конструкций.

В соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003» (или подробнее [5]) ограждающую конструкцию можно представить как набор независимых элементов, влияющих на тепловые потери. В этом случае приведенное сопротивление теплопередаче находится по формуле (Е.1) из СП 50.13330.2012, а обратная величина – по формуле:

$$\frac{1}{R_{оп}} = \sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k, \quad (6)$$

где U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания, Вт/(м²·°C); a_i – удельная площадь плоского элемента конструкции i -го вида, м²/м²; Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, Вт/(м·°C); l_j – удельная протяженность линейной неоднородности j -го вида, м/м²; χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/°C; n_k – удельное количество точечных неоднородностей k -го вида, шт./м².

Элементный подход также позволяет записать удельные единовременные затраты на производство 1 м² конструкции, р./м², как сумму стоимостей теплозащитных элементов и их монтажа:

$$K = K_0 + \sum a_i K_i^{пл} + \sum l_j K_j^{лин} + \sum n_k K_k^{точ}, \quad (7)$$

где $K_i^{пл}$, $K_j^{лин}$, $K_k^{точ}$ – удельные единовременные затраты на закупку и монтаж единицы плоского, линейного и точечного теплозащитных элементов соответственно, р./м², р./м, р./шт. Иногда в удельных единовременных затратах приходится кроме затрат на закупку и монтаж учитывать сопутствующие траты. Например, увеличение толщины утеплителя вызывает постепенное удорожание откосов, дюбелей, кронштейнов и т. п. K_0 – начальные удельные единовременные затраты, т. е. затраты, которые не зависят от уровня тепловой защиты кон-

струкции, р./м². Например, затраты на облицовку, некоторые несущие конструкции и т. п.

После подстановки выражения (6) и (7) в формулу (5) получается функция приведенных затрат на 1 м² ограждающей конструкции, зависящая от характеристик каждого теплозащитного элемента. Изменение одного или нескольких элементов приводит к изменению функции Π . Таким образом, в сформулированной постановке задачи удается учесть сложность ограждающих конструкций и дискретность изменения параметров. Так как теплозащитные элементы принимаются не зависящими друг от друга, функция Π оказывается функцией, определенной на многомерном множестве дискретных переменных. У такой функции производная не определена, но экстремумы есть.

Условия минимума функции приведенных затрат

Для решения задачи оптимизации тепловой защиты ограждающей конструкции требуется найти точку, в которой достигается наименьшее значение функции Π . При этом само значение минимума не столь важно, оно понадобится только для сравнения между собой качественно отличающихся конструкций.

Вычислим приращение функции Π при минимальном изменении одной из независимых переменных. Для определенности в качестве изменяемой переменной выберем точечный теплозащитный элемент под номером 1. Очевидно, что изменение теплозащитного элемента будет приводить одновременно к изменению χ_1 и $K_1^{\text{точ}}$. Различные значения одного и того же теплозащитного элемента будем обозначать верхним индексом, причем заранее договоримся, что все варианты упорядочены по удельным тепловым потерям в порядке убывания, т. е. чем больше верхний индекс, тем меньше удельные тепловые потери и тем больше удельные единовременные затраты¹.

Вычтем из приведенных затрат конструкции с более «теплым» вариантом элемента 1 (обозначим его верхним индексом k), приведенные затраты конструкции с более «холодным» вариантом (обозначим его верхним индексом $k-1$). Все члены формулы (5), не содержащие χ_1 и $K_1^{\text{точ}}$, взаимно уничтожатся. Останется только разность приведенных затрат самого точечного элемента 1:

$$\Delta \Pi(\chi_1^{k-1,k}) = n_1 \Delta K_1^{\text{точ}_{k-1,k}} + 24 \cdot m_{\text{кл}} \cdot n_1 \Delta \chi_1^{k-1,k} \cdot [C_{\text{от}} + Z_{\text{ок}} \cdot C_T], \quad (8)$$

где введены обозначения:

$$\Delta K_1^{\text{точ}_{k-1,k}} = K_1^{\text{точ}_{k-1}} - K_1^{\text{точ}_{k-1}}, \quad (9)$$

$$\Delta \chi_1^{k-1,k} = \chi_1^k - \chi_1^{k-1}. \quad (10)$$

При выбранном упорядочении очевидно, что ΔK всегда положительна, а $\Delta \chi$ всегда отрицательна. Чтобы четче представить изменение $\Delta \Pi$ при переходе от выбранного варианта теплозащитного элемента к следующему, перегруппируем члены в формуле (8):

$$\Delta \Pi(\chi_1^{k,k+1}) = 24 \cdot n_1 \left| \Delta \chi_1^{k,k+1} \right| \left(\frac{\Delta K_1^{\text{точ}_{k,k+1}}}{24 \left| \Delta \chi_1^{k,k+1} \right|} - m_{\text{кл}} \cdot [C_{\text{от}} + Z_{\text{ок}} \cdot C_T] \right). \quad (11)$$

Анализ показывает, что функция (11) возрастает с увеличением тепловой защиты точечного элемента 1 и начинается отрицательными, а заканчивается положительными значениями. Минимум функции приведенных затрат по выбранной переменной будет при перехо-

де функции (11) через ноль. Таким образом, точка достижения минимума приведенных затрат полностью определяется выражением в скобках. Оно сгруппировано так, что уменьшаемое зависит только от характеристик конструкции (как теплотехнических, так и экономических), а вычитаемое зависит только от характеристик района строительства и экономической ситуации. Отделение характеристик конструкции от иных характеристик важно для возможности дальнейшего обобщения и анализа получаемых результатов. Полученные в скобках выражения столь важны для создаваемого метода, что для них вводится специальное обозначение, а именно: удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы, р./((кВт·ч/г.):

$$\Omega_{\chi_1}^{k+1} = \frac{\Delta K_1^{\text{точ}_{k,k+1}}}{24 \left| \Delta \chi_1^{k,k+1} \right|} = - \frac{\Delta K_1^{\text{точ}_{k,k+1}}}{24 \Delta \chi_1^{k,k+1}}. \quad (12)$$

Удельная прибыль от экономии энергетической единицы, р./((кВт·ч/г.):

$$\Omega_{\text{пр}} = m_{\text{кл}} \cdot [C_{\text{от}} + Z_{\text{ок}} \cdot C_T]. \quad (13)$$

В дальнейшем они используются как самостоятельные характеристики конструкции и района строительства.

Если бы функция Π зависела только от выбранного теплозащитного элемента, ее минимум достигался бы при переходе функции от убывания к возрастанию, т. е. при смене знака $\Delta \Pi$ с минуса на плюс. Для непрерывной функции это означает: $\Delta \Pi = 0$. В нашем случае дискретной функции Π аналогом будет максимальная близость $\Delta \Pi$ к нулю, т. е. близость $\Omega_{\chi_1}^{k+1}$ к $\Omega_{\text{пр}}$.

Рассмотрев влияние на приращение функции приведенных затрат любого другого теплозащитного элемента, мы получим соответствующие характеристики и требование их максимальной близости. Причем во всех случаях $\Omega_{\text{пр}}$ будет одна и та же (что вполне естественно, так как это характеристика климатического района и экономической ситуации, которые при рассмотрении другого теплозащитного элемента остаются прежними).

По определению существуют теплозащитные элементы трех видов, поэтому и удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы будут выражены тремя сходными формулами.

Для плоского элемента:

$$\Omega_U^k = - \frac{K^{\text{пл}_{k-1}} - K^{\text{пл}_{k-1}}}{24 \cdot [U^k - U^{k-1}]}. \quad (14)$$

Для линейного элемента:

$$\Omega_{\Psi}^k = - \frac{K^{\text{лин}_{k-1}} - K^{\text{лин}_{k-1}}}{24 \cdot [\Psi^k - \Psi^{k-1}]}. \quad (15)$$

Для точечного элемента:

$$\Omega_{\chi}^k = - \frac{K^{\text{точ}_{k-1}} - K^{\text{точ}_{k-1}}}{24 \cdot [\chi^k - \chi^{k-1}]}. \quad (16)$$

Функция приведенных затрат как функция нескольких переменных достигает минимума при одновременном достижении минимума по всем переменным, что в данном случае означает требование максимальной близости удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы всех теплозащитных элементов конструкции к удельной прибыли от экономии энергетической единицы.

¹ Увеличение единовременных затрат с уменьшением удельных тепловых потерь здесь принимается по умолчанию, хотя требует дополнительного упорядочения всего множества вариантов выбранного теплозащитного элемента. Это упорядочение достаточно очевидно и всегда выполнимо. Здесь оно не объясняется подробно для краткости и цельности основного изложения.

Класс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Границы $\Omega_{эл}, \rho, /(\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{г})$	<2	от 2 до 4	от 4 до 8	от 8 до 14	от 14 до 24	от 24 до 40	от 40 до 65	от 65 до 100	от 100 до 160	от 160 до 250	от 250 до 380	от 380 до 570	от 570 до 850	>850

Предварительные выводы и введение классификации

Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче позволяет представить ограждающую конструкцию как множество наборов элементов ее составляющих. Конструкция в исследовании представляется облаком вариантов в многомерном пространстве, где размерность пространства соответствует количеству независимых элементов конструкции.

Оптимизация конструкции представляет собой процедуру поиска минимума некоей функции на множестве вариантов конструкции. Заметим, что это множество дискретных вариантов. Для разных климатических и экономических условий минимизируемая функция (приведенные затраты) будет различна. То есть для каждой конструкции существует не один оптимальный вариант, а несколько, по одному для каждого климатического и экономических условий. Все оптимальные варианты конструкции попадают в подмножество, процедура нахождения которого описана далее. Члены подмножества названы гармонично утепленными конструкциями.

Практический вывод из проведенного исследования следующий.

Для повышения эффективности энергосберегающих мероприятий следует при проектировании ограждающих конструкций стремиться к сближению значений удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы для всех теплозащитных элементов конструкции. Наиболее энергоэффективными будут конструкции с одинаковыми значениями удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы для всех ее элементов. Так как эти значения для технически выполнимых вариантов утепления элементов конструкции представляют собой дискретный ряд, очевидно, что строгого математического равенства добиться не удастся, но этого и не требуется, учитывая фактическую приблизительность данных расчетов. Если исследовать функцию приведенных затрат, то можно заметить, что ее минимум всегда размыт и определять по нему конкретную точку с конкретным приведенным сопротивлением теплопередаче конструкции не имеет смысла.

Для практического использования достаточно приближенного равенства всех удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы конструкции, которое фиксируется попаданием всех значений на один отрезок. Чтобы формализовать приближенное равенство, предлагается ввести классификацию вариантов элементов конструкции по удельным единовременным затратам на экономию энергетической единицы, разбив все множество значений на отрезки. Классы энергоэффективности элементов конструкции представлены в таблице.

Следует отметить, что данная классификация сама по себе не может служить для суждения о предпочтительности отдельного элемента на основании его соответствия тому или иному классу. Предложенная классификация элементов конструкции может быть использована только при проектировании всей ограждающей конструкции энергоэффективного здания.

Наиболее энергоэффективными будут ограждающие конструкции, элементы которых относятся к одному классу энергоэффективности (технический аналог ма-

тематического равенства). Поэтому для них предлагается ввести специальный термин.

Определение: гармонично утепленной называется ограждающая конструкция, все элементы которой относятся к одному классу энергоэффективности. Этот же класс энергоэффективности является характеристикой и всей конструкции.

В настоящее время гармонично утепленные ограждающие конструкции практически отсутствуют и требуется целенаправленная работа по созданию таких конструкций. Их использование является предпочтительным, поскольку они дают максимальный энергосберегающий эффект при равных затратах.

Определение: гармонично утепленной называется оболочка здания, состоящая из гармонично утепленных ограждающих конструкций одного класса. Этот же класс энергоэффективности является характеристикой и всей оболочки здания.

По-настоящему энергоэффективные здания возможно построить только с гармонично энергоэффективной оболочкой.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сформулировать простой инженерный метод оптимизации ограждающих конструкций. Причем практически всю работу по оптимизации можно проводить до выбора конкретного района строительства, заранее, что очень важно.

Введенная характеристика, по сути, стоимость энергосберегающих мероприятий, необходимых на экономии 1 кВт·ч/г., для эталонных климатических условий ГСОП(Э). Она введена таким образом, что легко обобщается на любые энергосберегающие мероприятия. Такой подход позволяет в едином ключе проводить оптимизацию не только отдельной конструкции или оболочки здания, но и всего здания в целом, требуя одного класса энергоэффективности как от теплозащитных элементов, так и от рекуператоров, солнцезащитных мероприятий, теплообменников и т. д.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплозащитные элементы, ограждающие конструкции, энергосбережение.

Список литературы

1. Сокольский В.А. Принципы экономичности и их выражение в современном строительстве. СПб, 1910. 535 с.
2. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 41–47.
3. Бозулавский Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. М.: Стройиздат, 1985. 336 с.
4. Васильев Г.П. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? // Энергосбережение. 2011. № 6. С. 14–22.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.

В.Г. ГАГАРИН, д-р техн. наук, член-кор. РААСН, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва); К.А. ДМИТРИЕВ, студент, Московский государственный строительный университет

Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах

Сопrotивление теплопередаче характеризует теплозащиту отдельных ограждающих конструкций зданий и является нормируемым показателем. На основании нормируемых значений этой величины часто делаются выводы об уровне энергосбережения зданий и проводятся сравнения этого уровня в России и других странах. С нормируемыми значениями сопrotивлений теплопередаче сравниваются расчетные значения.

В актуализированной редакции СНиП 23-02 «Тепловая защита зданий» [1] использована методика расчета приведенного сопrotивления теплопередаче ограждающих конструкций, разработанная в НИИСФ [2] и гармонизированная с европейским стандартом [3, 4]. Последнее обстоятельство позволяет сопоставлять расчетные значения сопrotивлений теплопередаче. В настоящей статье приводятся сведения о возможности таких сопоставлений.

Приведенное сопrotивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (приводится с незначительным упрощением) [1]:

$$R_o^{np} = \frac{1}{U + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (1)$$

где U – коэффициент теплопередачи по глади конструкции, Вт/(м²·°C); Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, Вт/(м·°C); l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м/м²; χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/°C; n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт./м².

Величина U рассчитывается по известной формуле:

$$U = \frac{1}{R_o^{ycl}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_s \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_s + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (2)$$

где R_o^{ycl} – условное сопrotивление теплопередаче по глади конструкции, м²·°C/Вт; остальные условные обозначения в этой формуле хорошо известны и для краткости изложения опускаются.

Дополнительные потери теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающей конструкции выражаются формулой:

$$\Delta U = \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k. \quad (3)$$

В [1] приведена методика (в обязательном приложении Е) определения величин Ψ и χ при помощи расчетов двухмерных или трехмерных температурных полей на ЭВМ. Данная методика аналогична методикам расчета [3–4]. После определения этих величин расчет приведенного сопrotивления по формуле (1) не представляет сложности. Для упрощения расчетов величин Ψ и χ в НИИСФ разработано пособие, содержащее их значения для типовых узлов ограждающих конструкций, которое готовится к публикации.

В России при поэлементном нормировании приведенное сопrotивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции должно быть больше или равно нормируемому значению [1]:

$$R_o^{np} \geq R_o^{norm}. \quad (4)$$

Нормируемое сопrotивление теплопередаче назначается равным произведению $R_o^{mp} \cdot m_p$, где R_o^{mp} принимается в зависимости от климатических условий района строительства по рассчитываемому значению градусо-суток отопительного периода (ГСОП) по широко известной табл. 3 [1]; m_p назначается в зависимости от выполнения требований по удельному потреблению энергии зданием, но не может быть меньше 0,63 для стен, 0,95 для светопрозрачных конструкций, 0,8 для остальных конструкций. Так, например, для жилых зданий в Москве $R_o^{mp} = 3,13$ м²·°C/Вт; минимальное значение R_o^{norm} составляет $R_o^{norm} = 3,13 \cdot 0,63 = 1,97$ м²·°C/Вт. Это требование действует с 2003 г. В СНиП 23-02–2003 содержатся и другие требования к теплозащите здания [5], но данное требование к сопrotивлению теплопередаче является минимально допустимым.

Из европейских стран наиболее развита и представлена в документах система нормирования в Германии. В табл. 3 второй части DIN 4108 [6] дается таблица минимально допустимых значений сопrotивлений теплопередаче ограждающих конструкций (см. таблицу).

В п. 5.2.4 данного документа [6] изложены требования к конструкциям с тепловыми мостиками: «Сопrotивление теплопередаче рассчитывается в соответствии с DIN EN ISO 10211-1 и EN ISO 10211-2...» Это означает, что рассматриваемые требования относятся к приведенному сопrotивлению теплопередаче. В указанных стандартах [3–4] приведены методы расчета влияния теплопроводных включений на потери тепловой энергии через теплотехнические неоднородности конструкций. Эти методы соответствуют методу расчета приведенного сопrotивления теплопередаче, представленному в приложении Е [1]. Однако понятия «приведенное сопrotивление теплопередаче» в Германии нет.

Из данных в таблице можно видеть, что нормируемые в Германии минимальные значения сопrotивлений теплопередаче существенно меньше, чем соответствующие минимальные значения в России.

Требования к основной теплозащитной характеристике ограждающих конструкций – сопrotивлению теплопередаче существуют во всех европейских странах, а наличие европейских стандартов [3, 4] свидетельствует о возможности учета тепловых мостиков, или мостиков холода, или, правильнее, теплотехнических неоднородностей. Каков действительный учет влияния теплотехнических неоднородностей на теплозащитные свойства ограждающих конструкций при проектировании зданий в различных странах?

Россия. Положение следует признать не вполне удовлетворительным. Значения приведенного соп-

Минимальные значения сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций (по данным DIN 4108 [6])

Конструкции		Сопротивление теплопередаче R , м ² ·К/Вт
Наружные стены, стены помещений цокольного этажа, переходы, открытые коридоры, гаражи		1,2
Межкомнатные и межквартирные перегородки		0,07
Стены лестничных клеток	для лестничных клеток с существенно более низкой температурой внутреннего воздуха (например, лестничные клетки с косвенным отоплением), с температурой внутреннего воздуха <10°C, но, по крайней мере, с положительной температурой	0,25
	для лестничных клеток с внутренней температурой >10°C (например, офисных зданий, коммерческих зданий, учебных зданий, гостиниц, ресторанов и жилых зданий)	0,07
Межквартирные перекрытия; перекрытия между различающимися рабочими помещениями; перекрытия под помещениями мансарды	Общие	0,35
	В офисных зданиях с центральным отоплением	0,17
Основание под помещением без подвала	Общие	0,9
	В офисных зданиях с центральным отоплением	
Перекрытие под нестроенной мансардой; перекрытие под вентилируемым пространством между скатами крыши и обратной поверхностью стены при построенной утепленной мансарде		
Перекрытия над подвалами, перекрытия над неотапливаемыми коридорами и т. п.		
Перекрытия, а также кровли, которые отграничивают помещения от наружного воздуха	Вниз (от помещения) над отапливаемыми гаражами, проездами, в том числе запертыми, и вентилируемыми пролазами ^{a)}	1,75
	Вверх, например, крыши по DIN 18530, крыши террас и перекрытия под террасами; инверсные крыши по 5.3.3	1,2

^{a)} Увеличенное сопротивление теплопередаче для предотвращения охлаждения ног.

тивления теплопередаче редко рассчитываются правильно при проектировании зданий и подготовке раздела «Энергоэффективность» [2]. Причин тому несколько, и они указаны в [2].

Во-первых, отсутствие в предыдущих нормативных документах четкого определения понятия приведенного сопротивления теплопередаче.

Во-вторых, нечеткое изложение методик расчета приведенного сопротивления теплопередаче в действовавшем СП [7] и других нормативных документах.

В-третьих, неправильное восприятие табл. 6 в [7], содержащей значения «минимально допустимых значений коэффициента теплотехнической однородности, r , для конструкций индустриального изготовления». Эта таблица содержит неоправданно высокие значения r , как правило, недостижимые на практике. Вместо своего прямого назначения, ограничения конструкций по однородности приведенные в этой таблице значения воспринимаются в качестве ориентировочных значений r для соответствующих или похожих конструкций. В результате принимаются завышенные значения r , что приводит к проектированию ограждающих конструкций с недостаточными теплозащитными свойствами.

Введение в действие актуализированной редакции СНиП 23-02 [1] с четкой методикой расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволит улучшить ситуацию.

В Европе также имеются препятствия для полноценного учета влияния теплотехнических неоднородностей в практике проектирования ограждающих конструкций. Состояние этого вопроса хорошо описано в [8]. Ниже приводятся некоторые сведения из этого обзора для стран Северной и Центральной Европы.

Дания. Нормы учитывают влияние тепловых мостиков как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий. В обоих случаях используется упрощенный подход.

Простые конструктивные решения тепловых мостиков, как правило, оцениваются ручным вычислением. Сложные тепловые мостики должны оцениваться по-

средством подробного численного анализа, однако значения для всех типичных решений сведены в таблицы, содержащиеся в стандартах, атласах или брошюрах. Составление таких таблиц обеспечивается производителями строительных материалов.

Имеются определенные требования для значений U и, кроме того, имеются некоторые требования максимальных значений ψ для трех видов узлов конструкций, в частности 0,03 Вт/(м·К) для оконных откосов и 0,15 Вт/(м·К) для примыкания стен к фундаментам. Сведений о требованиях к другим тепловым мостикам в датских нормах не содержится.

Для новых зданий должно быть выполнено требование к потреблению энергии и, кроме того, наложены требования к максимальным значениям ψ для тех же тепловых мостиков: значение ψ может быть не более 0,06 Вт/(м·К) для оконных откосов и не более 0,4 Вт/(м·К) для примыкания стен к фундаментам.

Реализация в проекте требований к тепловым мостикам контролируется органами государственной власти и проверяется энергетическим консультантом.

Норвегия. В нормах разделяются тепловые мостики, которые влияют незначительно, и мостики, которые должны быть приняты во внимание по сравнению со значениями U , например края бетонного пола, идущего частично через изолированную стену; последние тепловые мостики должны быть оценены отдельно.

Оба вида тепловых мостиков учитываются путем расчетов, которые обязательны и для новых, и для реконструируемых зданий.

Учет тепловых мостиков при проектировании ограждающих конструкций не проверяется властями.

Финляндия. Нормы учитывают влияние тепловых мостиков только для строящихся зданий. Расчет осуществляется с упрощением, которое применимо для слоев конструкции, состоящих из материалов с различной теплопроводностью, расположенных параллельно потоку теплоты. Если отношение большей теплопроводности к меньшей двух смежных материалов такого

слоя меньше 5, то в качестве теплопроводности всего слоя принимается усредненная по площади сечения теплопроводность материалов, слоя. Если же это отношение теплопроводностей материалов больше, чем 5, то элементы конструкции с большей теплопроводностью рассматриваются как тепловые мостики, влияние которых рассчитывается соответствующими методами или измерениями. Добавка от влияния линейных и точечных теплотехнических неоднородностей рассчитывается по формуле, аналогичной (3), и добавляется к значению U при расчетах трансмиссионных теплопотерь.

Нормы не содержат явных ограничений на влияние тепловых мостиков. Соблюдение требований при проектировании конструкций не контролируется властями, кроме как в рекомендательной форме.

Бельгия. На данный момент в Бельгии разработано пять различных подходов к учету мостиков холода в новых зданиях:

1. Получение величины теплопотерь при математическом 3D/2D-моделировании.
2. Добавление величины ΔU к общей величине теплопотери. Значения ψ и χ могут быть приняты на основании моделирования или из таблиц, которые на данный момент разрабатываются и дополняются.
3. В случае, если все элементы конструкции сделаны согласно требованиям, допускается к величине теплопотери по глади стены добавлять установленную величину, учитывающую теплотехнические неоднородности. Максимальные значения ψ и прочие детали, относящиеся к данному подходу, находятся в разработке. Считается, что эта величина должна быть в пределах 5% погрешности относительно современных требований, предъявляемых к тепловой защите конструкций.
4. В случае, если в конструкции имеются нетиповые включения, которые не учитываются нормативными требованиями, требуется провести 2D- или 3D-расчет величин ψ и χ для этих элементов.
5. Если же неоднородности вообще не учитываются, то при расчете делают некоторую добавку к общим трансмиссионным потерям здания.

Для любых новых зданий в Бельгии требуется сертификат энергопотребления и разрешение на строительство.

Нидерланды. В Нидерландах используются как упрощенный подход, так и расчет тепловых мостиков, однако их влияние учитывается только в новых возводимых зданиях.

Упрощенный метод заключается в добавке $\Delta U=0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Расчет влияния тепловых мостиков позволяет учитывать влияние только линейных теплотехнических неоднородностей, которое добавляется к теплопотерям по глади конструкций.

Официально это отслеживается властями, однако учет деталей никак не проверяется на практике.

Германия. Тепловые мостики учитываются либо как заданная величина $\Delta U_{WB}=0,05-0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ для конструкций различного назначения, либо расчетом по приложению 2 к DIN 4108 [9], в котором содержатся примеры узлов ограждающих конструкций с максимальными значениями ψ . Тепловые мостики учитываются при расчетах трансмиссионных теплопотерь через оболочку эталонного здания.

Теплотехнические неоднородности учитываются как в строящихся, так и в реконструируемых зданиях, однако выполнение требований обычно никак не отслеживается.

Франция. Действующие стандарты предусматривают учет неоднородностей только для новых зданий. Точный расчет или атлас теплотехнических неоднородностей Th-U используют только для определения влияния линейных теплотехнических неоднородностей. Методы расчета основаны на европейских стандартах [3–4] и др.

Согласно существующим требованиям величина теплового потока через линейные неоднородности не должна превышать: $0,65 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ — для индивидуальных жилых зданий; $1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ — для многоквартирных зданий и $1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ — для иных зданий. Однако выполняются или нет эти требования, никак не проверяется компетентными органами.

Польша. Нормативная база предусматривает учет тепловых мостиков как в новых, так и в реконструируемых зданиях упрощенным методом или же точным расчетом. Упрощенный метод заключается в добавке поправки к величине теплопередачи по глади: наружные стены с оконными или дверными проемами $\Delta U=0,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; наружные стены с дверными или оконными проемами и балконными плитами, проходящими через стену $\Delta U=0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Хотя проект здания и проходит предварительную проверку перед выдачей разрешения на строительство, в части учета тепловых мостиков она носит чисто формальный характер.

Представленный в актуализированной редакции СНиП метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволяет осуществлять сопоставление нормируемых показателей теплозащиты ограждающих конструкций с используемыми в европейских странах. Сравнение минимальных значений сопротивлений теплопередаче в России и Германии показывает, что требования к указанной величине в России выше.

Приведенный краткий обзор практического учета теплотехнических неоднородностей в странах Северной и Центральной Европы показал, что в большинстве из них учет теплотехнических неоднородностей производится, но проверка правильности реализации данных расчетов на практике почти нигде не осуществляется.

Работа выполнена в рамках ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Ключевые слова: теплозащита зданий, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопередачи, тепловые мостики, энергосбережение.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. Минрегион России, 2012.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
3. DIN EN ISO 10211-1. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. August 1995.
4. DIN EN ISO 10211-1. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken. Juni 2001.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2–6.
6. DIN 4108-2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003.
7. СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». М., 2004.
8. Citterio M., Cocco M., Erhorn-Kluttig H. Thermal bridges in the EPBD context: overview on MS approaches in regulations. // EPBD Buildings Platform. 2008. 28-4. P. 64.
9. DIN 4108 Beiblatt 2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Wärmebrücken. Planungs- und Ausführungsbeispiele. März 2006.

А. УЙМА, А. ЛИС, кандидаты техн наук,
Ченстоховский политехнический институт (Польша)

Элементы устойчивого развития при термомодернизации зданий

Быстрый рост потребления энергии, наблюдаемый с конца XIX в., вызвал значительное сокращение природных ресурсов и деградацию природной среды. Для поддержки текущего уровня производства и уровня жизни необходимо, чтобы природные ресурсы разумно расходовались с учетом экономической и экологической эффективности их использования. Эта ситуация привела к идее устойчивого развития, которая в глобальном масштабе предполагает удовлетворение основных потребностей всех обществ и поддержание, защиту и восстановление надлежащего экологического состояния на земле, не подвергая риску возможность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Международные правовые акты, а также конституции многих стран содействуют устойчивому развитию, являясь неотъемлемой частью международного законодательства. В Польше концепция устойчивого развития закреплена в Конституции и многих других законах [1].

Строительство неразрывно связано с концепцией устойчивого развития. По данным Worldwatch Institute, в США на возведение и эксплуатацию зданий приходится 65% от общего объема потребления энергии и 30% выбросов парниковых газов, в Европейском союзе — соответственно 42 и 35%. Поскольку человек около 80% времени проводит в зданиях, их внутренняя среда значительно влияет на качество жизни. Кроме того, в странах ЕС в строительной отрасли занято около 8% населения и производится 10% валового внутреннего продукта (ВВП). Таким образом, развитие строительной отрасли с учетом рационального расходования ресурсов, внедрения инновационных экономически эффективных технологий и решений, обеспечивающих здоровье и комфорт пользователей и при этом уменьшающих отрицательное экологическое и климатическое воздействие зданий, возможно только на принципах устойчивого развития.

Одним из решений, способствующих уменьшению расходования энергии и выбросов парниковых газов, является термомодернизация зданий, которая в Польше проводится более двадцати лет. Вначале термомодернизации были подвергнуты главным образом панельные здания. После введения закона по стимулированию

термомодернизации зданий появились новые возможности выполнить такие операции системно, основываясь на технико-экономическом анализе — энергетическом аудите инвестиций. На основании этого закона был создан фонд для выплаты премий инвесторам, которые осуществили термомодернизацию. Интерес к термомодернизации постепенно увеличивался (рис. 1).

Основные аспекты устойчивого развития в строительной отрасли

Концепция устойчивого развития означает социальное и экономическое развитие, которое объединяет экономическую и социальную деятельности без нарушения экологического баланса, при сохранении основных экологических процессов, направленных на обеспечение и удовлетворение основных потребностей общества и граждан как настоящих, так и будущих поколений.

Термины «устойчивое развитие», или «eco-development», также используются для определения концепции развития, которая означает, что экономический рост приводит к социальному развитию, равенству возможностей, ограничению маргинализации и дискриминации в рамках сообществ и улучшению качества окружающей природной среды путем уменьшения негативного воздействия на окружающую среду промышленности и использования природных ресурсов. Идея устойчивого развития является многоаспектной, учитывающей глобальные, национальные и местные экологические, социальные и экономические проблемы (рис. 2).



Рис. 2. Основные аспекты устойчивого развития

Термомодернизация зданий дает различные эффекты, многие из них могут быть рассмотрены в контексте аспектов устойчивого развития. Так как главной целью термомодернизации является уменьшение потребления энергии, ее эффективность должна быть рассмотрена с учетом экологического и экономического аспектов. Однако есть и некоторые интересные социальные эффекты, которым стоит уделить внимание.

Пример термомодернизации здания, выполненной в соответствии с принципами устойчивого развития
Рассмотрим пример термомодернизации жилого здания, принадлежащего товариществу собственников жилья (ТСЖ), расположенного в Wroczyca Wielka. В здании в основном живут пенсионеры. Двухэтажное здание с чердаком и подвалом было возведено в 1953–1955 гг. со стенами из полнотелого кирпича. Отопление и подогрев воды осуществлялись индивидуально в каждой квартире. Эффективность старого оборудования была очень низ-

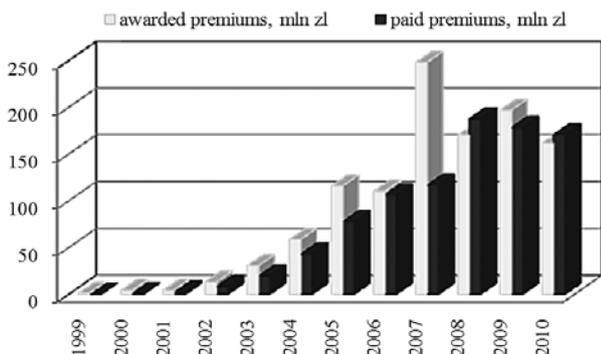


Рис. 1. Сумма рассчитанных и окончательно выплаченных инвесторам премий по годам [2]

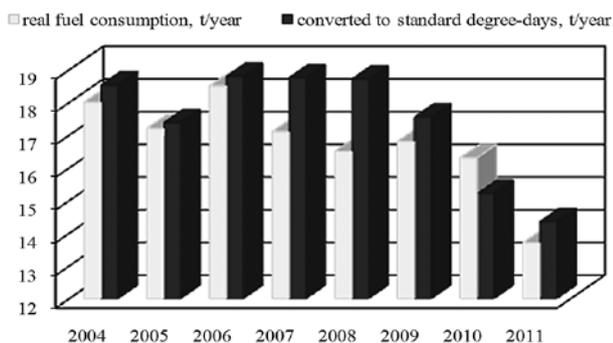


Рис. 3. Реальный расход топлива и пересчитанный в условия стандартного отопительного периода (с учетом градусо-суток отопительного периода)

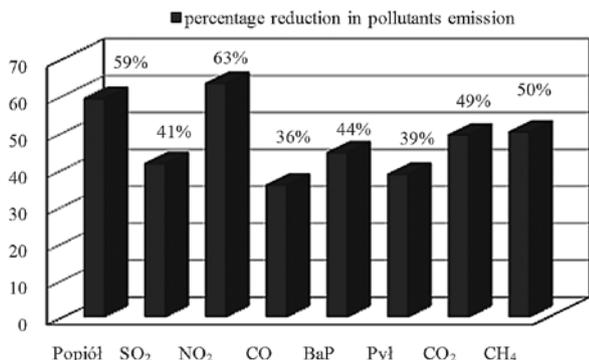


Рис. 5. Снижение эмиссии газов от сгорания топлива

кая. В плохом техническом состоянии находились дымовые трубы. Высокое потребление топлива и энергии являлось основной причиной проведения комплексной термомодернизации, произведенной в 2003 г. в соответствии с выводами энергетического аудита [3]. Толщина теплоизоляции и коэффициенты теплопередачи, полученные после термомодернизации, приведены в таблице.

Кроме дополнительной теплоизоляции ограждающих конструкций здания в подвале оборудована котельная для отопления и подогрева горячей воды, разведена система отопления и подачи горячей воды по квартирам, построена также новая дымовая труба.

Действия эти были следствием сознательного участия в принятии решений всех членов ТСЖ. Благодаря им, в особенности использованию одного центрального источника тепловой энергии для целей отопления и нагрева воды резко сократились расходы на энергию. Кроме того, в здании были заменены водопроводные и канализационные трубы, электрические системы, несмотря на то что эти дополнительные работы выходили за рамки средств термомодернизационного фонда.

В период 2004–2012 гг. был осуществлен мониторинг результатов тепловой модернизации, заключаю-

Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций и толщина теплоизоляции после термомодернизации

Ограждающая конструкция	U, Вт/(м ² ·К)		U _{max} , Вт/(м ² ·К)	Толщина теплоизоляции, см
	до	после		
Наружные стены	1,5	0,23	0,3	14
Чердачное перекрытие	1,9	0,2	0,25	18
Подвальное перекрытие	1,3	0,44	0,45	6

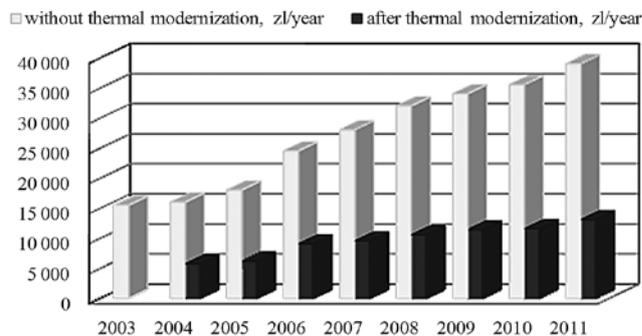


Рис. 4. Ежегодные затраты на энергию без термомодернизации и после ее выполнения

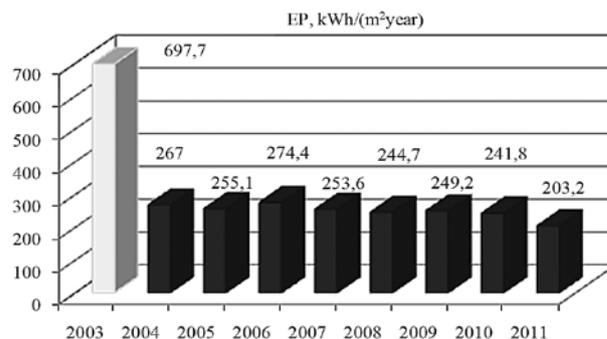


Рис. 6. Снижение расхода невозобновляемой первичной энергии

щийся в оценке потребления энергии, стоимости эксплуатации, оценке теплового комфорта, ощущаемого жильцами, и снижении выбросов от сжигания топлива.

Экономические аспекты термомодернизации

Основные преимущества термомодернизации относятся к экономическим аспектам, вытекающим из сокращения потребления тепла. В период между 2004 и 2011 гг. среднее потребление тепла составило 435,8 ГДж/год. Средний энергетический эффект 66,5%. Средний расход топлива, рассчитанный в соответствии с условиями стандартного отопительного периода 17,4 т/год (рис. 3).

Заметное снижение использования топлива в период 2009–2011 гг. связано с совершенствованием системы отопления и использованием топлива с более высокой теплотой сгорания.

Для наглядности на рис. 4 сравниваются годовые затраты на энергию в случае, если бы не была проведена термомодернизация, и после ее выполнения (рис. 4).

Средняя экономия, связанная с уменьшением затрат тепла на каждого жителя за весь период оценки, составила 834 злотых/год, хотя в тот же период в 2,4 раза возросла цена угля.

Экологические аспекты тепловой модернизации

Снижение потребления топлива непосредственно повлияло на снижение выбросов в воздух продуктов сгорания топлива (рис. 5). В среднем выбросы в атмосферу были снижены почти на 51%, наибольшее снижение наблюдалось по оксиду азота – 63%.

Оснащение квартир или домов централизованной системой отопления взамен отдельных печей (котлов) значительно сокращает выброс углекислого газа. В последние годы наблюдается тенденция к сокращению количества квартир и домов с использованием печей (котлов) в пользу систем центрального отопления [4].

Еще одним важным положительным результатом замены системы отопления на централизованную является



Рис. 7. Примеры термомодернизации зданий

ся снижение выбросов очень опасных газов, которые образуются при довольно часто встречающихся попытках сжигания в печах (котлах) старой конструкции разного рода бытового мусора и отходов.

В результате термомодернизации получено значительное снижение показателя расхода невозобновляемой первичной энергии (рис. 6).

Социальные аспекты термомодернизации

Термомодернизация здания привела к снижению расходов на эксплуатацию квартир и улучшению финансового положения, в основном не очень богатых жильцов, как правило, пенсионеров (средний возраст владельцев квартир составляет около 65 лет). Рост цен на топливо мог бы привести к повышению доли затрат на отопление по отношению к минимальной пенсии на 43% и к средней зарплате – на 12%.

В результате термомодернизации здания повысилась безопасность за счет устранения риска отравления угарным газом из-за плохой герметичности печных трубопроводов. Новое оборудование всего здания, а также повышение его комфортности привели к повышению стоимости квартир.

Результаты опроса, проведенного среди жителей, показали значительное улучшение условий жизни и удовлетворение жителей микроклиматом, тепловым комфортом и другими условиями. До термомодернизации 67% владельцев отмечали плохой микроклимат внутри квартир.

Социальные аспекты тепловой модернизации

Успешное комплексное выполнение термомодернизации зданий является примером для подобного рода инициатив, которые должны заинтересовать владельцев и администраторов зданий, должны интегрировать местные общины. По данным Центрального статистического бюро Польши, только 65,2% домов в сельских районах оснащено системами центрального отопления. Это значительно ниже, чем в городских округах, где зданий с центральным отоплением 85% [5]. Инвестиция в термомодернизацию здания, принадлежащего ТСЖ, явилась стимулом для владельцев других домов и зданий в районе, которые решили сделать аналогичную термомодернизацию своих объектов (рис. 7).

Выводы

Применение и соблюдение правил устойчивого развития в строительстве позволяет не только уменьшить ущерб окружающей среде в результате рационального использования природных ресурсов и ограничения эмиссии вредных газов в атмосферу, но и снизить эксплуатационные затраты. Такая термомодернизация яв-

ляется примером и может стимулировать устойчивое развитие на местном уровне, в частности в малых городах и селах.

Исследование показало следующее:

1. Термомодернизационные инициативы как элемент устойчивого развития строительного комплекса имеют положительные экономические, экологические и социальные последствия.
2. Комплексная термомодернизация дает наибольший эффект и окупается в кратчайшие сроки.
3. Термомодернизация может быть осуществлена в условиях ТСЖ, где его члены могут взять ответственность не только за свои квартиры, но за все здание.
4. Каждая удачная термомодернизация вызывает реакцию «копирования» и распространения похожих инициатив в районе.

Ключевые слова: термомодернизация зданий, потребление энергии, устойчивое развитие в строительной отрасли.

Список литературы

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. Nr 62, poz. 627, z późn. zm.
2. Sprawozdanie z działalności Banku Gospodarstwa Krajowego, Raport roczny BGK, Bank Gospodarstwa Krajowego. Warszawa. 2003–2011.
3. Ujma A., Lis A., Audyt energetyczny budynku mieszkalnego, Wręczyca Wielka, ul. Szkolna, 9. 2003 r.
4. Diagnoza społeczna 2011, Warunki i jakość życia Polaków, Red.: J. Czapliński, T. Panek, Rada Monitoringu Społecznego Warszawa. 2011.
5. Dec A., Knyszewska E., Gospodarka mieszkaniowa w 2010 roku, GUS, Warszawa, 2011.

**ХИМИЧЕСКАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ
КЕРАМИКИ**

Авторы – коллектив ученых
РХТУ им. Д.И. Менделеева
под редакцией И.Я. Гузмана

Издание 2-е, исправленное
М: РИФ «СМ». 2012 г. 494 с.

**Химическая
технология керамики**

В пособии освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Книга соответствует программе общего курса химической технологии керамики и огнеупоров при наличии также курсов соответствующих специализаций. Подробно изложены характеристика сырья, проблемы подготовки керамических масс и их формование, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка.

Описаны механические, деформационные, теплофизические, электрофизические свойства керамических изделий, в том числе при высоких температурах.

Учебное пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и специалистов, работающих в области технологии керамики и огнеупоров.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36
www.rifsm.ru

В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук, член-кор. РААСН, А.С. ПЕТРОВ, инженер-архитектор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Влияние различной скорости движения воздуха на паропроницаемость теплоизоляционных материалов

В расчетах на ограничение накопления влаги в конструкции используют коэффициент паропроницаемости материалов μ . Его значение получают экспериментально по методам государственных стандартов (ГОСТ 25898-83. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропропусканию; ГОСТ Р ЕН 12086. Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения характеристик паропроницаемости; ASTM E-96. Standard test methods for water vapor transmission of materials и др.), где образец при испытании помещается в постоянные температурно-влажностные условия. Образцы при испытании находятся в спокойном воздухе, в то время как в ограждениях зданий наружная поверхность (поверхность испарения) подвергается ветровому воздействию. Наиболее постоянно воздействие ветра в вентилируемых фасадах, когда в воздушной прослойке у наружной поверхности теплоизоляционного материала движется гравитационный поток воздуха.

Из этого можно сделать вывод, что стандартные методы определения паропроницаемости не моделируют условий эксплуатации материалов в ограждающих конструкциях, что может повлечь за собой ошибочность использования коэффициента паропроницаемости из справочных таблиц.

Существует необходимость испытывать образцы в условиях, максимально близких к эксплуатационным. Для этих целей была создана специальная установка для измерения паропроницаемости строительных материалов, позволяющая моделировать ветровой поток различной скорости у поверхности образца (патент «Устройство для измерения характеристик

паропроницаемости строительных материалов» по заявке № 2012155972/28(088561). Дата подачи заявки 21.12.2012. Авторы: В.Н. Куприянов, А.С. Петров).

Количество испаряющейся через образец парообразной влаги фиксируется электронными весами непрерывно. Результаты измерений записываются в память компьютера и обрабатываются в автоматическом режиме. Результат измерений представляется в виде таблиц, графиков или в виде характеристик паропроницаемости.

В статье представлены результаты исследования газобетона плотностью 400 кг/м^3 и пенополистирола плотностью 8 кг/м^3 . Испытания газобетона толщиной $3,4 \text{ см}$ проведены при температуре $21,6-21,7^\circ\text{C}$, влажность воздуха над образцом $36,7\%$. При этих температурно-влажностных условиях упругость водяного пара внутри чашки с водой (при 100% влажности) будет равна $E=2586,94 \text{ Па}$ (предел насыщения при температуре $21,65^\circ\text{C}$). В помещении лаборатории $e=2586,94(36,7/100)=935,44 \text{ Па}$. То есть образец находится под разностью давлений $\Delta e=(E-e)=2586,94-935,44=1651,5 \text{ Па}$.

Испытания пенополистирола толщиной 4 см проведены при температуре $24,4-24,7^\circ\text{C}$, влажность воздуха над образцом колебалась в пределах $16,2-16,9\%$. При этих температурно-влажностных условиях упругость водяного пара внутри чашки с водой (при 100% влажности) будет равна $E=3072,56 \text{ Па}$ (предел насыщения при температуре $24,55^\circ\text{C}$). В помещении лаборатории $e=3072,56(16,55/100)=508,51 \text{ Па}$. То есть образец находится под разностью давлений $\Delta e=(E-e)=3072,56-508,51=2564,05 \text{ Па}$.

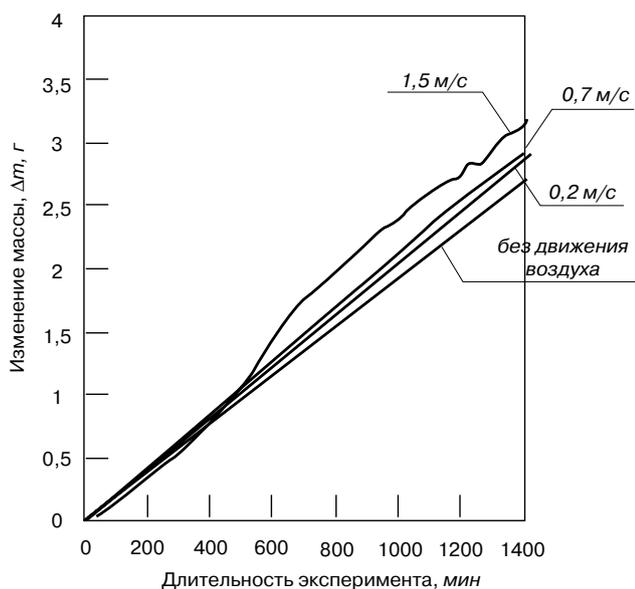


Рис. 1. Скорость испарения парообразной влаги через образец газобетона при различной скорости ветра у поверхности образца

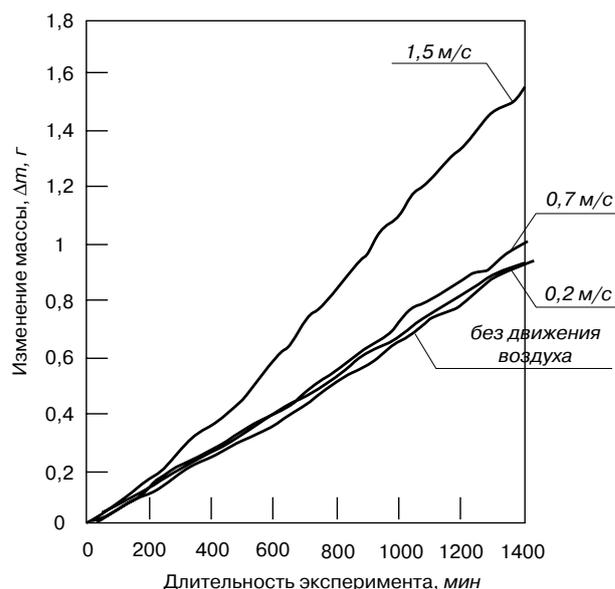


Рис. 2. Скорость испарения парообразной влаги через образец пенополистирола при различной скорости ветра у поверхности образца

Материал	Без движения воздуха	0,2 м/с	0,7 м/с	1,5 м/с
Газобетон	$q_1 = 7632,7$ мг/(м ² ·час) $R_1 = 0,14$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_1 = 0,243$ мг/(м·час·Па)	$q_2 = 11061,9$ мг/(м ² ·час) $R_2 = 0,094$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_2 = 0,362$ мг/(м·час·Па)	$q_3 = 10951,3$ мг/(м ² ·час) $R_3 = 0,095$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_3 = 0,358$ мг/(м·час·Па)	$q_4 = 12463,1$ мг/(м ² ·час) $R_4 = 0,0821$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_4 = 0,414$ мг/(м·час·Па)
Пенополистирол	$q_1 = 3294,38$ мг/(м ² ·час) $R_1 = 0,764$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_1 = 0,0523$ мг/(м·час·Па)	$q_2 = 3361,86$ мг/(м ² ·час) $R_2 = 0,759$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_2 = 0,053$ мг/(м·час·Па)	$q_3 = 3834,81$ мг/(м ² ·час) $R_3 = 0,659$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_3 = 0,061$ мг/(м·час·Па)	$q_4 = 5862,83$ мг/(м ² ·час) $R_4 = 0,427$ (м ² ·час·Па)/мг $\mu_4 = 0,094$ мг/(м·час·Па)

Испытания проведены при движении воздушного потока над образцами со скоростью 0,2, 0,7, 1,5 м/с.

На рис. 1 представлены результаты испытания газобетона. По графику видно, что скорость испарения возросла с 2,77 до 3 г/сут при скорости ветра 0,2 м/с. При скорости воздуха 0,7 м/с скорость испарения находится в тех же пределах – 2,97 г/сут. При скорости движения воздуха 1,5 м/с скорость испарения резко возросла до 3,38 г/сут.

На рис. 2 представлены результаты испытания пенополистирола. Скорость испарения через образец без движения воздуха равна 0,96 г/сут. Кривые показывают, что при воздействии ветра со скоростью 0,2 м/с скорость испарения практически не изменяется и равна 0,99 г/сут. При скорости 0,7 м/с скорость испарения также возрастает незначительно – 1,04 г/сут. Здесь стоит отметить, что во время испытания образца без движения воздуха скорость испарения колебалась в пределах 0,93–1,01 г/сут, из чего можно сделать вывод, что ветровое воздействие в пределах 0,2–0,7 м/с не влияет сколь-нибудь значительно на паропроницание пенополистирола. При воздействии ветра скоростью 1,5 м/с испарение возросло с 0,96 до 1,59 г/сут.

Полученные результаты позволяют рассчитать значения коэффициента паропроницаемости для каждого случая.

Газобетон:

1. Плотность потока водяного пара через образец (q):

$$q = \frac{\Delta m}{\Delta t \cdot F}, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (1)$$

где Δm – количество пароводяной влаги, прошедшей через образец за время Δt , мг (уменьшение массы чашки); F – площадь образца, м²;

– без потока воздуха над образцом:

$$q_1 = \frac{2070}{24 \times 0,1113} = 7632,7, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч)};$$

– с потоком воздуха над образцом скоростью 0,2 м/с:

$$q_2 = \frac{3000}{24 \times 0,1113} = 11061,9, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

2. Сопротивление паропроницанию (R):

$$R = \frac{\Delta e}{q} - \frac{\delta_B}{\mu_B}, \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}, \quad (2)$$

где δ_B – расстояние от уровня воды до нижней плоскости образца (толщина слоя воздуха), равное 0,01 м; μ_B – паропроницаемость воздуха, равная 1,01 мг/(м²·ч·Па);

– без потока воздуха над образцом:

$$R_1 = \frac{1146}{7632,7} - \frac{0,01}{1,01} = 0,14, \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг};$$

– с потоком воздуха над образцом скоростью 0,2 м/с:

$$R_2 = \frac{1146}{11061,9} - \frac{0,01}{1,01} = 0,094, \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}.$$

3. Коэффициент паропроницаемости μ :

$$\mu = \frac{\delta}{R}, \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}, \quad (3)$$

где δ – толщина образца, м;

– без потока воздуха над образцом:

$$\mu_1 = \frac{0,034}{0,14} = 0,243, \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)};$$

– с потоком воздуха над образцом скоростью 0,2 м/с:

$$\mu_2 = \frac{0,034}{0,094} = 0,362, \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}.$$

Значения характеристик паропроницаемости при других значениях скорости движения воздуха отобраны в таблице.

Таким образом, результаты экспериментов показывают, что скорость паропроницания увеличивается при ветровом воздействии, но зависит также от свойств материалов. Установлено, что гидрофильные характеристики материалов вносят в процесс их паропроницаемости значительные коррективы.

Можно предположить, что увеличение коэффициента паропроницаемости происходит за счет снижения адсорбционной влажности поверхности образца при ветровом воздействии; также ветровое воздействие снижает концентрацию водяного пара в его поверхностном слое, что влечет за собой изменения общего массопереноса парообразной влаги через образец.

Ключевые слова: паропроницаемость, ограждающие конструкции, теплоизоляционные материалы, ветровой поток.



Книга «Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК)»

Авторы – д-р техн. наук С.Б. Турковский, канд. техн. наук А.А. Погорельцев, канд. техн. наук И.П. Преображенская

Книга содержит примеры из опыта применения различных типов конструкций в современном строительстве. Особенность применяемой системы состоит в использовании нового вида соединений в узловых сопряжениях и стыках конструкций, открывающего новые возможности клееной древесины. Система позволяет получить большепролетные сборные конструкции повышенной надежности, в том числе уникальные. Кроме того, теперь имеется возможность на основе серийно изготавливаемых унифицированных элементов создавать самые различные конструктивные системы – как по форме, так и по размерам. Система создана на основании длительных исследований (с 1974 г.), проводимых сотрудниками лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК, а также опыта проектирования, изготовления и применения клееных деревянных конструкций за последние 15–20 лет.

Книга содержит материалы, рекомендуемые работникам проектных организаций, студентам, аспирантам, инженерам-строителям и др.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36
www.rifsm.ru

В.С. РОЙФЕ, д-р техн. наук,
 Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)

Обоснование выбора неразрушающего метода оценки теплозащитных свойств строительных материалов

В последние годы в нормативных документах (НД) в области строительства существенно повышены требования к теплозащитным качествам ограждающих конструкций зданий. Одновременно с этим появились новые эффективные конструктивные строительные материалы, используемые в ограждающих конструкциях, например керамические стеновые. В ряде регионов Российской Федерации освоено производство многопустотных поризованных крупноразмерных камней, блоков и кирпича.

Особенностью этих новых изделий по сравнению с традиционными является существенное снижение их плотности и теплопроводности при сохранении достаточно высокой прочности, позволяющей использовать их в ограждающих конструкциях при строительстве жилых и общественных зданий. Повышение энергоэффективности новых керамических стеновых материалов достигнуто благодаря разработке и внедрению инновационной технологии их изготовления [1].

Сотрудниками НИИСФ РААСН проведена сравнительная оценка влажности и теплопроводности стен двух жилых зданий в Московской области, эксплуатируемых в течение двух лет. В одном из них (рис. 1) в качестве стенового материала использован традиционный сплошной керамический кирпич плотностью 1800 кг/м^3 , а в другом (рис. 2) – поризованный пустотный керамический кирпич плотностью около 800 кг/м^3 . При примерно одинаковой влажности (1,5–2 мас. %) теплопроводность в первом случае составила $0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{С}^\circ)$, а во втором – $0,45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{С}^\circ)$, т. е. почти в два раза меньше.

Таким образом, можно констатировать действительно существенное повышение энергоэффективно-

сти новых керамических стеновых материалов и рекомендовать их к массовому использованию в строительной отрасли.

Основной теплофизической характеристикой материалов, определяющей теплозащитные качества ограждающих конструкций, является, как известно, теплопроводность. Вместе с тем само по себе значение теплопроводности при неизвестных значениях влажности и плотности конкретного материала не может быть использовано для оценки соответствия требованиям соответствующих нормативных документов, так как в зависимости от влажности и плотности конкретных материалов эти требования дифференцированы.

В связи с резко возросшими в последние годы масштабами строительства жилых и общественных зданий определение значений теплопроводности и влажности материалов ограждающих конструкций традиционными разрушающими методами с использованием специально изготовленных образцов или отобранных проб в натуральных условиях становится практически невозможным. Мониторинг теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий может быть осуществлен лишь с использованием неразрушающих методов и средств контроля, позволяющих в течение короткого времени получить нужную информацию в большом объеме [2]. К таким методам относятся в первую очередь электрические, информативными параметрами в которых являются удельная электропроводность σ или обратная ей величина – удельное электросопротивление ρ , диэлектрическая ϵ и магнитная μ проницаемости. Неметаллические материалы ограждающих конструкций (бетоны, кирпич, различные утеплители и т. п.) являются диамагнетиками, т. е. $\mu = \text{const} = 1$ независимо от состава и



Рис. 1. Измерение влажности и теплопроводности в стене из сплошного кирпича



Рис. 2. Измерение влажности и теплопроводности в стене из поризованного пустотного кирпича

состояния материала, в связи с чем для таких материалов магнитная проницаемость не может служить информативным параметром и из дальнейшего рассмотрения исключается. Что же касается σ и ϵ , то применительно к интересующим нас материалам эти параметры обладают качественно разной информативностью. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Удельная проводимость материалов рассматриваемого класса по физической природе является почти исключительно ионной, обусловленной процессом переноса зарядов свободными ионами растворов, практически всегда имеющимися в материале в реальных условиях. Величина удельного электрического сопротивления рассматриваемых строительных материалов изменяется в очень широких пределах. Это связано, с тем, что материалы представляют собой сложные агрегаты электрически разнородных тел. В первом приближении можно считать, что эти агрегаты состоят, с одной стороны, из минерального скелета, а с другой – из водных растворов электролитов и воздуха, заполняющих поры и капилляры в материале. Минеральный скелет строительных материалов, как правило, обладает очень высоким электрическим сопротивлением ($\rho=10^{11}-10^{19}$ Ом·м), т. е. является диэлектриком. В то же время водные растворы различных электролитов, в той или иной мере заполняющие поры и капилляры материала, будучи проводниками второго рода (с ионной проводимостью), обладают низким электрическим сопротивлением ($\rho=10^{-3}-1$ Ом·м), обратно пропорциональным концентрации электролита.

По существующей классификации, делящей все вещества на проводники, диэлектрики и полупроводники, многокомпонентные капиллярно-пористые структуры, каковыми являются керамические стеновые материалы, нельзя однозначно отнести ни к одной из названных категорий, так как один и тот же материал в зависимости, например, от влажности и минерализации порового раствора (Г.С. Ландсберг. Элементарный учебник физики. Т. 2. «Электричество и магнетизм». М.: Физматлит, 2011. 487 с.) может быть как диэлектриком, так и полупроводником и даже проводником (второго рода).

Многочисленными экспериментальными исследованиями, в том числе автора, установлено, что наибольшее и почти равноценное влияние на величину σ капиллярно-пористых материалов (при положительных температурах) оказывают влажность, минерализация поровой влаги, температура материала, форма и размеры пор и капилляров. В то же время на величину ϵ этих материалов минерализация поровой влаги, а также форма и размеры пор и капилляров практически не влияют, а влияние температуры на один-два порядка меньше влияния влажности. Учитывая, что минерализация влаги и температура в строительных материалах могут меняться в широких пределах, использование электропроводности для получения информации о величине, например влажности (кондуктометрический метод), принципиально сопряжено с низкой достоверностью результатов. Гораздо более богатыми возможностями получения (выделения) нужной информации обладает диэлектрическая проницаемость материалов, высокая информативность которой позволяет выбрать это электрофизическое свойство в качестве измеряемого параметра для экспериментального определения теплофизических характеристик (теплопроводности и влажности) новых керамических стеновых материалов.

В НИИСФ РААСН накоплен большой опыт разработки, стандартизации и внедрения в строительной отрасли новых методов и средств контроля теплозащитных свойств материалов, в первую очередь их влажно-

сти (ГОСТ 21718–84 «Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности»), а для определения совместно с влажностью еще и теплопроводности разработан новый, безынерционный метод, позволяющий проводить измерения без теплового воздействия на материал (ГОСТ 8.621–2006 «ГСИ. Материалы и изделия строительные. Методика выполнения измерений влажности и теплопроводности диэлькометрическим методом»). За счет безынерционности и экспрессности диэлькометрического метода появляется возможность многократного повторения измерений, что повышает статистическую достоверность получаемых результатов. Для реализации нового метода оценки теплозащитных свойств ограждающих конструкций разработан экспресс-измеритель теплопроводности и влажности строительных материалов типа ИВТП-12, не имеющий аналогов в стране и за рубежом [3]. Основными преимуществами этого прибора перед традиционно применяемыми являются отсутствие теплового воздействия на контролируемый материал и высокое быстродействие, что позволяет на два порядка повысить оперативность такого контроля и осуществить не выборочную, а массовую оценку теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий в процессе их эксплуатации, ремонта и реставрации.

Ниже приведены область применения и основные технические характеристики экспресс-измерителя влажности и теплопроводности типа ИВТП-12, внесенного в Госреестр средств измерений РФ:

Прибор предназначен для измерений влажности и теплопроводности строительных материалов и изделий (бетоны тяжёлые, лёгкие и ячеистые; кирпич керамический и силикатный; растворы строительные; материалы гипсосодержащие, минераловатные и изделия из них; древесина).

Основные технические характеристики

Диапазон измерений влажности, % абс.	0–40
Дискретность отсчета, %	0,1
Диапазон измерений теплопроводности, Вт/(м·К) ...	0,025–1,2
Дискретность отсчета, Вт/(м·К)	0,001
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений влажности, %	1,5
Предел допускаемой относительной погрешности измерений теплопроводности, %	10
Глубина зоны контроля, мм, не менее	50
Время единичного измерения, с, не более	10
Электропитание универсальное: от аккумуляторов типа АА ..	
и от электросети; энергонезависимая память;	
Габаритные размеры, мм, не более:	
– измерительного блока	100×200×40
– датчика	∅120×50
Масса прибора (без сетевого адаптера), кг, не более	0,6

Ключевые слова: *строительные материалы, теплозащитные свойства, диэлькометрический метод.*

Список литературы

1. Салахов А.М., Геращенко В.Н., и др. Энергоэффективные керамические стеновые материалы из нетрадиционного сырья // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 9–11.
2. Семенов А.С. Использование разрушающих и неразрушающих методов контроля физико-механических характеристик материала строительных конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 86–87.
3. Патент на изобретение РФ № 2431134. Способ и устройство для экспрессного определения влажности и теплопроводности неметаллических материалов / В.С. Ройфе // Оpubл. 10.10.2011. Бюл. № 28.

С.Н. ОВСЯННИКОВ, д-р техн. наук, Т.О. ВЯЗОВА, инженер (tanuba09@mail.ru),
Томский государственный архитектурно-строительный университет

Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями¹

Современный подход к нормированию теплозащиты зданий основан на рассмотрении здания как полной энергетической системы. За основу проектирования тепловой защиты зданий взят принцип нормирования энергозатрат на отопление здания [1]. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» под удельным расходом тепловой энергии на отопление здания понимают количество теплоты за отопительный период, Вт·ч/(м²·°С·сут), отнесенное к 1 м² общей отапливаемой площади здания и градусо-суткам отопительного периода. Этот подход предполагает нормирование энергопотребления здания в целом, а не только ограничивать тепловые потери через отдельные ограждающие конструкции [2].

Инженерный подход к расчету теплотехнических параметров ограждающих конструкций основан на расчете сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций без учета теплопроводных включений с дальнейшей корректировкой на величину коэффициента теплотехнической однородности r [3].

В настоящее время актуален другой подход для определения сопротивления ограждающей конструкции. Для перехода от приведенного сопротивления теплопередаче стены по глади к приведенному сопротивлению теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции

следует выполнить разбивку на характерные участки, с выделением фрагментов конструкции с различной теплопроводностью. Фрагменты отличаются по приведенному сопротивлению теплопередаче, выполнив расчет с построением температурных полей, получаем значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учетом теплопроводных включений.

При проектировании ограждающих конструкций с высоким сопротивлением теплопередаче особую роль играет минимизация влияния мостиков холода. С использованием программы расчета температурных полей Tempreg-3D были рассчитаны наиболее уязвимые конструктивные узлы здания. Для них были построены температурные поля, с последующим определением температуры на внутренней поверхности и приведенного расчетного сопротивления теплопередаче для выделенных фрагментов стен R_0 (табл. 1).

Был выполнен теплотехнический расчет конструкции наружной панели жесткими ребрами по контуру и связями в виде жестких шпонок. Толщина панели 400 мм, толщина утеплителя пенополистирола 200 мм.

Для теплотехнического анализа панели были построены трехмерные температурные поля, расчеты проведены в программе Tempreg 3D. Получены следующие

Таблица 1

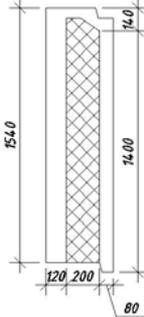
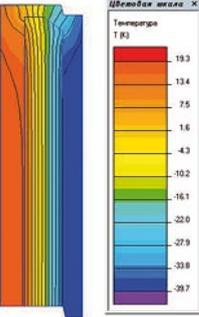
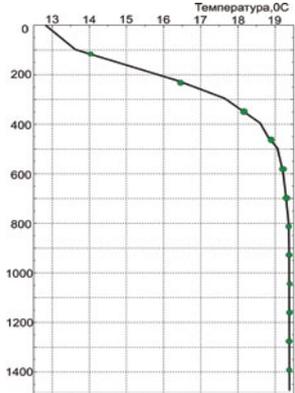
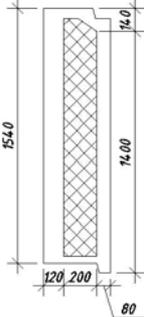
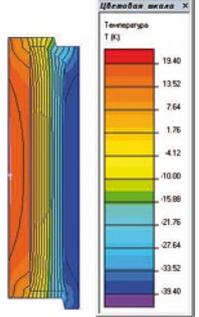
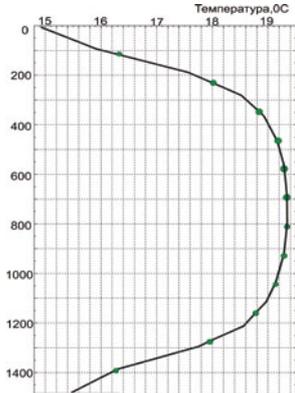
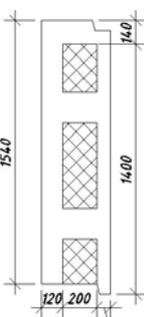
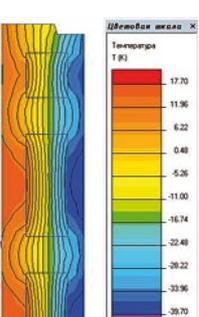
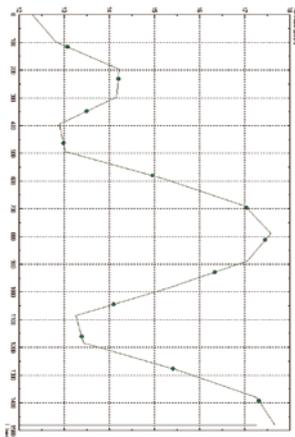
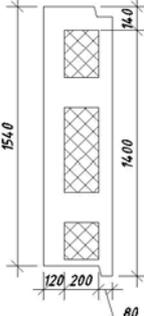
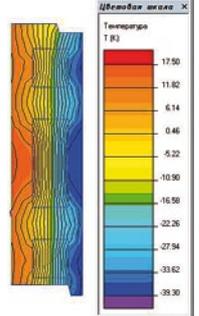
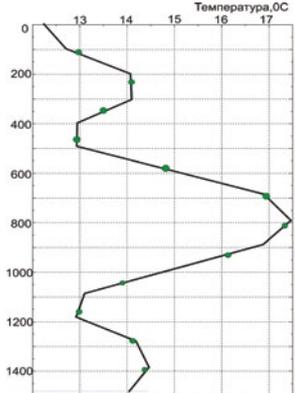
Варианты образования мостиков холода

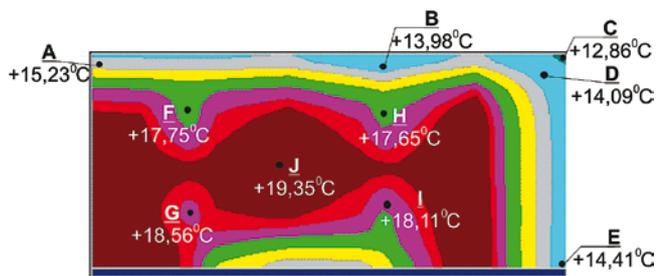
Эскиз конструктивного узла	Конструкция/характеристики
<p>Узел опирания чердачного перекрытия на кирпичную стену. Толщина утеплителя 250 мм</p>	<p>Кирпич керамический 770 мм Штукатурный раствор 30 мм Плита перекрытия 220 мм Минераловатная плита 250 мм</p> <p>Температура на внутренней поверхности угла составляет 5,7°С $R_0 = 1,11 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$</p>
<p>Узел опирания чердачного перекрытия на кирпичную стену. Толщина утеплителя 400 мм</p>	<p>Кирпич керамический 770 мм Штукатурный раствор 30 мм Плита перекрытия 220 мм Керамзит 400 мм</p> <p>Температура на внутренней поверхности угла составляет 6,9°С $R_0 = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$</p>

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Таблица 2

Теплотехнический анализ сечений наружной ограждающей панели из керамзитобетона с эффективным утеплителем из пенополистирола

Эскиз сечения конструкции	Распределение температурных полей в сечении панели	График распределения температуры на внутренней поверхности
		
		
		
		



Распределение температуры по внутренней поверхности панели

температуры в точках: *a* – +15,23°C; *b* – +13,98°C; *c* – +12,86°C; *d* – +14,09°C; *e* – +14,41°C; *f* – +17,75°C; *g* – +18,56°C; *h* – +19,35°C; *i* – +17,65°C; *j* – +18,11°C (см. рисунок). Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитанной конструкции панели без учета откосов окон составило $R_0=2,62 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, что удовлетворяет требованиям СНиП 23-02–2003 ($R_{\text{треб}}=2,41 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$).

С использованием двумерной программы расчета температурных полей ELCUT в характерных сечениях панели были построены температурные поля и графики распределения температуры на внутренней поверхности для определения температурных перепадов по глади. Данные для расчета и результаты представлены в табл. 2.

Расхождение результатов расчета плоских и объемных полей значительно вследствие того, что при построении двумерных полей элементы конструкции, в том числе и ребра, и шпонки, принимаются бесконечными по длине, в то время как шпонки представляют собой точечные связи. Поэтому именно построение и анализ трехмерных полей дают действительную картину распределения температуры на внутренней поверхности панели.

Анализ расчетов трехмерных полей позволяет выявить дефекты тепловой защиты и более точно определить сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции. При устройстве утепления по плоским ограждающим конструкциям следует выполнять дополнительные утепляющие фартуки, без которых наблюдается локальное промерзание в местах стыков. На примере наружной панели с жесткими ребрами выявлена низкая температура на поверхности, что при продолжительно морозном периоде позволяет ожидать выпадение конденсата и образование плесени, что часто наблюдается в практике теплотехнических обследований.

Ключевые слова: *приведенное сопротивление теплопередаче, теплозащита, мостики холода, температурные поля.*

Список литературы

1. Овсянников С.Н. Энергоэффективность жилищного фонда: проблемы и пути решения. Материалы всероссийской научной конференции с международным участием «Инвестирование недвижимости: экономика, управление, экспертиза» / Под общ. ред. Т.Ю. Овсянниковой. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. С. 31–39.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2–6.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

НА РАСТВОРОБЕТОННЫХ УЗЛАХ И СТРОЙПЛОЩАДКАХ



Реклама

АЛЬТЕРНАТИВА сухим строительным смесям

ЕТС

Группа компаний «Единая Торговая Система»

Компания ЕТС предлагает строительным организациям поставку «ПРЕМИКСОВ» -предварительно смешанных химических компонентов сухих строительных смесей.

«ХИМИЯ» - наша,
«МИНЕРАЛКА» - ваша.

Реальная экономия до
3 000 рублей
на тонну готовой продукции.

Н.П. УМНЯКОВА, канд. техн. наук, зам. директора по научной работе,
Т.С. ЕГОРОВА, К.С. АНДРЕЙЦЕВА, инженеры-математики,
В.А. СМИРНОВ, инженер, В.А. ЛОБАНОВ, зав. лабораторией,
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)

Новое конструктивное решение сопряжения наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами

Одной из задач, необходимых для решения проблемы энергосбережения, является обеспечение требуемого уровня тепловой защиты наружной оболочки здания. Известно, что в теплотехническом отношении наружные ограждения являются достаточно неоднородными. При обеспечении высокого сопротивления теплопередаче по гряди наружные стены на отдельных участках имеют меньшую тепловую защиту: в зоне оконных откосов, межпанельных стыков, в сопряжении наружных стен с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами (рис. 1).

Из-за мостиков холода в узле сопряжения трехслойной наружной стены, междуэтажного перекрытия и балконной плиты, возникающих из-за несовершенного конструктивного решения узла, через него происходят дополнительные тепловые потери, превышающие теплотери через гладь стены и приводящие к понижению температуры ниже точки росы на внутренней поверхности стены около потолка или пола, созданию условий для образования конденсата, развитию плесени и промерзанию конструкции. Поэтому для снижения теплотери через наружные ограждения и создания комфортных условий для нахождения человека в помещении необходимо уменьшить негативное воздействие данных мостиков холода, модернизировав этот узел за счет использования в нем теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb [1].

Оценить эффективность данного решения можно при расчете приведенного сопротивления оболочки зда-

ния. В актуализированной редакции СП 50.13330.2012 СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» представлена новая методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций здания, учитывающая влияние теплопроводных включений:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{ycl}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{ycl}} + \sum \Delta U_j},$$

где R_0^{ycl} – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на $1 m^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, m/m^2 ; Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность k -го вида, $Вт/(m \cdot ^\circ C)$; n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на $1 m^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт./ m^2 ; χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $Вт/^\circ C$; U_j – удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Как видно, данная методика позволяет на стадии проектирования оценить влияние линейных и точечных теплотехнических неоднородностей [2], в том числе в зоне сопряжения наружной стены с междуэтажным перекрытием и балконом.

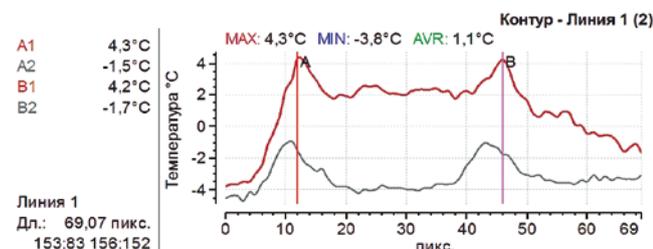


Рис. 1. Общий вид жилого здания и термограмма фасада. На термограмме хорошо видны зоны с повышенными теплотерями в сопряжении стен с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами

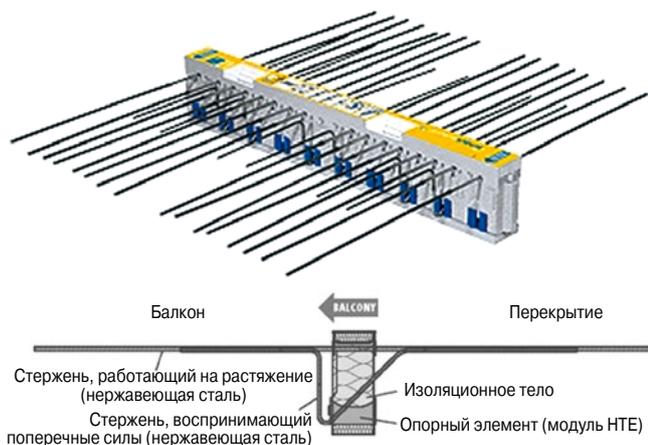


Рис. 2. Общий вид и разрез теплоизоляционного несущего элемента

Однако реально модернизировать конструктивное решение данного сопряжения и повысить тепловую защиту стыка можно при установке в него теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb (рис. 2), состоящего из эффективного теплоизоляционного материала Неорог; арматуры, выполненной из коррозионностойкой стали, работающей на изгиб и на срез; опорного элемента из высокопрочного фибробетона в несъемной пластиковой опалубке.

Установленный в узел сопряжения стены с монолитным перекрытием и балконными плитами, этот элемент создает непрерывный теплоизоляционный контур в ограждении и одновременно выполняет несущую функцию [3].

Для оценки эффективности теплоизоляционного несущего элемента в НИИСФ РААСН проведены теплотехнические испытания. Для этого в климатической камере смонтирована экспериментальная конструкция: узел сопряжения наружной стены из железобетона толщиной 200 мм, утепленной снаружи пенополистиролом 120 мм с тонким штукатурным слоем по полимерной сетке, с монолитной балконной плитой и монолитным междуэтажным перекрытием. Экспериментальная конструкция состояла из двух частей: один вариант предусматривал наличие в узле сопряжения наружной стены с междуэтажным перекрытием и балконной плитой несущего теплоизоляционного элемента Schoeck Isokorb; второй – традиционный вари-

ант узла сопряжения наружной стены с междуэтажным перекрытием и балконной плитой при наличии перфорации (отверстий) длиной по 500 мм в междуэтажном перекрытии со вставками из теплоизоляционного материала – пенополистирола (рис. 3). Плиты балкона перфорировались в отношении термовставка – железобетонный мостик холода 2,5:1.

Для исключения взаимного влияния частей конструкции друг на друга они были разделены на всю высоту вставками из пенополистирола толщиной 200 мм. Геометрические размеры экспериментального образца – высота 2,7 м и суммарная ширина 3,15 м позволили исключить в ходе эксперимента искажения температурного поля, вызванного краевыми эффектами.

На экспериментальной конструкции датчики температуры и теплового потока установлены в трех сечениях – по центру участка конструкции с теплоизоляционным несущим элементом; в конструкции с термовставками по центру теплопроводного включения из бетона и по центру термовставки.

В ходе исследования проводились пошаговые испытания конструкции при различных температурах воздуха в холодном отделении (от -8 до -38°C). При этом выполнялась тепловизионная съемка экспериментальной конструкции, замеры температуры и тепловых потоков, велось математическое моделирование численными методами в программном комплексе NASTRAN.

В процессе эксперимента установлено, что при включении «холода» в холодном отделении климатической камеры наибольшее понижение температуры на внутренней поверхности конструкции наблюдалось в углу сопряжения наружной стены и междуэтажного перекрытия в зоне железобетонного мостика холода (железобетонной перемычки). В сечении в зоне термовставки из пенополистирола температуры были несколько выше, а наиболее высокие температуры отмечены в узле с использованием элемента Schoeck Isokorb (рис. 4).

На основе проведенного сопоставительного анализа характера распределения температур на поверхности конструкции при всех режимах испытаний установлено, что наиболее высокие температуры на внутренней поверхности конструкции в зоне примыкания междуэтажного перекрытия к стене наблюдаются при установке в узел теплоизоляционного несущего элемента. В зоне расположения термовставки из пенополистирола температуры были несколько ниже и наиболее низкие – по центру сечения железобетонного теплопроводного включения (рис. 5).



Рис. 3. Схема экспериментальной конструкции, установленной в климатической камере НИИСФ РААСН

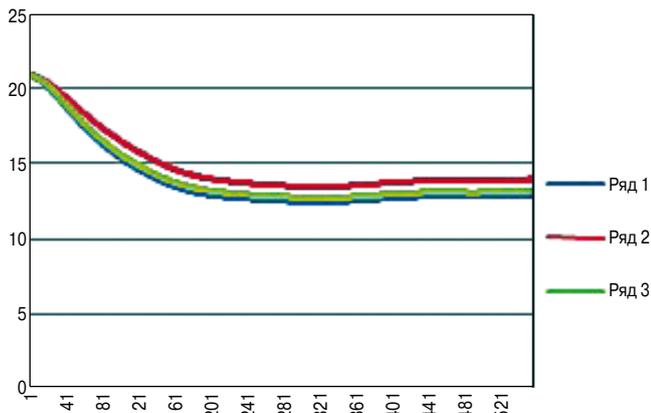


Рис. 4. Изменение температуры в углу при сопряжении внутренней поверхности стены и междуэтажного перекрытия: ряд 1 – в зоне мостика холода монолитного бетона; ряд 2 – в зоне с несущим теплоизоляционным элементом; ряд 3 – в зоне утеплителя при традиционном решении с перфорацией в перекрытии

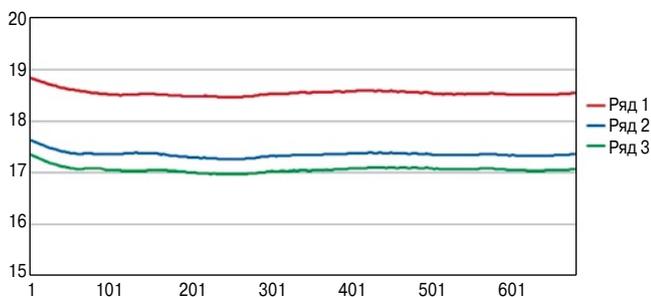


Рис. 5. Распределение температуры на внутренней поверхности в углу при сопряжении стены с междуэтажным перекрытием: ряд 1 – в зоне установки несущего теплоизоляционного элемента; ряд 2 – в зоне перфорационных отверстий с заполнением утеплителем; ряд 3 – в зоне перемычки из монолитного бетона

Со стороны «холодной» камеры наиболее теплой была поверхность конструкции в зоне железобетонной перемычки, наиболее холодной – в узле с применением теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb. Общий характер распределения температур на поверхности конструкции в исследуемых сечениях представлен на рис. 6.

Проведенная тепловизионная съемка экспериментальной конструкции также подтвердила, что наиболее высокие температуры наблюдаются на внутренней поверхности узла сопряжения при установке теплоизоляционного несущего элемента. В зоне термовставки из пенополистирола при отсутствии армирования как нижнего,

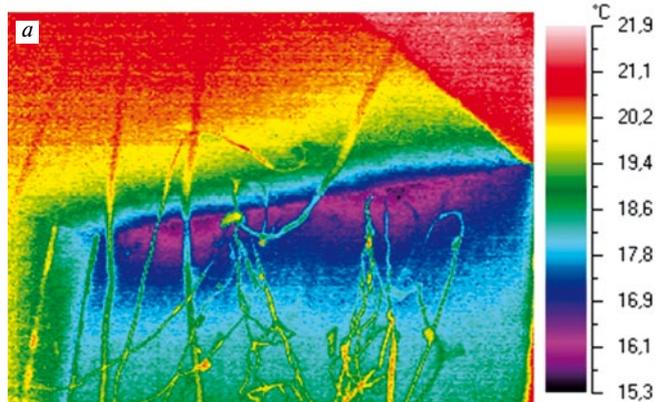


Рис. 7. Термограммы экспериментальной конструкции при традиционном решении узла сопряжения с перфорацией (а) и при установке в узел теплоизоляционного несущего элемента (б)

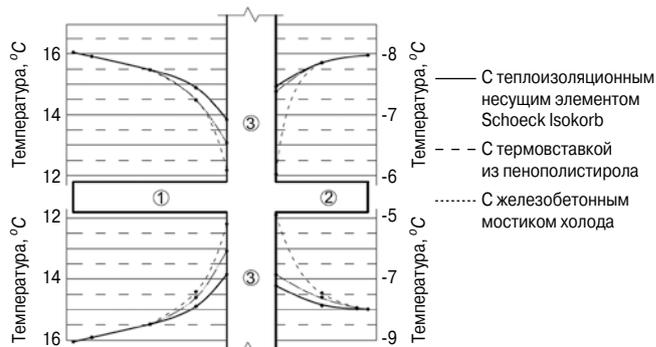


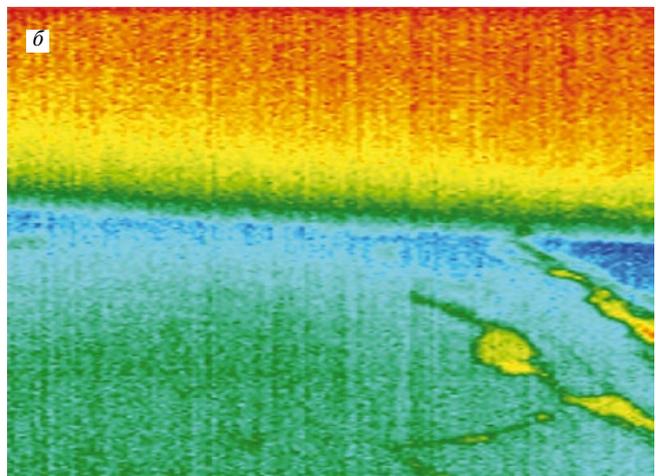
Рис. 6. Характер распределения температур на внутренней и наружной поверхностях междуэтажного перекрытия и балконной плиты: 1 – монолитное междуэтажное перекрытие; 2 – монолитная балконная плита; 3 – наружная стена

так и верхнего, температуры оказываются ниже, а наиболее низкие наблюдаются в зоне железобетонной перемычки при наличии нижнего и верхнего армирования.

На термограммах видно, что при традиционном решении с перфорацией происходит сильное понижение температуры в зоне мостика холода из монолитного железобетона. Также хорошо прослеживается влияние этого теплопроводного включения на участок стены с термовставкой из пенополистирола, вызывающее понижение температуры поверхности в зоне термовставки (рис. 7, а). При установке теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb (рис. 7, б) распределение по внутренней поверхности носит равномерный характер, и резкого понижения температуры в углу конструкции не наблюдается.

Анализ результатов математического моделирования с распределением температур по поверхности и в толще конструкции показал, что при традиционном решении с перфорацией перекрытия наибольшее изменение температур и искривление изотерм происходит в зоне монолитных железобетонных мостиков холода около несущих стальных арматурных стержней, выполненных из хорошо проводящей тепло черной стали (коэффициент теплопроводности стали 50 Вт/(м·°C)). Наличие такого массивного теплопроводного включения из тяжелого бетона и арматурной стали вызывает значительные тепловые потери и понижение температуры на внутренней поверхности и толще конструкции, которое распространяется не только на зону мостика холода, но и на участки стены и перекрытия в зоне термовставки из пенополистирола (рис. 8).

При установке теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb, выполненного из эффективного теплоизоляционного материала Neopor, стержней



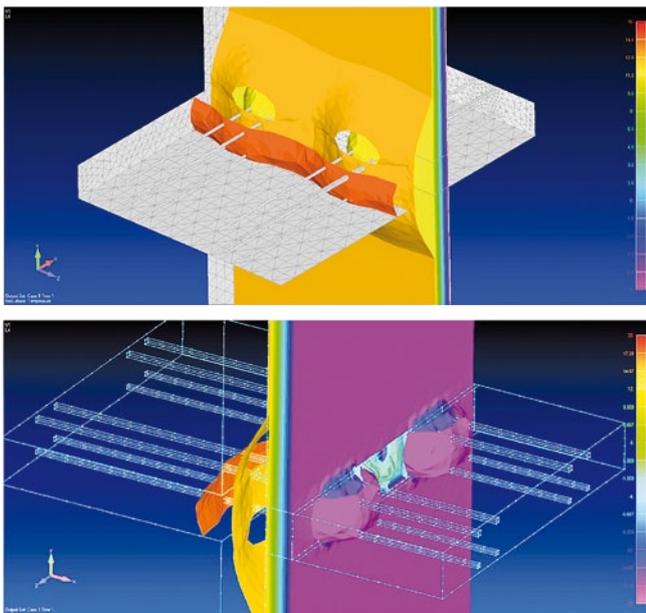


Рис. 8. Распределение температур в толще наружной стены при традиционном решении с устройством перфорации в междуэтажном перекрытии, полученное на основе расчета трехмерных температурных полей в программном комплексе NASTRAN

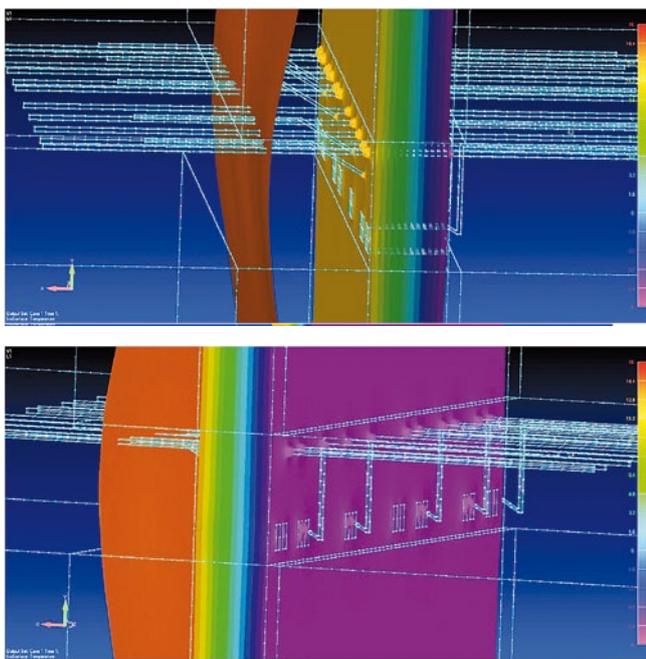


Рис. 9. Распределение температур в толще наружной стены при использовании теплоизоляционного несущего элемента в узле сопряжения наружной стены с монолитным железобетонным перекрытием и монолитной балконной плитой, полученное на основе расчета трехмерных температурных полей в программном комплексе NASTRAN

из коррозионно-стойкой стали с низким коэффициентом теплопроводности (коэффициент теплопроводности стали 17 Вт/(м·°С)) и вставок из фибробетона происходит незначительное искривление изотерм в толще конструкции около несущих стержней из коррозионно-стойкой стали (рис. 9). Этим и объясняется, что температура на внутренней поверхности при традиционном решении конструкции в зоне перфорационного отверстия с пенополистиролом оказывается ниже.

Таким образом, сопоставительный анализ характера распределения температур на внутренней и наружной

поверхностях ограждения в зоне сопряжения междуэтажного перекрытия с балконом и наружной стеной позволил сделать вывод, что узел с несущим теплоизоляционным элементом позволяет обеспечить наиболее благоприятные температуры на поверхности ограждения и обладает большим уровнем тепловой защиты по сравнению с традиционной перфорацией и заполнением отверстий эффективным утеплителем. В связи с этим исследуемый теплоизоляционный несущий элемент можно рекомендовать для применения в жилых и общественных зданиях с монолитными железобетонными перекрытиями.

Ключевые слова: *теплотехническая однородность, наружные стены, перфорационные отверстия, мостик холода, теплоизоляционный несущий элемент, математическое моделирование, тепловая защита зданий.*

Список литературы

1. Егорова Т.С., Черкас В.Е. Повышение эффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 421–428.
2. Шубин И.Л., Умнякова Н.П. Нормативные документы по энергосбережению и строительной акустике, разработанные в НИИСФ РААСН // БСТ. 2012. № 2. С. 7–13.
3. Умнякова Н.П., Егорова Т.С., Белогуров П.С., Андрейцева К.С. Повышение энергоэффективности зданий за счет повышения теплотехнической однородности наружных в зоне сопряжения с балконными плитами // Строительные материалы. 2012. № 6 С. 19–21.

ГОТОВИТЕСЬ К ВЫХОДУ КНИГА Защита деревянных конструкций

Автор – А.Д. Ломакин, канд. техн. наук, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

В книге приведены результаты исследований, проведенных автором и разработанные им рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Большое внимание уделено защите несущих ДКК и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания.

Приведены известные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Описаны результаты мониторинга влажностного состояния несущих КДК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки влажности древесины с использованием модельных образцов. В книге также уделено внимание вопросам эксплуатации деревянных конструкций и обеспечению их сохранности при транспортировании, складировании на строительной площадке и проведении монтажных работ.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, работающих в области защиты деревянных конструкций, технологов предприятий по производству КДК и заводов деревянного домостроения, сотрудников проектных организаций и преподавателей вузов. Она может быть полезна также и для организаций, занимающихся строительством зданий и сооружений с применением деревянных конструкций.

Формат книги 165×235 мм, 428 стр.
Ориентировочная цена 700 р.,
цена по предварительной заявке 550 р.
Срок выхода книги июль 2013 г.

Заявки для приобретения направлять по тел./факсу: (499) 976-20-36, 976-22-08
E-mail: mail@rifsm.ru

Х.З. БАШИРОВ, канд. техн. наук, ген. директор ООО «Инжтрансмонолит» (Москва);
 А.М. КРЫГИНА, канд. техн. наук, К.М. ЧЕРНОВ, архитектор (arhitecburo@mail.ru),
 Юго-Западный государственный университет (Курск)

Экспериментальные исследования прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям

Железобетонные составные конструкции получают все большее распространение в капитальном строительстве, и поэтому совершенствование методологии и методик их расчета является важной и *актуальной* проблемой строительной науки.

Экспериментальные исследования прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям в последние два десятилетия практически не проводились. Крайне мало опытных данных о типах и схемах разрушения составных конструкций, о предельной прочности шва между разными бетонами и о параметрах предельного сложного напряженно-деформированного состояния. Получение таких опытных параметров позволит заметно уточнить имеющийся расчетный аппарат для оценки прочности железобетонных составных конструкций, и в то же время эта информация может дать более полное представление об особенностях сопротивления железобетона в целом.

Отмеченные опытные параметры являются определяющими для анализа сопротивления областей, прилегающих к местам пересечения трещинами рабочей ар-

матуры, где, как показали последние исследования [1], возникает эффект нарушения сплошности (деформационный эффект).

Экспериментальные исследования прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям в рамках настоящей работы проводились с целью проверки предлагаемого расчетного аппарата, основанного на предлагаемой расчетной модели с двумя верами трещин трех типов с учетом деформационного эффекта, несовместных сосредоточенных деформаций в швах контакта бетонов составной конструкции. В процессе экспериментальных исследований решены следующие задачи:

- разработка методики экспериментальных исследований прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям;
- экспериментальное определение параметров прочности (с анализом возможных разрушений от выкалывания бетона, его раздавливания, отрыва или среза, а также возможности потери сцепления с арматурой в приопорной зоне);

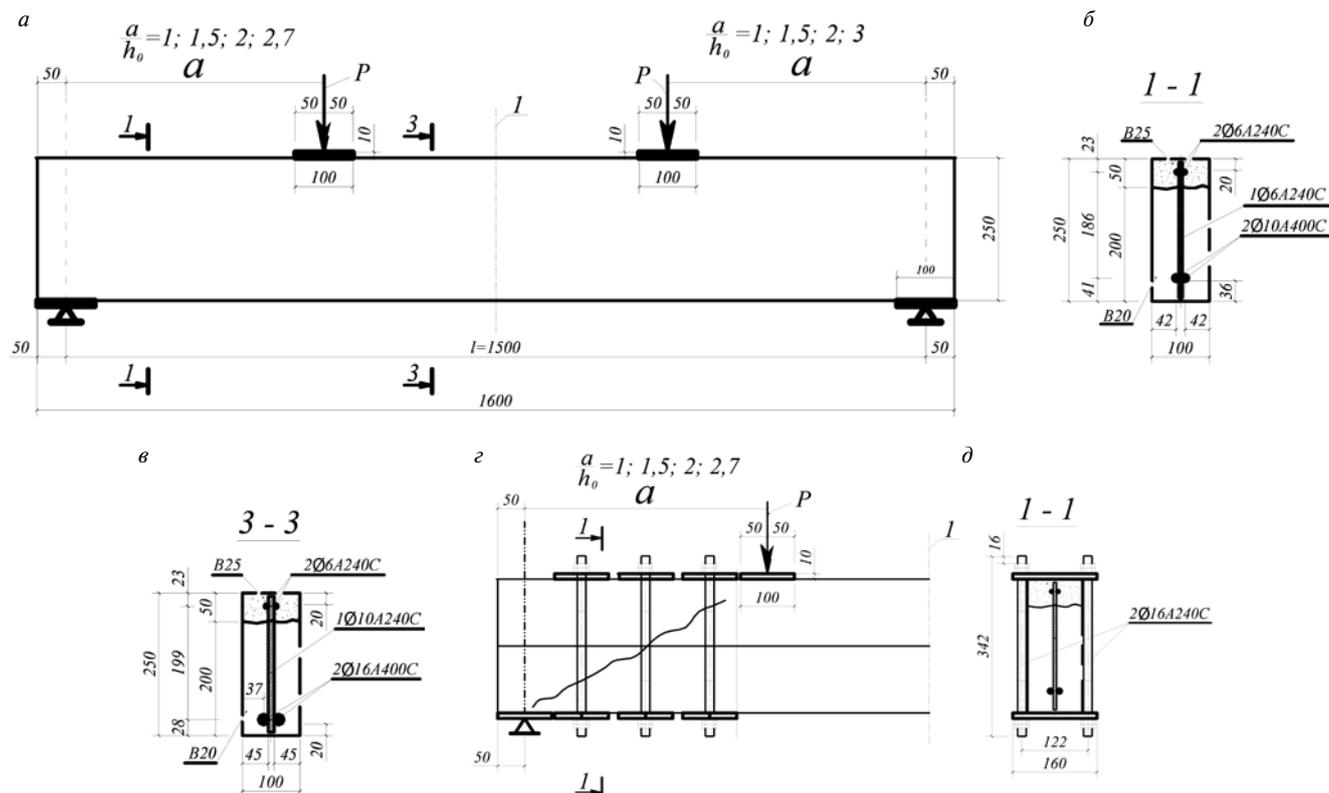


Рис. 1. Схема силового нагружения опытных железобетонных составных конструкций: а – общий вид; б, в – поперечное сечение 1-1 и 3-3 соответственно; г, д – схема расположения стержней для испытания второго пролета среза

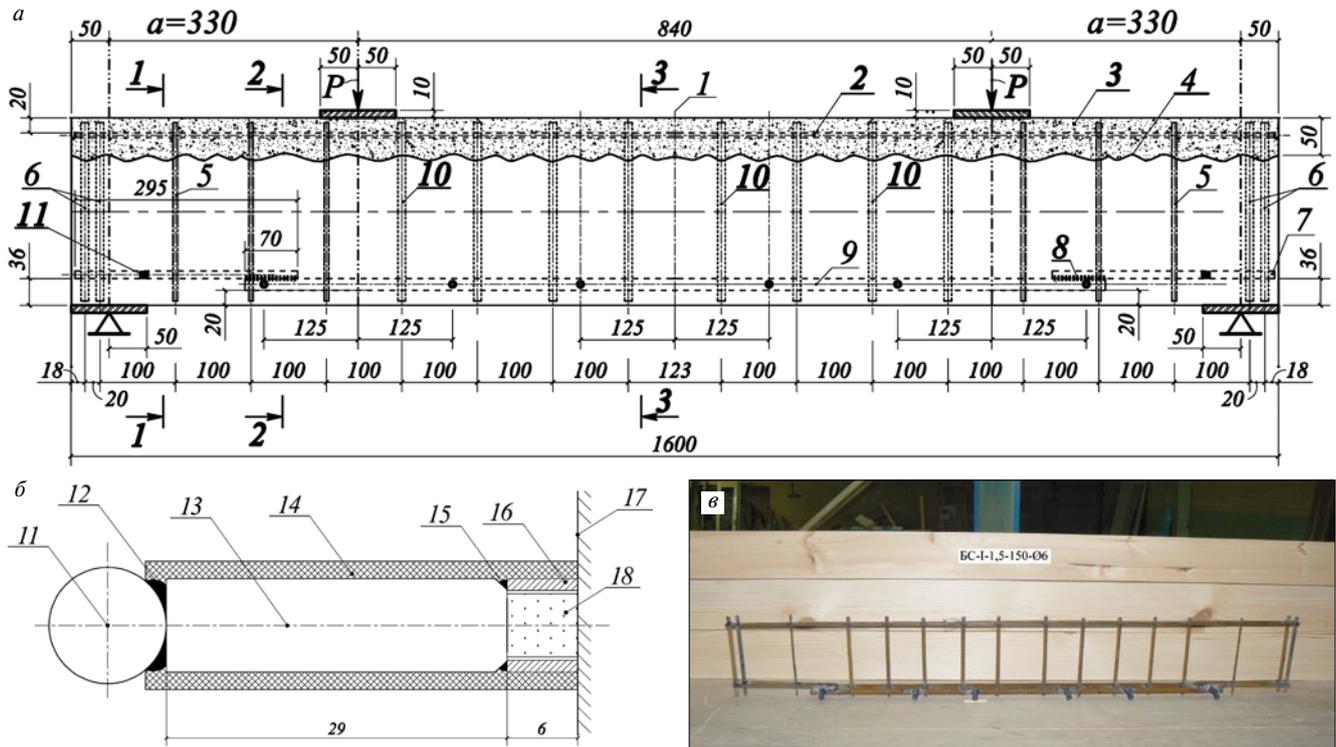


Рис. 2. Опытная конструкция железобетонной составной балки БС-I-1,5-150-06: а – схема армирования; б – конструкции гаек, приваренных к арматурным стержням для измерения средних деформаций арматуры; в – общий вид арматурного каркаса; 1 – ось симметрии; 2 – ось конструктивной арматуры; 3 – бетон усиления; 4 – шов между бетонами; 5 – вертикальный хомут в пролете среза; 6 – анкерные хомуты $\varnothing 10A400C$; 7 – ось рабочей арматуры в пролете среза; 8 – сварной шов длиной 70 мм между рабочими арматурными стержнями; 9 – ось рабочей арматуры; 10 – поперечные стержни в зоне чистого изгиба; 11 – рабочий арматурный стержень; 12 – сварка; 13 – коротыш из гладкой арматуры, диаметром 8 мм; 14 – резиновая трубка; 15 – сварка; 16 – стандартная гайка М6; 17 – край опалубки; 18 – пластилин

Таблица 1

Серия	Шифр конструкции*	h , мм	b , мм	l , мм	Арматура растянутой зоны, d – мм, класс	Арматура сжатой зоны, d – мм, класс	Высота слоя старого бетона, мм	Высота слоя усиления, мм	Класс бетона основн.	Класс бетона усиления
I	БО-I-1,5-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-I-1,5-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
	БО-I-1,5-150-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-I-1,5-150-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
	БО-I-1,5-100-06- l_x	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-I-1,5-100-06- l_x	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
II	БО-II-2,7-10006	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-II-2,7-10006	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
III	БО-III-2,7-100-010(n_1)	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-III-2,7-100-010(n_1)	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
	БС-III-2,7-100-010(n_2)	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
	БС-III-2,7-100-010(n_3)	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
IV	БО-IV-1,0-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-IV-1,0-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
	БО-IV-1,0-150-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-IV-1,0-150-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30
V	БО-V-2-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	250	–	B20	–
	БС-V-2-100-06	250	100	1600	2010A400C	206A240C	200	50	B20	B30

* Шифр конструкции включает номер серии, БО или БС – балка обычного или составного сечения соответственно; 1,5; 2,7; 1,0; 2,0 – пролеты среза; 100; 150; 320 – шаг поперечной арматуры; 06, 010 – диаметры поперечных стержней в шве, в зоне чистого изгиба; l_x – конструкции с недостаточной анкерровкой; арматура 06A240C раскатывается из бухты вручную, а не с помощью валков (чтобы не произошло вытяжки на площадке текучести); после разрушения одного из пролетов среза на него устанавливается стяжка и до разрушения доводится второй пролет среза; n_1 – шов в зоне чистого изгиба длиной 320 мм не имеет поперечной арматуры; n_2 – шов в зоне чистого изгиба длиной 320 мм, имеет поперечную арматуру, установленную с шагом 100 мм диаметром 6 мм класса A240C; n_3 – шов в зоне чистого изгиба длиной 320 мм, имеет поперечную арматуру, установленную с шагом 100 мм диаметром 10 мм класса A400C.

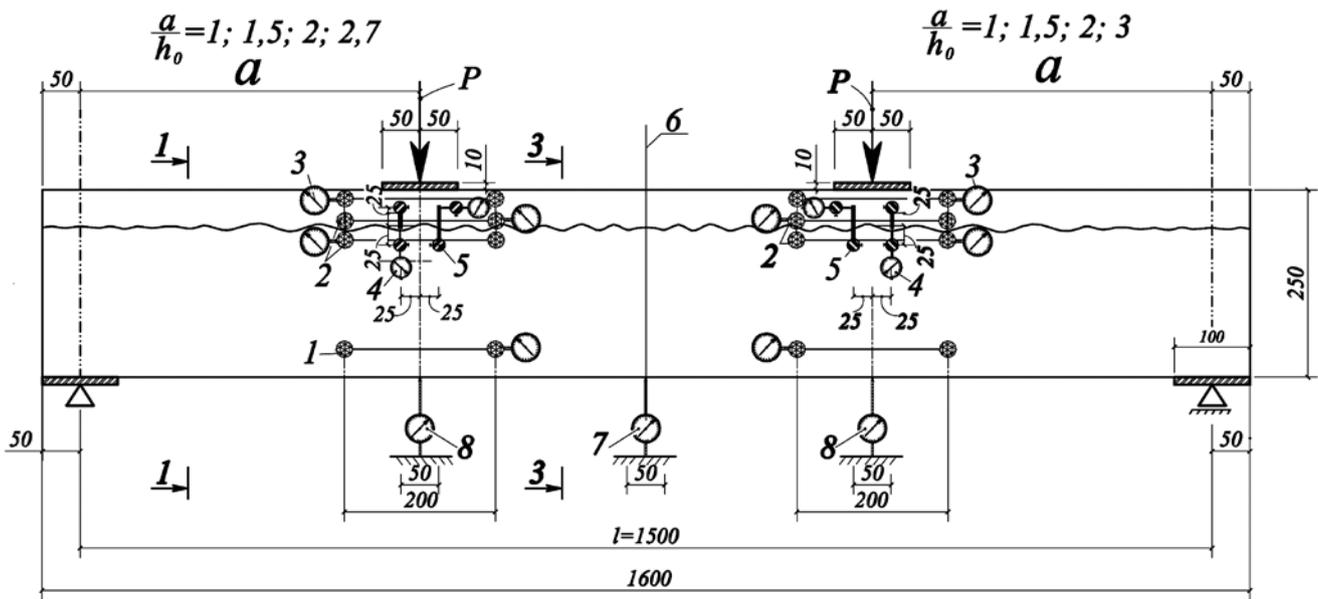


Рис. 3. Схемы нагружения опытных конструкций и схема расположения механических приборов: 1 – механические приборы, расположенные на оси арматуры с помощью специальных приваренных гаек; 2 – механические приборы, расположенные на берегах шва контакта; 3 – механические приборы, расположенные на сжатой фибре бетона; 4, 5 – механические приборы, расположенные на берегах шва для измерения вертикальных и горизонтальных смещений; 6 – ось симметрии опытной конструкции; 7, 8 – прогибомеры, расположенные в середине опытной конструкции и по линиям действия сил соответственно

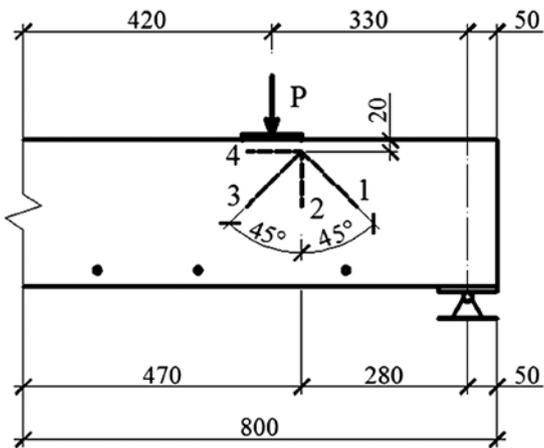


Рис. 4. Схема установки электротензометрических розеток третьей группы

Таблица 2

Класс бетона	R, МПа	В:Ц	Марка цемента	Расход материала на 1 м ³ бетона, кг				Осадка конуса, см
				Цемент	Песок	Щебень	Вода	
В20	25,69	0,6	М400	337	741	1111	202	6–8
В30	37,67	0,48	М400	440	630	1149	211	6–8

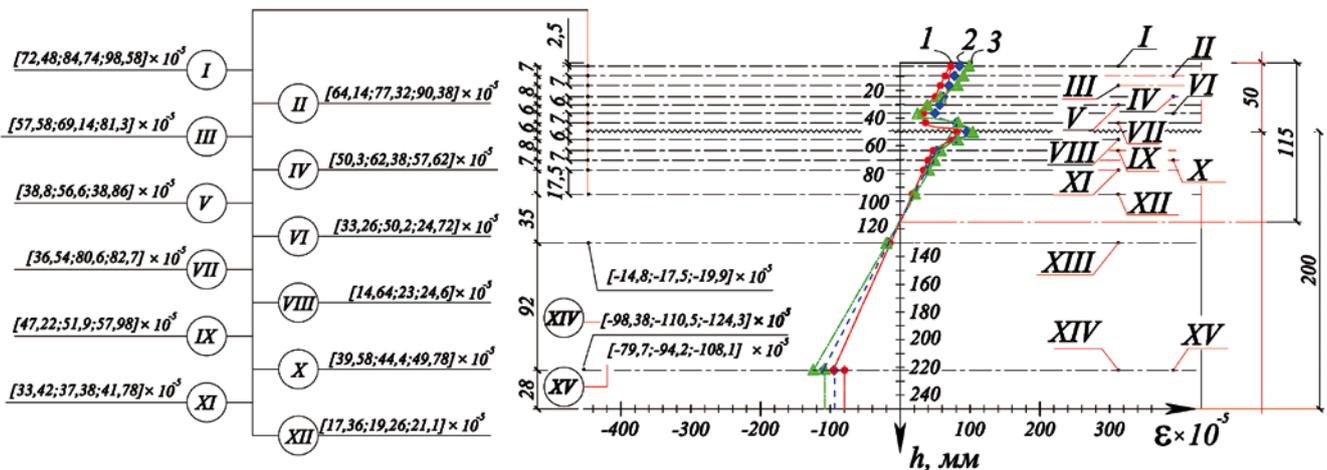


Рис. 5. Графики деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры в поперечном сечении опытной железобетонной конструкции БС–III–2,7–150–∅10(n2), расположенного в середине пролета: I–XIV – оси баз электротензорезисторов, расположенных на бетоне, XV – то же, на арматуре; 1 – на ступени нагружения 0,6 P_и; 2 – то же 0,7 P_и; 3 – то же 0,8 P_и

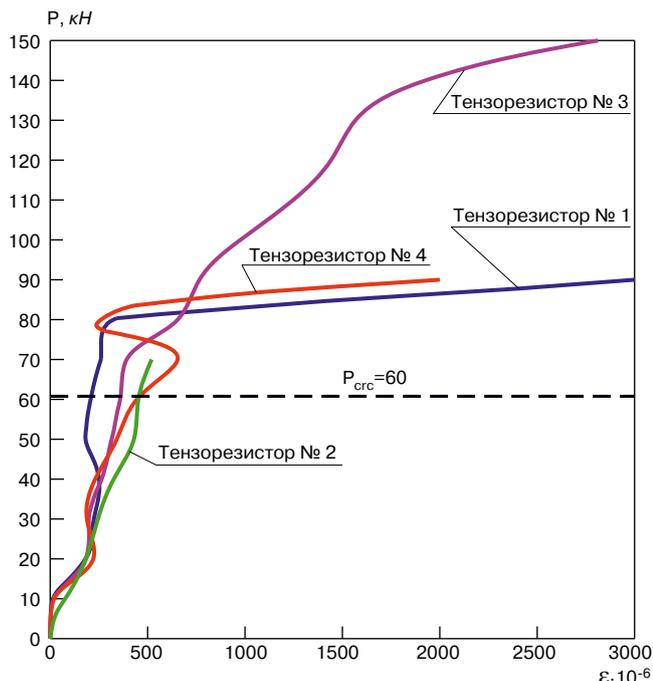


Рис. 6. Графики зависимости относительных деформаций укорочения от нагрузки в $\text{кН} \cdot 10^{-1}$ по показателям тензорезисторов 1–4 (см. схему рис. 4)

– проверка предлагаемого расчетного аппарата по уточненному расчету прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям с учетом эффекта нарушения сплошности и относительных взаимных смещений арматуры и бетона и в шве контакта между бетонами.

Программа исследований включала лабораторные испытания пяти серий железобетонных конструкций. Объем и основные параметры экспериментальных конструкций приведены на рис. 1 и в табл. 1. Количество испытываемых конструкций принято с учетом варьирования диаметра и шага хомутов, продольного армирования, класса основного и дополнительного бетонов и пролета «среза». Для доведения до разрушения второго пролета среза опытной конструкции использовались специальные стяжки, состоящие из шпилек и металлических пластин (рис. 1, з, д).

Механические характеристики арматуры определялись в соответствии с действующими стандартами. При этом испытано по три стержня длиной 400 мм каждого диаметра.



Рис. 7. Характер разрушения опытной конструкции третьей серии БС-III-2,7-100-Ø10-(n2)



Рис. 8. Срез с раздавливанием опытной конструкции первой серии БС-I-1,5-150-Ø6



Рис. 9. Появление трещин вдоль шва между бетонами на XIV ступени в опытной конструкции первой серии БС-I-1,5-150-Ø6

Фактическая граница текучести для арматурных стержней составила: гладкой арматуры А240СØ6 мм – 263,8 МПа, гладкой арматуры А240СØ10 мм – 264,7 МПа, арматурных стержней периодического профиля А400СØ10 мм – 437,8 МПа, А400СØ16 мм – 441,6 МПа.

Конструкции арматурных каркасов с установленными на них гайками для измерения средних деформаций рабочей арматуры приведены на рис. 2.

Изготовление балок осуществлялось на Орловском комбинате строительных конструкций. При этом использовался щебень крупностью 5–10 мм. Бетонированию предшествовала лабораторная проверка расчетных составов бетона и их корректировка (табл. 2).

Одновременно с основными железобетонными составными конструкциями для определения прочностных и деформативных характеристик бетона в возрасте 28 сут и в момент испытаний, изготавливались вспомогательные бетонные образцы из бетонов того же состава: кубы $100 \times 100 \times 100$ – 18 шт., призмы сплошного сечения $100 \times 100 \times 400$ – 18 шт., составные бетонные призмы $100 \times 100 \times 400$ – 24 шт. и составные армированные призмы $100 \times 100 \times 400$ – 48 шт.

При этом фактическая прочность кубов бетона на сжатие составила: для сжатой зоны (домноличивание новым бетоном) образцов всех серий – 35,3 МПа, для образцов всех серий (растянутой зоны) – 23,9 МПа.

Железобетонные конструкции испытывали в горизонтальном положении со свободным доступом к растянутой зоне. Это позволило детально изучить картины разрушения, образования, развития, раскрытия трещин и деформирования при наличии трещин.

Установка механических приборов на арматуру была выполнена с помощью специальных приспособлений, показанных на рис. 2, б. Размещение механических приборов на опытной конструкции приведено на рис. 3.

Для повышения достоверности экспериментальных данных работа электротензорезисторов дублировалась с помощью механических приборов с ценой деления 0,001 мм. При этом также были установлены механические приборы вдоль оси растянутой арматуры, которые позволяли определять средние деформации арматуры и в сочетании с другими механическими приборами и

тензорезисторами проверить гипотезу плоских сечений в сечении I—I для средних деформаций в пределах каждого из составляющих стержней.

В окрестности шва между бетонами установлены механические приборы (рис. 3) для определения местных линейных деформаций в направлении, перпендикулярном к шву (индикатор часового типа с ценой деления 0,001 мм – И1) и местных деформаций сдвига вдоль шва (индикатор часового типа с ценой деления 0,001 мм – И2).

Детальная методика проведения лабораторных испытаний железобетонных составных конструкций в зоне наклонных трещин трех типов приведена в работе [2]. Особое внимание в данной работе было уделено **третьей группе тензорезисторов** в виде розеток над опасной кривой трещиной в сжатом бетоне, в зоне, прилегающей к сечению I—I. Эта группа тензорезисторов необходима для выявления характера разрушения в исследуемой зоне. Схема размещения розеток этой группы приведена на рис. 4. Розетки были размещены под силой. При этом вертикальный датчик устанавливался по краю металлической пластинки, передающей нагрузку, горизонтальный датчик на 20 мм ниже сжатой грани, наклонные датчики, сходящиеся в розетке, – под 45 градусов.

Проведенные экспериментальные исследования представили возможность проверки достоверности расчетного аппарата прочности по наклонным сечениям при наличии трех типов трещин и подтверждения адекватности рабочих гипотез при варьировании диаметра и шага хомутов, продольного армирования, класса основного и дополнительного бетонов, пролета «среза».

Информационными в этом отношении можно рассматривать графики средних деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры (рис. 5), а также деформации по результатам обработки розеток в зоне над опасной наклонной трещиной (рис. 6).

Разрушение образцов третьей серии произошло на четырнадцатой ступени нагружения. При этом на характер разрушения существенное влияние оказала трещина, идущая вдоль шва между бетонами (рис. 7). Этот вид разрушения следует выделить в отдельный случай: разрушение по наклонным сечениям от потери сцепления в шве между бетонами, которое характерно для больших пролетов «среза».

Разрушение образцов первой серии произошло на пятнадцатой ступени нагружения от среза с раздавливанием бетона над опасной кривой трещиной (рис. 8).

При этом на четырнадцатой ступени образовались трещины вдоль шва между бетонами (рис. 9). Их развитие шло от торцов составной конструкции, однако до зоны разрушения на пятнадцатой ступени эти трещины не дошли.

Таким образом, на основании разработанной методики экспериментальных исследований железобетонных составных конструкций получены новые опытные данные о сложном напряженно-деформированном состоянии и практике разрушения таких конструкций по наклонным сечениям.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, железобетонные составные конструкции, прочность, наклонные сечения, шов контакта.

Список литературы

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
2. Баширов Х.З., Горностаев И.С., Дородных А.А., Чернов К.М. Методика экспериментальных исследований прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 5. С. 16–19.

20-я ЮБИЛЕЙНАЯ КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «СТРОИТЕЛЬСТВО»



KazBuild

3-6 СЕНТЯБРЯ • 2013 • АТАКЕНТ

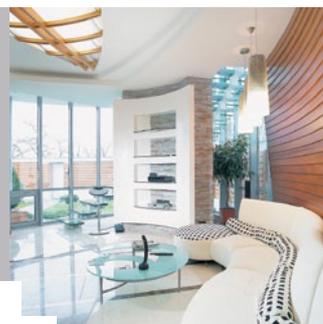
20 лет
успеха



www.kazbuild.kz

• СТРОИТЕЛЬСТВО

• ИНТЕРЬЕР



• КЕРАМИКА И КАМЕНЬ

• ОКНА,
ДВЕРИ И ФАСАДЫ

пройдет параллельно



Алматы, Казахстан, 050057, ул.Тимирязева, 42, 8 этаж,
World Trade Center Almaty; Тел.: +7 727 2583434;
Факс: +7 727 2583444; E-mail: build@iteca.kz

В.П. ГУСЕВ, д-р техн. наук, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; А.В. СИДОРИНА, руководитель направления «Звукоизоляционные материалы», ООО «K-FLEX» (Москва)

Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов

Основные элементы систем вентиляции и кондиционирования воздуха (вентиляторы, вентиляционные установки, путевая арматура, фасонные элементы и др.) являются источниками повышенного широкополосного аэродинамического шума. Он распространяется по воздуховодам с некоторым затуханием по сети на значительные расстояния и достигает обслуживаемых системами помещений. Для обеспечения нормативных акустических условий в этих помещениях за источниками шума предусматривается установка глушителей.

За вентиляторами в таких случаях устанавливаются так называемые центральные глушители (это могут быть пластинчатые, трубчатые, каналные, камерные в зависимости в первую очередь от мощности оборудования). Эффективность такого глушителя подбирается на стадии проектирования системы по требуемому снижению уровня шума, создаваемого вентилятором, равному разности рассчитанных уровней звукового давления (УЗД) в обслуживаемом помещении и их допустимых значений. При распространении шума в протяженной сети суммарное снижение звуковой мощности (ΔL_{Σ}), как правило, значительное, соответственно эффективность упомянутого глушителя может быть низкой, иначе чем больше суммарное снижение уровней звуковой мощности по пути распространения от источника, тем менее эффективен требуется центральный глушитель. Поэтому в ее начальных участках (непосредственно за вентилятором с глушителем) уровни шума могут быть недопустимо высокими (СТО 02495359-6.001–2011 «Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха, холодоснабжения и воздушного отопления»).

Когда такие шумные, часто магистральные, участки воздуховодов проходят через закрытые или открытые пространства, к акустическим условиям в которых предъявляются достаточно жесткие требования, в них возникает повышенный воздушный шум, следовательно, требуются соответствующие защитные меры.

Практика показывает, что требуемую защиту окружающей среды от воздушного шума, излучаемого стенками воздуховодов в рассмотренных ситуациях, можно добиться за счет установки на них разнообразных покрытий, изначально известных как теплоизолирующие, но обладающие звукоизолирующими свойствами. В последние годы на строительном рынке появилось множество однослойных и многослойных (комбинированных) покрытий, различающихся по толщине, плотности, способу изготовления и закрепления на воздуховоде [1].

Исходными данными для выбора того или иного покрытия являются акустические характеристики, по которым можно судить об их звукоизолирующих свойствах, в частности об акустическом эффекте от установки на трубы, включая металлические воздуховоды. В связи с возникшей необходимостью получения этих данных в лаборатории НИИСФ РААСН на базе испытательного стенда созданы экспериментальные установки, удовлетворяющие требованиям действующих стан-

дартов (ГОСТ Р ИСО 15665–2007 «Шум. Руководство по акустической изоляции труб и арматуры трубопроводов»; ГОСТ 31274–2004 (ИСО 3741:1999) «Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер»). Акустические измерения проводятся в реверберационном поле в специальной измерительной камере.

По результатам испытаний множества различных материалов и покрытий, как на круглые, так и на прямоугольные трубы различного назначения, установлено, что оптимальными с точки зрения акустики и экономики для систем вентиляции являются покрытия, условно разделенные на три группы. К одной из них отнесены однослойные и комбинированные (многослойные), базирующиеся на эластомерных материалах типа K-FONIK (под эластомерными понимают полимеры, обладающие эластичными свойствами). В другую группу включены однослойные покрытия из легких вспененных фольгированных и нефольгированных материалов (пенофол, пенополиэтилен, пеноплекс и т. п.; названия определены заказчиками). К третьей группе отнесены покрытия с использованием волокнистых материалов типа ISOVER, ISOTEC Мат-Ал и др. [2].

В данной статье рассматриваются результаты преимущественно последних испытаний, выполненных для определения звукоизолирующих свойств (возможностей) покрытий с физико-техническими характеристиками, соответствующими указанным группам:

Первая группа – комбинированные и однослойные покрытия:

- вариант 1: K-FLEX IGO (19 мм);
- вариант 2: K-FLEX IGO (19 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD;
- вариант 3: K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD;
- вариант 4: K-FONIK 240 (25 мм);
- вариант 5: K-FONIK 240 (25 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм);
- вариант 6: K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FONIK GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FONIK GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX IN CLAD.

Вторая группа – сегменты из пеноплекса толщиной 40 мм и плотностью 35 кг/м³ – ПП; листовой пенофол (10 мм, 40 кг/м³) – ПФ; листовой пенополиэтилен типа «Блэк Стар ДАКТ-Ал» (10 мм, 25 кг/м³) – ПЭ.

Третья группа – волокнистый материал ISOVER (толщина 100 мм, плотность 22 кг/м³) – ИЗ-1; ISOVER (30 мм, 30 кг/м³) – ИЗ-2; ISOTEC Мат-Ал-30 (толщина 30 мм, плотность 30 кг/м³) – ИЗ-3; ISOTEC Прошивной мат 80-СМ-Мат-Ал (30 мм, 80 кг/м³) – ИЗ-4; ISOTEC Прошивной мат 80-СМ-Мат-Ал (80 мм, 80 кг/м³) – ИЗ-5.

Эффекты установки покрытий **первой группы** на круглую трубу диаметром 200 мм представлены в графической форме на рис. 1. Как видно, они обладают высокой акустической эффективностью в широком диапазоне частот.

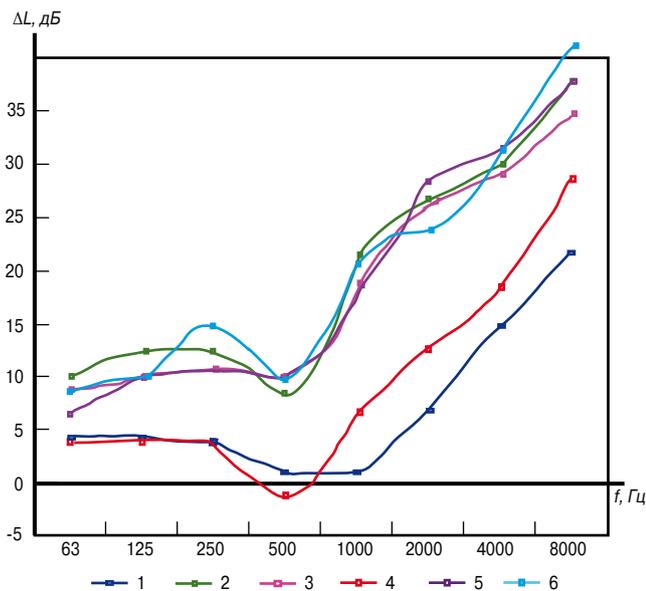


Рис. 1. Эффективность покрытий из материалов типа K-FONIK

Максимальное снижение шума достигается за счет установки четырех комбинированных покрытий (варианты 2, 3, 5, 6). В диапазоне низких частот их эффективность составляет 9–12 дБ. С ростом частоты эффективность повышается и достигает 30–43 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4000, 8000 Гц.

Наиболее часто используемый материал K-FLEX ST не приносит достаточного звукоизолирующего эффекта. Он пригоден только в тех случаях, когда требуется небольшое дополнительное снижение шума воздуховодов.

Наряду со значительной эффективностью указанные материалы удобны для закрепления на воздуховодах и ремонта. Они хорошо склеиваются на стыках при устранении щелей, за счет которых возникают акустические мостики и снижается звукоизоляция, а также предотвращают коррозию на поверхности и повышают сохранность металлических трубопроводов. Базовым слоем для звукоизолирующей системы трубопроводов является материал на основе синтетического каучука закрыто-ячеистой структуры марки K-FLEX ST. С точки зрения паропроницаемости он имеет преимущества, фактор диффузии водяного пара материала $\mu=7000$ по ГОСТ 25898–83 «Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления

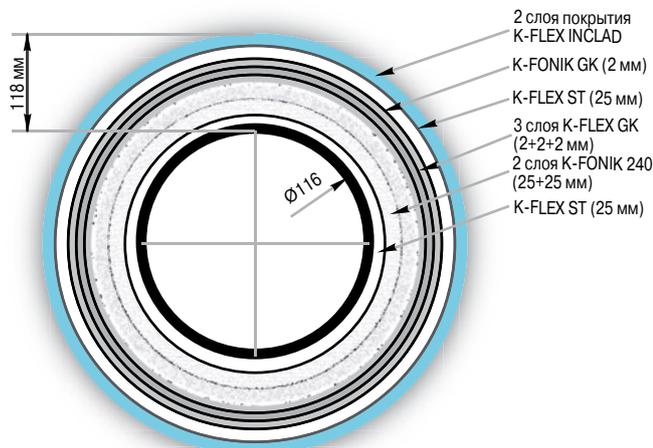


Рис. 2. Конструкция комбинированного покрытия из материалов K-FONIK K-Flex

паропроницаению». По европейской методике оценки (EN 13469) $\mu=12500$.

Для прогнозирования эффекта звукоизоляции в различных условиях эксплуатации материалов существуют данные, позволяющие оценивать его зависимость от температуры среды в трубопроводе, температуры и влажности наружного воздуха, прямого воздействия солнечных лучей, скорости ветра и коэффициента теплоотдачи поверхности. Эти данные используются преимущественно для выполнения теплотехнического расчета и определения толщины и состава конструкции, предотвращающей образование конденсата.

При изменении температуры изменяется коэффициент потерь, динамический модуль упругости и изгибная жесткость многослойной конструкции покрытия. При понижении температуры модуль упругости возрастает, коэффициент потерь уменьшается, в связи с этим снижается звукоизолирующая способность покрытия.

В качестве примера приведем изменение звукоизолирующей способности многослойной конструкции покрытия из материалов на основе модифицированного синтетического каучука (рис. 2) при изменении температуры от +26°C до -60°C (рис. 3).

Представленные на рис. 3 экспериментальные данные дают возможность судить об изменении звукоизолирующих свойств покрытия, приведенного на рис. 2, в широком диапазоне частот. Как видно, с увеличением частоты это влияние уменьшается.

Звукоизоляция легких вспененных материалов *второй группы*, то они далеко не самые лучшие. Они малоэффективны (рис. 4) и пригодны только для защиты от повышенного высокочастотного шума. Вместе с тем эти покрытия полезны для вибродемпфирования и снижения или устранения так называемого гула воздуховодов. К достоинствам можно отнести также простоту закрепления их на воздуховодах (одни закрепляются хомутами, другие наклеиваются).

Эффекты установки покрытий *третьей группы* (на основе волокнистых материалов) в диапазоне низких частот мало отличаются от подобных характеристик у покрытий из вспененных материалов. Однако в диапазоне средних и высоких частот они значительно выше, чем у покрытий второй группы (рис. 5), и сравнимы с эффективностями покрытий первой группы. Покрытия из волокнистых материалов находят применение, несмотря на существенный недостаток: интенсивное высыпание волокон в окружающую среду при установке на воздуховод. Названия материалов определены изготовителями, а условные обозначения присвоены нами для краткости информации на рисунках.

Представленные акустические характеристики покрытий на воздуховоды вентиляционных систем (и любые другие излучающие шум трубы) дают возможность подбора оптимальных с точки зрения акустики и экономики вариантов.

Исходными данными для разработки оптимальных звукоизолирующих покрытий в различных ситуациях на проектируемых объектах является зависимое от частоты требуемое снижение ожидаемых (рассчитанных) уровней шума, проникающего через стенки воздуховодов.

Ожидаемые уровни шума при прохождении магистрального воздуховода через помещение определяются по формуле, приведенной в стандарте НИИСФ РААСН (СТО):

$$L = L_W - \Delta L_{W_{\text{сум}}} + 10 \lg S_{\text{нп}} / S_{\text{нс}} - R_g - 10 \lg B_u + 3, \quad (1)$$

где L_W — октавный уровень звуковой мощности источника шума, излучаемой в воздуховод, дБ; $\Delta L_{W_{\text{сум}}}$ — суммарное снижение уровней звуковой мощности источника, дБ, по пути распространения звука до начала участка воздуховода, излучающего шум в помещение; $S_{\text{нп}}$ — пло-

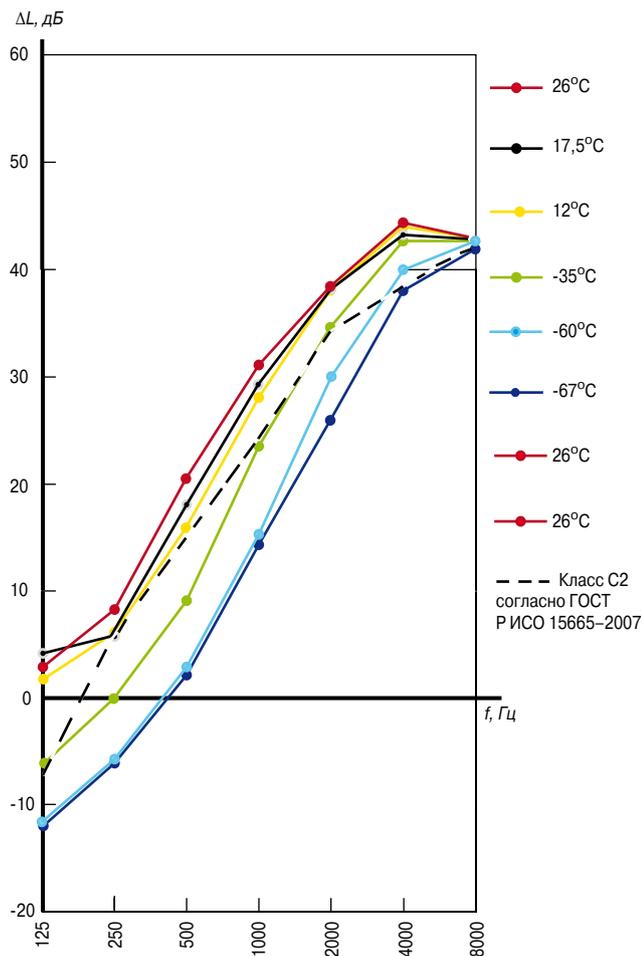


Рис. 3. Температурно-частотная зависимость конструкции из материалов K-FONIK K-Flex

щадь наружной поверхности участка воздуховода, через которую поступает шум в помещение, m^2 ; S_{nc} – площадь поперечного сечения воздуховода, m^2 ; R_g – звукоизолирующая способность стенок воздуховода, дБ; B_u – постоянная изолируемого помещения, m^2 .

Следует подчеркнуть, что в обычных вентиляционных сетях и воздушных каналах, имеющих относительно небольшие поперечные сечения, суммарное снижение звуковой мощности ($\Delta L_{исум}$) по пути распространения определяется по формулам, основанным на принципах волновой акустики. В крупногабаритных воздушных каналах, как правило, мощных вентиляционных систем применение этих формул ограничивается диапазоном низких частот. В таких случаях в области средних и высоких частот для оценки уровней звукового давления и снижения звуковой мощности предпочтительнее так называемый комбинированный метод [3], основанный на статистической энергетической теории. Суть его заключается в раздельном рассмотрении распространения прямой и отраженной составляющих уровней шума с последующим их суммированием. Для реализации этого инновационного метода оценки звуковых полей в крупногабаритных воздушных каналах разработана и успешно апробирована компьютерная программа.

Существуют ситуации, когда магистральный или любой другой воздуховод проходит через помещение с источниками шума. Тогда шум этих источников в пределах данного помещения проникает внутрь воздуховода через стенки и далее по нему в обслуживаемое системой и защищаемое от шума помещение. Оценка шумо-

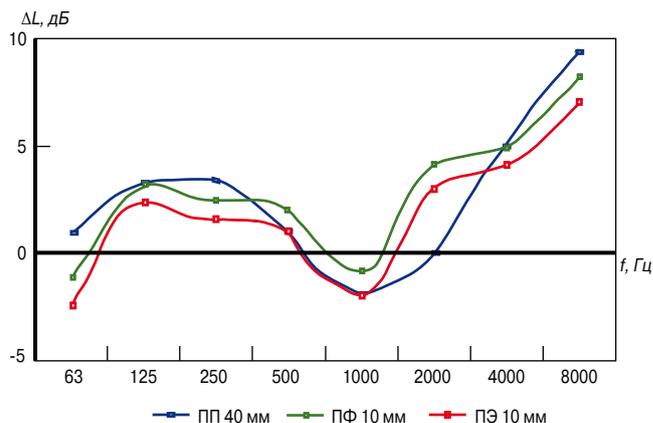


Рис. 4. Эффективность покрытий из легких вспененных материалов

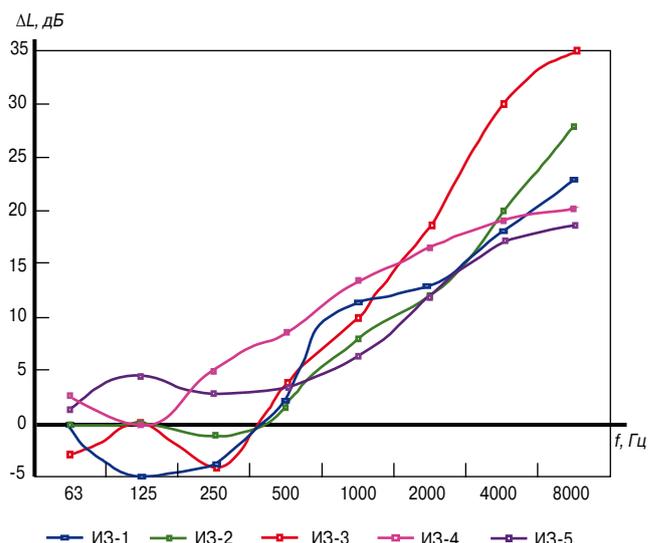


Рис. 5. Эффективность покрытий из волокнистых материалов

вого воздействия указанных источников в таком помещении производится по ожидаемым УЗД, определяемым по формуле:

$$L = L_{ш} + 10 \lg S - R_g - 10 \lg B_u - \Delta L_{ш}, \quad (2)$$

где $L_{ш}$ – октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ; S – площадь поверхности участка воздуховода в пределах помещения, m^2 ; R_g – звукоизолирующая способность стенок воздуховода, дБ; B_u – постоянная изолируемого от шума тихого помещения, m^2 ; $\Delta L_{ш}$ – снижение уровней звуковой мощности, дБ, по пути распространения звука от «шумного» до «тихого» помещений.

Список литературы

1. Гусев В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем // АВОК. 2012. № 2. С. 38–42.
2. Гусев В.П., Лешко М.Ю. Расчет и проектирование защиты от шума воздухопроводов вентиляционных систем // Труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации». Санкт-Петербург. 26–28 марта 2013 г. С. 323–331.
3. Гусев В.П., Леденев В.И. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газозвуковых каналах // Дни Российской строительной науки в Германии. Инновационные решения. Контакты. Связи. Материалы конференции, ноябрь 2012.

Уникальные проекты с использованием композитов в строительстве

На заводе Госкорпорации «Росатом» «Аргон» (г. Балаково Саратовской области) этой весной были проведены уникальные ремонтные работы с применением композитов на основе углеродных лент производства проектной компании РОСНАНО «Препрег-СКМ».

Завод «Аргон» построен более 30 лет назад. Предприятие является производственным активом «Росатома» и управляется холдинговой компанией «Композит». «Аргон» занимается переработкой углеродных волокон, которые лежат в основе композиционных материалов, востребованных в самых разных отраслях промышленности: авиации, судостроении, атомной энергетике, строительстве и других.

Капитальный ремонт внутренних несущих конструкций на «Аргоне» не проводился ни разу. Основная причина – проблематичность остановки производства и эвакуации многотонного оборудования. Завод работает в круглосуточном режиме.

Объект ремонта – железобетонные плиты покрытия в производственном цехе на высоте 9 м. В результате коррозии арматуры в плитах образовались трещины, что может привести к обрушению кровли. Традиционные способы восстановления плит покрытия бетоном и металлическими стяжками в данном случае были неприменимы.

Идеальным решением стало применение системы внешнего армирования (СВА) углеродными лентами FibARM. Производитель углеродных лент FibARM – проектная компания РОСНАНО «Препрег-СКМ», входящая в состав холдинга «Композит». В основе СВА два компонента: углеродные ленты FibARM и связующее. Технология предназначена для усиления любых строительных конструкций.

Проведение ремонта никак не отразилось на производстве «Аргона», которое продолжало работать в обычном режиме. Применение СВА не потребовало остановки и эвакуации оборудования. Легкие углеродные ткани и связующее без особого труда поднимались на девятиметровую высоту для армирования плит покрытия.

Ремонт композитами длился полтора месяца. На традиционное усиление пришлось бы потратить минимум полгода. Существенно сэкономить удалось и на трудовых ресурсах. Внешнее армирование проводила бригада из пяти человек. Для традиционных работ потребовалось бы не менее 15 работников.

Минувшей зимой в Екатеринбурге по заказу ХК «Композит» прошли уникальные испытания системы внешнего армирования.

Объект испытаний – железобетонные балки длиной 12 и 20 м таврового сечения. Цель эксперимента – проверить эффектив-



ность использования СВА углеродными лентами и углепластиковыми ламелями (новый продукт холдинговой компании «Композит») на конструкциях в натуральную величину: неусиленных балках; балках, усиленных углеродными лентами и хомутами; балках, усиленных углеродными ламелями и хомутами.

Работы проводились в испытательном центре Уральского государственного университета путей сообщения (Екатеринбург). Результаты испытаний показали повышение несущей способности балки, усиленной композитным материалом примерно на 70%.

Аналогичные результаты были получены во время испытаний железобетонных колонн. На прочность испытывались: неусиленные колонны; колонны, усиленные углеродными лентами; колонны, усиленные ламелями; колонны, усиленные ламелями с устройством углеродных хомутов. Испытания проходили до полного разрушения колонн и потери несущей способности в процессе нагружения. Результаты показали, что усиление углеродными материалами способно обеспечить увеличение несущей способности колонн более чем на 60%.

В течение 2012 г. материалами «Препрег-СКМ» было отремонтировано свыше 30 строительных объектов в разных регионах страны. В числе отремонтированных объектов, например, кинотеатр «Гавана» в Москве, где композитами были усилены фермы и плиты покрытия. Компания занимает 50% российского рынка углеродных тканей, предназначенных для применения в строительстве.



109316, Россия, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 43, к. 3 +7 495 787 88 28 info@hccomposite.com <http://www.hccomposite.com/>

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА, канд. техн. наук,
Тамбовский государственный технический университет

Учет влияния многокомпонентных солевых систем на наружные ограждающие конструкции зданий

Движение «Зеленое строительство» важной задачей считает обеспечение качества внутреннего воздуха и энергетической эффективности зданий. Для ряда зданий выполнение этих требований сложно в связи с особенностями природных условий района строительства, используемыми строительными материалами и технологиями возведения, технологическими процессами и связано с состоянием наружных стен зданий. Последние находятся в условиях влияния: внешней среды – из-за воздействия знакопеременных температур, влажности, атмосферных осадков, промышленных газов (CO_2 , NO_2 , SO_2 и т. д.) и пыли, содержащей гигроскопические соли; внутреннего воздуха помещений – вследствие изменения температуры и влажности, загазованности, запыленности, наличия микробов, бактерий, спор грибов.

Вследствие воздействия указанных факторов на поверхности наружных стен появляются мокрые пятна и высолы. Соли понижают парциальное давление насыщенного водяного пара над раствором и вследствие сорбционной активности поглощают влагу из воздуха. Внутри стенового материала и на поверхности ограждающих конструкций образуются растворы (жидкая фаза солей) и кристаллы (твердая фаза). Кристаллы солей образуются из порового раствора: при сушке стен, сопровождающейся миграцией растворов к поверхности и испарением влаги, что характерно для весенне-летнего и отапливаемого периодов, а также при сушке стен после замачивания атмосферными осадками при строительстве, если стены возведены на кладочном растворе с добавками; при достижении раствором состояния насыщения вследствие притока солей из окружающей среды; при снижении температуры раствора в зимний период и уменьшении растворимости соли.

Соли в твердой фазе снижают долговечность ограждающих конструкций, кристаллы разрушают капиллярно-пористую структуру стенового материала. Жидкая фаза солей повышает влагосодержание стенового материала, и, как следствие, происходит ухудшение санитарного состояния стен, развитие плесени, снижение экологической безопасности здания и качества внутреннего воздуха.

Важной задачей для зданий с солевой средой является назначение защиты от переувлажнения. Защитное покрытие для стен подбирается на основании расчета сопротивления паропроонианию, поэтому требуются данные о величине парциального давления насыщенного водяного пара внутреннего воздуха E_p , Па.

Для растворов некоторых солей в нормативной литературе есть рекомендации. Так, при расчете сопротивления паропроонианию наружных ограждающих конструкций помещений с агрессивной средой СНиП 23–02 рекомендует принимать значения E_p с учетом воздействия указанной среды. СП 23–101 рекомендует значения E_p над насыщенными растворами солей для температур 10–30°C в бинарных системах принимать по таблице С.3 приложения С. В таблице относительная влажность Φ_p ,

% (гигроскопическая точка насыщенного раствора), указана только для температуры $t=20^\circ$.

Рекомендации по определению парциального давления водяного пара E_p в плоскости возможной конденсации для сложного состава солей даны в СП 23–101 только для смесей NaCl , KCl , MgCl_2 в определенных соотношениях, содержащихся в стенах плотностью 1200 кг/м³ из керамзитобетона на керамзитовом песке. Тогда Φ_p определяется по приведенным в приложениях Э и Ш графикам сорбции.

Расчет E_p по наиболее гигроскопичной соли в смеси может давать значительные погрешности, так как понижение E_p над раствором смеси солей может быть больше [1, 2].

Была поставлена задача: определить значения E_p над растворами в многокомпонентных солевых системах.

В справочниках приводятся в основном данные о свойствах растворов отдельных соединений, однако в реальных условиях внутренняя среда часто содержит смеси солей при различной температуре. Экспериментальные данные о E_p и Φ_p в многокомпонентных солевых системах в справочниках отсутствуют. В химии известны расчетные методы определения свойств смешанных растворов. Один из них основан на принципе аддитивности, когда численное значение функции одного или нескольких свойств смешанного раствора равно сумме произведений численных значений функций этих свойств бинарных растворов, из которых образован смешанный раствор, на их относительную долю в смеси.

E_p определяется по-разному для кристаллогидратов и безводных солей. Для определения вида соли использовали диаграммы растворимости водно-солевых систем [3].

Для растворов кристаллогидратов давление пара является следствием диссоциации и зависит от температуры и числа молекул воды в молекуле соли. Состав кристаллогидратов меняется скачками, согласованно с количеством входящих в них молекул воды. Давление пара над кристаллогидратами также изменяется скачками по правилу ступенчатости Оствальда. Если соль образует двух-, четырех- и шестиводный кристаллогидраты, то давление пара над их смесью равно наибольшему давлению шестиводного кристаллогидрата.

Для безводных солей при расчете давления пара изотермически инвариантных смешанных растворов и смешанных растворов, насыщенных хотя бы одним компонентом или близких к насыщению, применима формула Хайдукова и Линецкой, основанная на принципе аддитивности:

$$E_p = E - (E - E_A) \cdot \frac{M_1}{M_A} - (E - E_B) \cdot \frac{M_2}{M_B} - (E - E_C) \cdot \frac{M_3}{M_C}, \quad (1)$$

где E_p , E – парциальное давление пара смешанного раствора и паров воды при данной температуре, Па; E_A , E_B , E_C и M_A , M_B , M_C – соответственно давление паров воды, Па, и растворимость солей, г соли на 100 г воды, в бинарных

Таблица 1

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$	$E_{pi}, \text{Па}$	$c_i^H, \text{мас. \%}$	$C_{H_2O}^i, \text{мас. \%}$
NaCl – H ₂ O				
10	1228	923,6	26,31	73,69
15	1705	1279	26,36	73,64
20	2338	1807	26,4	73,6
25	3168	2381	26,47	73,53
30	4246	3253	26,52	73,48
Na ₂ SO ₄ – H ₂ O				
10	1228	909,3	9,6	90,4
15	1705	1333	13,1	86,9
20	2338	1927	16,1	83,9
25	3168	2762	27,9	72,1
30	4246	3633	28,98	71,02
KCl – H ₂ O				
10	1228	1055	23,78	76,22
15	1705	1445	24,7	75,3
20	2338	1968	25,6	74,4
25	3168	2636	26,47	73,53
30	4246	3733	27,22	72,78
K ₂ SO ₄ – H ₂ O				
10	1228	1208	8,51	91,49
15	1705	1701	9,17	90,83
20	2338	2306	9,99	90,01
25	3168	3141	10,75	89,25
30	4246	4112	11,5	88,5

растворах; M_1, M_2, M_3 – содержание солей в смешанном растворе, г соли на 100 г воды.

Выразим концентрацию растворов в мас. % и вычислим значения E_p в многокомпонентных системах «соль 1 – соль 2 ... соль i – H₂O» при температуре 10, 15, 20, 25 и 30°C:

$$E_p = E - \sum (E - E_{pi}) \cdot \frac{c_i \cdot C_{H_2O}^i}{c_i^H \cdot C_{H_2O}} \quad (2)$$

где при данных температуре и давлении: E_{pi} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, над раствором i -й соли; c_i – концентрация i -й соли, мас. %, в растворе смеси солей; $C_{H_2O}^i$ – содержание воды в насыщенном растворе i -й соли, мас. %; c_i^H – концентрация i -й соли, мас. %, в ее насыщенном растворе; C_{H_2O} – массовое содержание воды, мас. %, в растворе смеси солей.

Данные о качественном составе солей принимали на основании натурных и лабораторных исследований среды и материалов наружных ограждающих конструкций семи цехов ОАО «Пигмент», Тамбов. Концентрации c_i, C_{H_2O} в многокомпонентных системах при различной температуре $t, ^\circ\text{C}$, концентрации $c_i^H, C_{H_2O}^i$ в бинарных системах принимали в соответствии со справочной литературой (табл. 1).

Для зданий, характеризующихся наличием в производственных помещениях аэрозоля смеси солей NaCl+K₂SO₄+KCl, а также аэрозоля NaCl+Na₂SO₄, значения растворимости солей и вычисленные по формуле (2) значения E_p приведены в табл. 2.

Для сравнения значений парциального давления насыщенного пара над водой, многокомпонентными и бинарными растворами при 0–30°C была составле-

Таблица 2

$t, ^\circ\text{C}$	$c_i, \text{мас. \%}$			$C_{H_2O}, \text{мас. \%}$	$E_p, \text{Па}$
NaCl – K ₂ SO ₄ – KCl – H ₂ O					
	NaCl	K ₂ SO ₄	KCl		
10	22,92	5,56	2,2	68,62	235,37
15	23,1	5,83	2,16	68,91	1277,86
20	23,28	6,1	2,12	68,5	1778,59
25	23,4	6,32	2,05	68,23	2353,07
30	23,52	6,53	1,97	67,98	3155,27
NaCl – Na ₂ SO ₄ – H ₂ O					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	–		
10	25,21	1,59	–	73,2	869,18
15	23,2	5,41	–	71,39	1131,25
20	21,15	8,41	–	70,44	1637,8
25	18,4	10,4	–	71,2	2449,78
30	18	9,7	–	72,3	3344,53

Таблица 3

	$t, ^\circ\text{C}$	$E_p, \text{Па}$	$E_{pi}, \text{Па}$	$(E_p - E_{pi})/E_p \times 100, \text{\% (отн.)}$
NaCl – K ₂ SO ₄ – KCl – H ₂ O	NaCl – H ₂ O			
	10	908	923,6	1,7
	15	1277,86	1279	0,1
	20	1778,59	1807	1,6
	25	2353,07	2381	1,2
	30	3155,27	3253	3
	K ₂ SO ₄ – H ₂ O			
	10	908	1208	24,8
	15	1277,86	1701	24,9
	20	1778,59	2306	22,9
	25	2353,07	3141	25,1
	30	3155,27	4112	23,3
	KCl – H ₂ O			
	10	908	1055	13,9
	15	1277,86	1445	11,6
20	1778,59	1968	9,6	
25	2353,07	2336	10,7	
30	3155,27	3733	15,5	
NaCl – Na ₂ SO ₄ – H ₂ O	NaCl – H ₂ O			
	10	869,18	923,6	5,9
	15	1131,25	1279	11,6
	20	1637,8	1807	9,4
	25	2444,5	2381	-2,9
	30	3344,53	3253	-2,7
	Na ₂ SO ₄ – H ₂ O			
	10	869,18	909,3	4,4
	15	1131,25	1333	15,1
	20	1637,8	1927	15
25	2444,5	2748	11	
30	3344,53	3633	7,9	

на табл. 3. Сравнение значений E_p , E_{p_i} соответственно в четырехкомпонентной и бинарной системах показало, что в четырехкомпонентной системе максимальное снижение E_p наблюдается при температуре 25°C. В тройной системе по сравнению с бинарной, максимальное снижение E_p наблюдается при температуре 15°C.

Предлагается следующий порядок инженерного расчета E_p над многокомпонентным раствором:

– рассчитывается относительная влажность воздуха над насыщенным раствором смеси солей φ_p^c %:

$$\varphi_p^c = 100E_p/E; \quad (3)$$

– определяется относительная влажность внутреннего воздуха с учетом воздействия солевой среды φ_{int}^c %:

$$\varphi_{int}^c = e_{int} \cdot 100/E_p = \varphi_{int} \cdot 100/\varphi_p^c, \quad (4)$$

где e_{int} – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха;

$$e_{int} = (\varphi_{int}^c / 100) \cdot E_{int}, \quad (5)$$

где E_{int} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} (принимается по СП 23-101);

– влажностный режим определяется с учетом влияния смеси солей по табл. 1, а условия эксплуатации – по табл. 2 СНиП 23-02;

– над раствором смеси солей температура точки росы t_{dp} принимается равной такой температуре, при которой парциальное давление водяных паров внутреннего воздуха e_{int} станет равным максимальной

упругости водяных паров над раствором смеси солей E_p . Далее расчет ведется в соответствии с рекомендациями СНиП 23-02 и СП 23-101.

При наличии во внутренней среде смесей солей $\text{NaCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KCl}$ или $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ по интерполяции значений E_p по табл. 3 определяется t_{dp} . Если содержится смесь солей другого состава, то для определения значений E_p производятся расчеты по формуле (2).

Таким образом, установлена необходимость учета многокомпонентных солевых систем во внутренней среде зданий, предложен порядок инженерного расчета парциального давления насыщенного водяного пара при наличии во внутренней среде смеси солей. Полученные данные необходимы для корректного назначения покрытия при защите ограждающих конструкций от переувлажнения и для повышения экологической безопасности зданий.

Ключевые слова: гигроскопические соли, многокомпонентные солевые системы, парциальное давление насыщенного водяного пара.

Список литературы

1. *Езерский В.А., Ельчищева Т.Ф.* Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых промышленных зданий при воздействии солей: В сб. «Актуальные проблемы строительной теплофизики. VII научно-практическая конференция». Москва, 18–20 апреля 2002 г. С. 231–237.
2. *Зимон А.Д.* Физическая химия. М.: Агар, 2003. 320 с.
3. *Соколовский А.А., Яхонтова Е.Л.* Применение равновесных диаграмм растворимости в технологии минеральных солей. М.: Химия, 1982. 264 с.

Памяти Ирины Викторовны Козловой

Ушла из жизни Ирина Викторовна Козлова – кандидат физико-математических наук, ведущий научный редактор журнала «Строительные материалы». 30 августа ей исполнилось бы 50 лет. В это трудно поверить, ведь не смотря на болезнь, буквально до последнего дня она работала, редактировала статьи для июньского номера. Успела закончить не все...

По окончании Донецкого политехнического института по специальности технология рекуперации вторичных материалов промышленности Ирина Викторовна планировала связать свою трудовую деятельность с наукой, закончила аспирантуру Института полупроводников АН УССР, защитила диссертацию. Жизнь внесла существенные коррективы в планы молодого ученого: развал СССР, тяжелые социально-экономические преобразования начала 1990-х гг., переезд в Россию.

Как это часто бывает, мы нашли друг друга случайно, и все 10 лет до последнего дня считали эту встречу судьбоносной. Благодаря блестящему образованию, кипучей энергии, креативности, целеустремленности Ирина Викторовна привнесла в редакторскую работу то, что современная молодежь называет драйвом. Она активно участвовала в научных конференциях и семинарах, организовывала подборки статей по самым актуальным научным направлениям, вела тематический раздел журнала «Строительные материалы: наука», рубрику «Результаты научных исследований».

Со временем оказалось, что Ирина Викторовна и сама обладает весьма стремительным пером. Ее обзорные материалы всегда отражали самую суть научных достижений; большую методическую помощь молодым ученым, аспирантам, студентам оказала серия ее статей «Начинающему автору», опубликованная в 2006 г. и актуальная до настоящего времени; неизменным вниманием пользовались ее очерки об ученых-материаловедах XIX – начала XX в.

В последние годы Ирина Викторовна жила в любимой с молодости Украине, активно работая в журнале – сама разработала и отладила технологию взаимодействия на удаленном доступе, продолжала ездить на научные конференции, поддерживала тесное общение с учеными России, Украины, стран дальнего зарубежья. Ее последнее, не связанное с текущими статьями письмо, датированное 24 мая, посвящено планам по сентябрьской и мартовской 2014 г. «Науке». Как жаль, что осуществлять мы их будем без Ирины Викторовны.

Сотрудники редакции и члены редакционного совета выражают искреннее соболезнование родным и близким Ирины Викторовны Козловой. Мы всегда будем помнить ее жизнелюбивым, преданным семье и делу человеком.



С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, доктора техн. наук, И.В. КРАСИЛЬНИКОВ, инженер, Ивановский государственный политехнический университет; Н.С. КАСЬЯНЕНКО, канд. техн. наук, ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда» (Иваново)

Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы

По общепринятой международной классификации, предложенной профессором В.М. Москвиным, к коррозии бетонов первого вида относят процессы, возникающие в бетоне при воздействии на него вод с малой жесткостью, когда составные части цементного камня растворяются, вымываются и уносятся перемещающейся водной средой [1].

При этом с точки зрения теории тепломассопереноса [2], перенос гидроксида кальция происходит в три этапа:

- массопроводность (диффузия) гидроксида кальция из внутренних слоев бетона к границе раздела фаз «бетон – жидкая среда»;
- массоперенос через границу раздела фаз;
- массоотдача от границы раздела фаз в объем жидкой среды.

В результате процессов растворения и выноса растворенных веществ нарушается химическое равновесие между поровой жидкостью и составляющими цементного камня (высокоосновными соединениями), которые подвергаются ступенчатому разложению, что приводит к потере прочности и, как следствие, к разрушению цементного камня.

Следует заметить, что разложение высокоосновных соединений приводит к выделению в поровое пространство цементного камня дополнительного количества «свободного гидроксида кальция», которое с физико-математической точки зрения может рассматриваться как возникновение внутреннего источника массы.

Математически задача массопереноса «свободного гидроксида кальция» с внутренним источником массы, в безразмерном виде представлена следующей системой уравнений с начальными и граничными условиями:

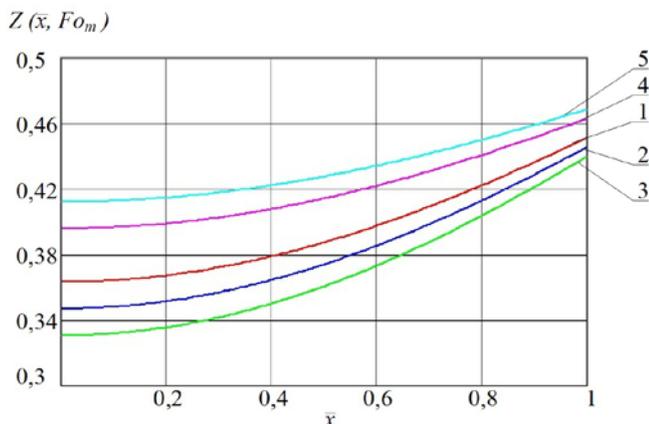


Рис. 1. Профиль безразмерных концентраций гидроксида кальция по толщине стенки резервуара при $Fo_m=1$, $Bi_m=1$, $K_m=1$ с разными значениями Po_m^* : 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – -1; 5 – -2

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2} - Po_m^*, \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1, \quad Fo_m > 0, \quad (1)$$

$$Z(\bar{x}, Fo_m)|_{Fo_m=0} = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0} \Big|_{\tau=0} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = [Z_p(Fo_m) - Z(\bar{x}, Fo_m)] \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial Z_{жс}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = K_m \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (5)$$

$$K_m = \frac{m \cdot S \cdot \delta}{V_{жс}} \cdot \frac{\rho_{бем}}{\rho_{жс}} = \frac{m \cdot G_{бем}}{G_{жс}}. \quad (6)$$

В данной системе уравнений обозначено: $Fo_m = k\tau / \delta^2$ – массообменный критерий Фурье; $Bi_m = \beta \cdot \delta / k$ – массообменный критерий Био; $Po_m^* = q_v \cdot \delta^2 / k \cdot C_0 \cdot \rho_{бем}$ – модифицированный критерий Померанцева; $\bar{x} = x / \delta$ – безразмерная координата; $Z(\bar{x}, Fo_m)$ – безразмерная концентрация переносимого компонента по толщине бетона; $Z_p(Fo_m)$ – безразмерная равновесная концентрация

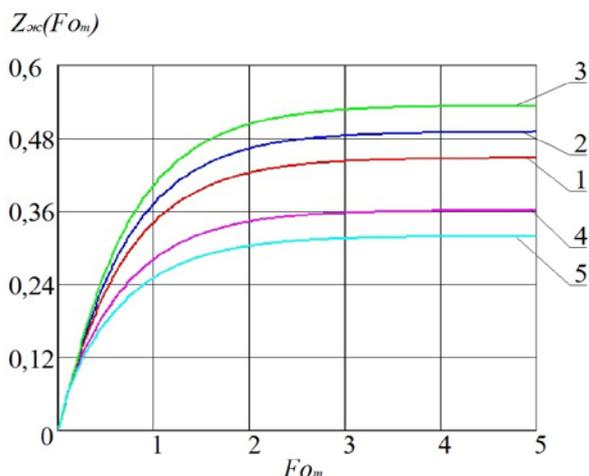


Рис. 2. Профиль безразмерных концентраций гидроксида кальция в жидкой фазе при $Bi_m=1$, $K_m=1$ с разными значениями Po_m^* : 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – -1; 5 – -2

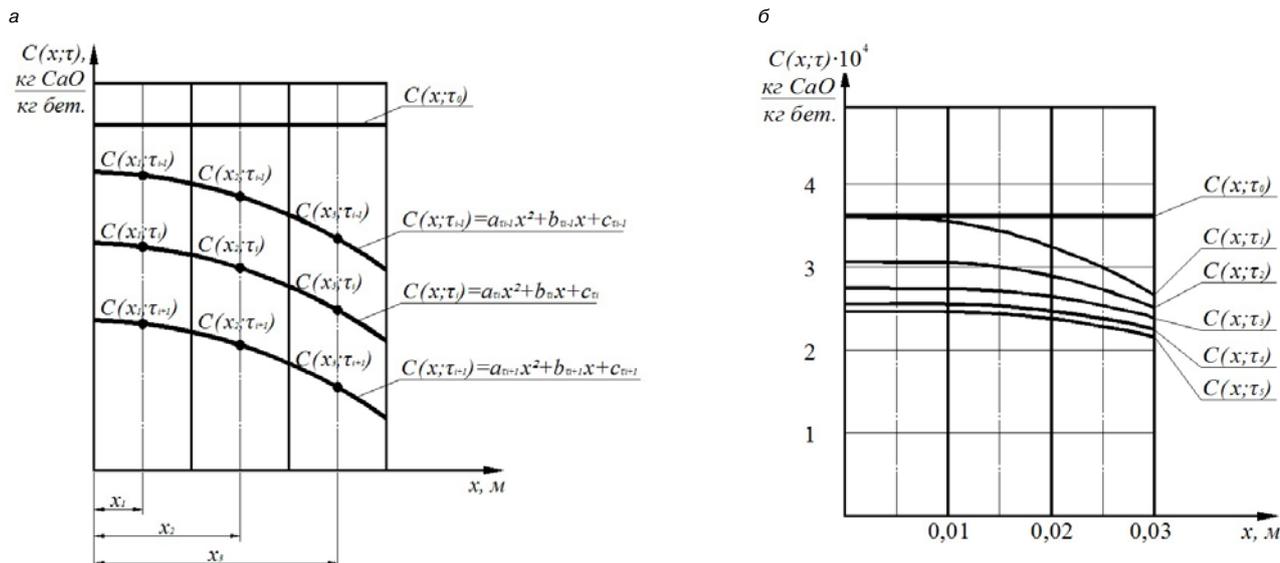


Рис. 3. а – схема для определения параметров уравнения параболы по экспериментальным данным, б – профили концентраций гидроксида кальция в разные временные интервалы, построенные по уравнению параболы

ция на поверхности твердого тела; $Z_{жс}(F_{O_m})$ – безразмерная концентрация переносимого компонента в жидкой фазе; $C(x, \tau)$ – концентрация «свободного СаО» в бетоне в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , кг СаО/кг бетона; $C_p(\tau)$ – равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг СаО/кг бетона; k – коэффициент массопроводности в твердой фазе, м²/с; β – коэффициент массоотдачи в жидкой среде, м/с; δ – толщина стенки конструкции, м; x – координата, м; τ – время, с; q_v – источник массы вещества в результате химической реакции или физических превращений, кг/(м³·с); $\rho_{бет}, \rho_{жс}$ – плотности бетона и жидкости, соответственно, кг/м³; m – константа Генри, кг жидко-

сти/кг бетона; K_m – коэффициент, учитывающий характеристики фаз; $G_{бет}$ – масса бетонного резервуара, кг; $G_{жс}$ – масса жидкости в резервуаре, кг.

Решение задачи выполнялось методом преобразования Лапласа, т.е. исходная система уравнений отображалась в область комплексных чисел, в которых было получено решение системы, а затем произведен перевод решения в область оригиналов [3].

Решив систему уравнений (1)–(6), получаем выражения, позволяющие рассчитывать динамику и кинетику процесса коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы в твердой фазе:

$$Z(\bar{x}, F_{O_m}) = \frac{Z_p(0)}{K_m + 1} - 2Bi_m \cdot Z_p(0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n \cdot \cos(\mu_n \bar{x})}{\psi'(Bi_m, K_m, \mu_n)} \cdot \exp(-\mu_n^2 F_{O_m}) + 2Po_m^* \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n \bar{x}) \cdot [(\mu_n^2 - Bi_m \cdot K_m) \cdot \sin \mu_n - \mu_n \cdot Bi_m \cdot (\cos \mu_n - 1)]}{\mu_n^2 \cdot \psi'(Bi_m, K_m, \mu_n)} \cdot \exp(-\mu_n^2 F_{O_m}), \quad (7)$$

$$Z_{жс}(F_{O_m}) = Z_{жс}(0) + 2Bi_m \cdot K_m \cdot Z_p(0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\psi'(Bi_m, K_m, \mu_n)} \cdot [\exp(-\mu_n^2 F_{O_m}) - 1] - 2Po_m^* \cdot K_m \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot [(\mu_n^2 - Bi_m \cdot K_m) \cdot \sin \mu_n - \mu_n \cdot Bi_m \cdot (\cos \mu_n - 1)]}{\mu_n^3 \cdot \psi'(Bi_m, K_m, \mu_n)} \cdot [\exp(-\mu_n^2 F_{O_m}) - 1]. \quad (8)$$

Некоторые результаты расчетов по полученным выражениям приведены на рисунках 1 и 2, которые показывают распределение безразмерных концентраций переносимого компонента при фиксированном значении массообменного числа Фурье и изменяющемся значении модифицированного критерия Померанцева. Отметим, что позиции 1, 2, 3 на этих рисунках соответствуют положительному значению модифицированного числа Померанцева (т.е. целевой компонент выделяется в объеме твердой фазы).

В то же время позиции 4, 5 характеризуют процесс, при котором происходит поглощение целевого компонента в объеме твердой фазы; этот случай не типичен для процессов коррозии первого вида, но наглядно иллюстрирует возможность разработанной математической модели.

Однако разработка математических моделей невозможна без четкого представления о механизме процес-

сов, экспериментальных данных, характеризующих влияние различных факторов на кинетику и динамику процессов и проверки достоверности методологии прогноза в натуральных условиях.

Изучение процесса массопереноса в процессах жидкостной коррозии цементных бетонов проводилось на образцах размером 3×3×3 см, которые состоят из плотно подогнанных друг к другу пластин размером 1×3×3 см. Боковые грани пластин, а также торцевая грань нижней пластины покрываются слоем битумно-полимерной мастики холодного отверждения. Изготовленные образцы в возрасте не менее 28 сут погружаются в жидкую среду объемом 1000 см³, откуда с периодичностью 14 сут отбираются пробы для титрования объемом 100 см³ [4].

Изучение состава образцов цементного камня после воздействия реакционной среды проводится методами дифференциально-термического анализа, инфракрас-

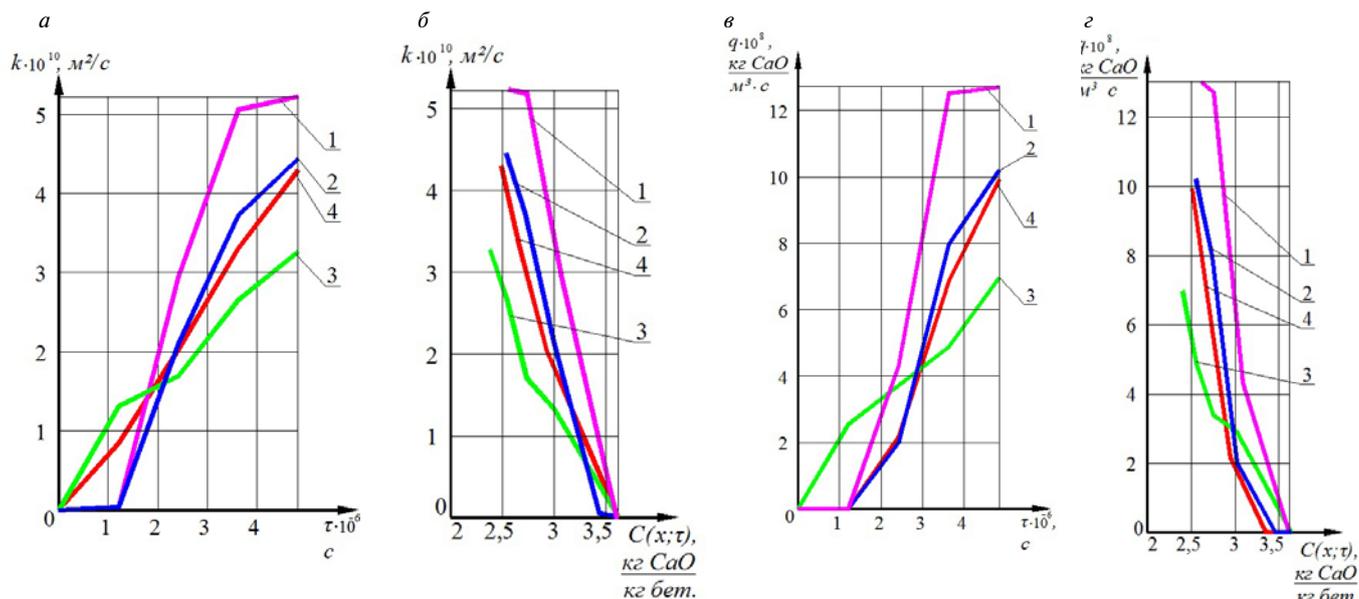


Рис. 4. а – график изменения коэффициента массопроводности, k от времени, τ ; б – график изменения коэффициента массопроводности, k от концентрации гидроксида кальция, C ; в – график изменения мощности источника массы, q , от времени, τ ; г – график изменения мощности источника массы, q , от концентрации гидроксида кальция, C (1 – в пластине № 1; 2 – в пластине № 2; 3 – в пластине № 3; 4 – по среднему значению концентрации)

ной Фурье-спектрометрии, комплексонометрии. По результатам проведения эксперимента получаем усредненные значения концентраций гидроксида кальция в каждой пластине в разные моменты времени. Однако знание только усредненных значений не всегда достаточно для проверки адекватности разработанной математической модели и для определения наиболее важных характеристик процесса массопереноса, таких как коэффициенты массопроводности и массоотдачи, мощность внутреннего источника массы.

В данной ситуации очень важно иметь хотя бы приближенный профиль концентраций переносимого компонента по толщине образца. Для построения такого профиля необходимо принять функцию распределения концентраций, которая удовлетворяла бы имеющимся экспериментальным данным (рис. 3).

В данном случае одним из вариантов решения будет принятие распределения концентраций переносимого компонента по координате в параболическом виде.

Запишем следующую зависимость концентрации $C(x, \tau_i)$ от координаты:

$$C(x, \tau_i) = a_{\tau_i} x^2 + b_{\tau_i} x + c_{\tau_i}. \quad (9)$$

Следовательно, теперь для построения профиля концентраций переносимого компонента в момент времени τ_i в зависимости от координаты x необходимо определить коэффициенты уравнения параболы a_{τ_i} , b_{τ_i} и c_{τ_i} .

Значение коэффициентов найдем из зависимости концентрации $C(x, \tau_i)$ от координаты, то есть по выражению (9), зная в момент времени τ_i значения концентраций переносимого компонента в точках x_1, x_2, x_3 как усредненные значения концентраций гидроксида кальция в каждой пластине. Математически это выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} C(x_1, \tau_i) = a_{\tau_i} x_1^2 + b_{\tau_i} x_1 + c_{\tau_i} \\ C(x_2, \tau_i) = a_{\tau_i} x_2^2 + b_{\tau_i} x_2 + c_{\tau_i} \\ C(x_3, \tau_i) = a_{\tau_i} x_3^2 + b_{\tau_i} x_3 + c_{\tau_i} \end{cases} \quad (10)$$

Система уравнений (10) при численно известных значениях $C(x_1, \tau_i)$, $C(x_2, \tau_i)$, $C(x_3, \tau_i)$ и x_1, x_2, x_3 представляет собой комплекс из трех линейных уравнений с тремя неизвестными (a_{τ_i} , b_{τ_i} , c_{τ_i}).

В ходе ряда не сложных математических преобразований получены следующие значения для определения коэффициентов функции параболы:

$$a_{\tau_i} = \frac{C(x_1, \tau_i) \cdot (x_3 - x_2) + C(x_2, \tau_i) \cdot (x_1 - x_3) + C(x_3, \tau_i) \cdot (x_2 - x_1)}{(x_3 - x_2)(x_1 - x_3)(x_1 - x_2)}, \quad (11)$$

$$b_{\tau_i} = \frac{C(x_1, \tau_i) - C(x_2, \tau_i) - a_{\tau_i} (x_1^2 - x_2^2)}{(x_1 - x_2)}, \quad (12)$$

$$c_{\tau_i} = C(x_1, \tau_i) - a_{\tau_i} x_1^2 - b_{\tau_i} x_1. \quad (13)$$

Рассчитанные по формулам (3–5) значения коэффициентов уравнения параболы позволяют использовать уравнение (9) для построения профиля концентраций переносимого компонента по толщине образца, полностью удовлетворяющего экспериментальным данным. Построенный по уравнению (9) профиль концентраций всегда можно сопоставить с теоретическим, являющимся результатом решения математической модели, для подтверждения ее адекватности.

По полученным экспериментальным данным возможно определение таких основных характеристик массопереноса, как коэффициент массопереноса и мощность внутреннего источника массы, опираясь на основное уравнение массопроводности:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(x, \tau) \cdot \frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \right] + \frac{q_v(x, \tau)}{\rho_{бет}}. \quad (14)$$

Учитывая, что слагаемое в левой части уравнения массопроводности представляет собой производную первого порядка концентрации переносимого компонента по времени, заменяем:

$$\frac{\partial C(x_j, \tau_i)}{\partial \tau} = \frac{C(x_j, \tau_i) - C(x_j, \tau_{i-1})}{\Delta \tau}. \quad (15)$$

Для замены первого слагаемого правой части исходного уравнения, приближенно принимая в момент времени τ_i распределение концентрации по координате в виде параболы, воспользуемся уравнением (1) и найдем производную второго порядка от функции:

$$\frac{\partial C(x_j, \tau_i)}{\partial x} = 2a_{\tau_i} x_j + b_{\tau_i}, \quad \frac{\partial^2 C(x_j, \tau_i)}{\partial x^2} = 2a_{\tau_i}. \quad (16)$$

Перепишем уравнение (6) с учетом выражений (7) и (8) для моментов времени τ_i и τ_{i+1} :

$$\frac{C(x_j, \tau_i) - C(x_j, \tau_{i-1})}{\Delta \tau} = 2k(x_j, \tau_{i,i+1}) \cdot a_{\tau_i} + \frac{q_v(x_j, \tau_{i,i+1})}{\rho_{\text{бет}}}, \quad (17)$$

$$\frac{C(x_j, \tau_{i+1}) - C(x_j, \tau_i)}{\Delta \tau} = 2k(x_j, \tau_{i,i+1}) \cdot a_{\tau_{i+1}} + \frac{q_v(x_j, \tau_{i,i+1})}{\rho_{\text{бет}}}, \quad (18)$$

где: $k(x_j, \tau_{i,i+1})$, $q_v(x_j, \tau_{i,i+1})$ – коэффициент массопереноса, м²/с, и мощность внутреннего источника массы, кг СаО/(м³ с) соответственно, в промежуток времени от τ_i до τ_{i+1} .

Решив систему уравнений (9), (10) относительно $k(x_j, \tau_{i,i+1})$ и $q_v(x_j, \tau_{i,i+1})$ получаем следующие выражения:

$$k(x_j, \tau_{i,i+1}) = \frac{2C(x_j, \tau_i) - C(x_j, \tau_{i-1}) - C(x_j, \tau_{i+1})}{2\Delta \tau (a_{\tau_i} - a_{\tau_{i+1}})}, \quad (19)$$

$$q_v(x_j, \tau_{i,i+1}) = \rho_{\text{бет}} \cdot \frac{a_{\tau_i} [C(x_j, \tau_{i+1}) - C(x_j, \tau_i)] + a_{\tau_{i+1}} [C(x_j, \tau_{i-1}) - C(x_j, \tau_i)]}{\Delta \tau (a_{\tau_i} - a_{\tau_{i+1}})}. \quad (20)$$

Некоторые результаты расчетов по формулам (19) и (20) представлены на рис. 4, анализ графиков которого, показывает увеличение значений коэффициента массопереноса k и мощности объемного источника массы, q_v , что полностью согласуется с физическими представлениями о процессах, протекающих при коррозионном массопереносе.

Внедрение данной методики в процесс проектирования строительных конструкций позволит экономически обоснованно назначать средства защиты от коррозии и устанавливать оптимальные сроки их применения, рационально, с требуемой периодичностью проводить ремонтно-восстановительные работы и в конечном итоге определять время разрушения конструкции.

Ключевые слова: массоперенос, коррозия, внутренний источник массы, профиль концентраций.

Список литературы

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 342 с.
2. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ИПК ПресСто, 2010. 364 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1970. 720 с.
4. Федосова Н.Л., Румянцева В.Е., Смелцов В.Л., Хрунов В.А. Костерин А.Я. Экспериментальные исследования процессов массопереноса при жидкостной коррозии цементных бетонов // Приволжский научный журнал. 2010. № 1. С. 39–45.



«Строительство:
анализ рынка и прогноз
до 2015 года»

13 сентября 2013 г.

Radisson Blu Brloruskaya Hotel,
Москва, Россия

Вступительная конференция
Восточно-Европейская Ассоциация Прогнозирования Строительства
Члены Ассоциации:



(Болгария, Россия, Румыния, Сербия, Словения, Турция, Украина)

Восточно-Европейская Ассоциация Прогнозирования Строительства (EECFA), основанная в 2012 г., является объединением 7 национальных исследовательских организаций, основанном для проведения исследований и прогнозирования развития строительного комплекса.

Проводимые членами EECFA исследования региональных рынков охватывают 18 сегментов строительства в соответствии с классификацией Eurostat. Исследования проводятся по уникальной методике с использованием единых подходов к обработке данных и построению прогнозной модели, что позволяет получить сопоставимые данные для разных стран.

Подробная информация о конференции, условия участия и регистрация на сайте
<http://eecfa.com>

Все вопросы по электронной почте gs-expert@eecfa.com
тел. +7 (499) 250-4874; +7 (916) 507-8377

удк 624.012

Н.И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, академик РААСН, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва); В. А. ЕРЫШЕВ, д-р техн. наук, Е. В. ЛАТЫШЕВА, канд. техн. наук, Тольяттинский государственный университет (Самарская обл.)

К построению диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений

Большинство строительных конструкций в процессе эксплуатации подвергаются повторным воздействиям, при которых временная нагрузка периодически снимается и прикладывается вновь через определенный промежуток времени. При многократно повторных нагружениях исследуется влияние различных факторов на выносливость бетона при базовом числе 2 млн циклов, что примерно соответствует среднему количеству нагружений некоторых промышленных и транспортных железобетонных конструкций за время их эксплуатации. Периодичность многократно повторных (малоцикловых) нагружений гораздо меньше (до 50–100 циклов), однако они оказывают существенное влияние на изменение деформативных и прочностных свойств бетона, а их повторяемость приводит к накоплению деформаций в циклах.

Рассматривается восходящий участок криволинейной диаграммы бетона на сжатие (σh), который реализуется при испытании стандартных образцов-призм при осевом нагружении с постоянными скоростями роста напряжений (рис. 1) до разрушения ($\tilde{\sigma}_b, \tilde{\varepsilon}_b$ – соответственно предельные напряжения и предельные относительные деформации в вершине диаграммы). В рамках модели кратковременного нагружения при центральном сжатии диаграмма деформирования бетона представляется в виде:

$$\tilde{\varepsilon}_b = \tilde{\sigma}_b / (E_b \tilde{\nu}_b), \quad (1)$$

где $\tilde{\varepsilon}_b, \tilde{\sigma}_b, E_b$ – соответственно относительные деформации, напряжения, начальный модуль упругости бетона; $\tilde{\nu}_b$ – коэффициент изменения секущего модуля ($E_b \tilde{\nu}_b$ – секущий модуль), методика вычисления которого представлена в [1]. Здесь и далее вводятся следующие обозначения: параметры с волной (\sim) соответствуют их значениям в вершине диаграммы на каждом цикле $\tilde{\varepsilon}_b, \tilde{\sigma}_b, \tilde{\nu}_b$; параметры со стрелками: (\leftarrow) – при разгрузке, (\rightarrow) – при повторных нагружениях.

Выделим две группы кратковременных циклов одноосного сжатия, состоящие из ветви нагрузки до постоянного в каждом цикле уровня напряжений: уровня цикла ($\tilde{\sigma}_{b1} \leq 0,85\tilde{\sigma}_b$ и $\tilde{\sigma}_{b2} > 0,85\tilde{\sigma}_b$ – соответственно) и ветви полной разгрузки. В работе [2] установлено, что если $\sigma_b = \tilde{\sigma}_{b1} \leq 0,85\tilde{\sigma}_b$, призмы при многократно повторном нагружении не разрушались, а когда этот уровень превышался $\sigma_b = \tilde{\sigma}_{b2} > 0,85\tilde{\sigma}_b$, призмы разрушались при конечном числе циклов 7–32. Отметим следующие свойства циклических диаграмм при многократно повторных нагружениях, которые наблюдаются в экспериментальных исследованиях [3–5]: остаточные необратимые деформации при разгрузке и их увеличение при повторных нагружениях (ε_{b1}^0 – при напряжениях $\tilde{\sigma}_{b1}$ и ε_{b2}^0 – при напряжениях $\tilde{\sigma}_{b2}$); затухающий рост остаточных деформаций при полной разгрузке и деформаций в вершине циклов, например при $\tilde{\sigma}_{b1}$, – на низких и средних уровнях напряжений (при некотором количестве циклов $i = 1, 2, 3, \dots N_c$ наступает стабилизация роста деформаций, ветви нагрузки и разгрузки образуют

замкнутую область с общими точками «н» и «с» в вершинах диаграмм); накопление остаточных деформаций и деформаций в вершинах циклов и разрушение бетона при ограниченном количестве циклов $i = 1, 2, 3, \dots N_f$ – на высоких уровнях нагружения, например при $\tilde{\sigma}_{b2}$; ветви разгрузки имеют одностороннюю кривизну в сторону оси деформаций, напротив, кривизна ветвей нагрузки с ростом числа циклов нагружения изменяется от выпуклости к оси напряжений на первых циклах до выпуклости к оси деформаций.

В [1, 3–5] предлагалось описывать кривую ветви разгрузки и учитывать нелинейность путем подбора специальных функций, что приводило к усложнению расчетных зависимостей. Вместе с тем рассматривался и так называемый «лучевой метод», в котором ветви разгрузки и повторного нагружения представлялись отрезками прямых линий (секущими), соединяющими конечные точки в вершинах диаграмм и при полном снятии нагрузки в каждом цикле. Для каждого отрезка записываются связи между конечными приращениями напряжений $\Delta\sigma_b$ и деформаций $\Delta\varepsilon_b$, отсчитываемых от начала отрезка. Установлено, что при уменьшении деформаций по линейному закону их значения отличаются от фактических в большей степени при разгрузке с высоких уровней напряжений, однако максимальное отклонение от опытных данных в середине пути разгрузки не превышает 6–7%, а с учетом трансформации по вогнутости эта разница на ветвях повторного нагружения еще меньше.

В развитии лучевого метода выделим первый цикл циклического нагружения (рис. 2, а), который включает нагрузку по криволинейному участку $00_{\Delta 1}$ исходной диаграммы « $\varepsilon_b - \sigma_b$ » и полную разгрузку по линейному закону. На отрезке разгрузки $0_{\Delta 1} - 0_{\Delta 1}^0$ (ε_{b1}^0 – остаточные де-

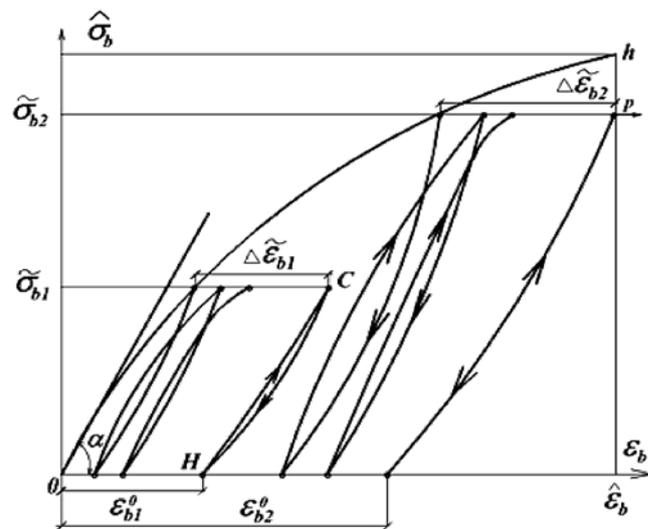


Рис. 1. Диаграммы деформирования бетона при циклических нагружениях с постоянными уровнями напряжения

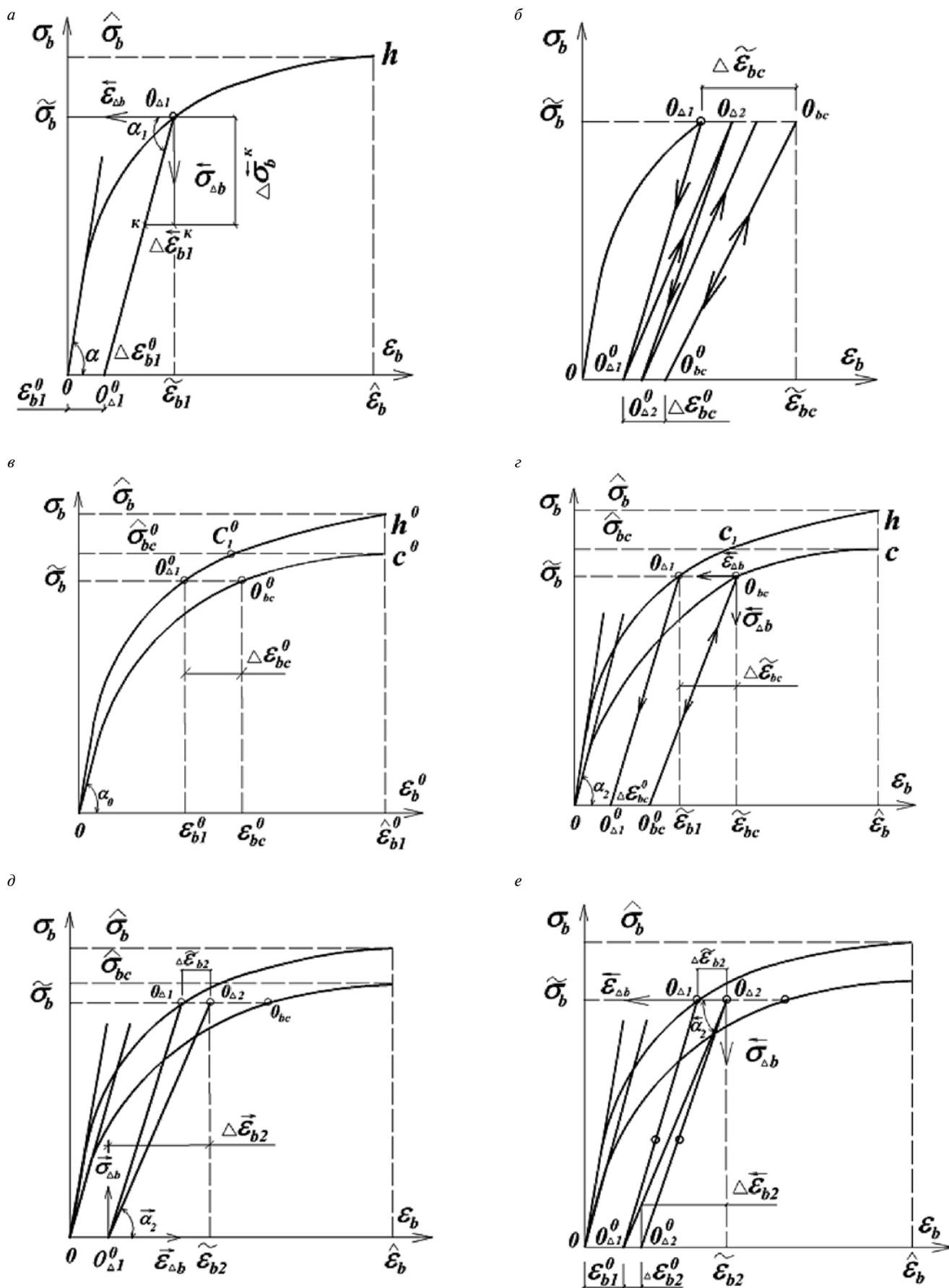


Рис. 2. К методике описания диаграмм циклического нагружения бетона напряжениями сжатия

формации при полной разгрузке) вводим новую систему координат. Начало координат закрепляем на исходной диаграмме в точке $O_{\Delta 1}$ с координатами $\tilde{\sigma}_b$ и $\tilde{\varepsilon}_{b1}$, соответствующими началу отрезка разгрузки, а направление осей $\tilde{\sigma}_{\Delta b}$ и $\tilde{\varepsilon}_{\Delta b}$ заменяем на противоположные осям σ_b и ε_b . Приращению напряжений $\Delta \tilde{\sigma}_b^k$ в произвольной точке k отрезка разгрузки $O_{\Delta 1} - k$ соответствует приращение деформаций $\Delta \tilde{\varepsilon}_{b1}^k$, а при $\Delta \tilde{\sigma}_b = \tilde{\sigma}_b$ — соответственно $\Delta \varepsilon_{b1}^0$ — приращение деформаций в новой системе координат при полном снятии напряжений сжатия. Величина остаточных деформаций ε_{b1}^0 при полном снятии нагрузки определяется из равенства:

$$\varepsilon_{b1}^0 = \tilde{\varepsilon}_{b1} - \Delta \varepsilon_{b1}^0 \quad (2)$$

Соотношение между приращениями напряжений $\Delta \tilde{\sigma}_{b1}$ и $\Delta \tilde{\varepsilon}_{b1}$ деформаций в новой системе координат записывается в виде (1) с заменой секущего модуля $E_b \tilde{\nu}_b$ на секущий модуль \tilde{E}_{b1} ветви разгрузки на первом цикле, который определяет угол наклона α_1 отрезка разгрузки к оси деформаций:

$$\Delta \tilde{\varepsilon}_{b1} = \Delta \tilde{\sigma}_{b1} / \tilde{E}_{b1} \quad (3)$$

Устанавливается связь между этими секущими модулями в виде:

$$\tilde{E}_{b1} = \gamma E_b \quad (4)$$

где на основании опытных данных принимается $\gamma = \sqrt{\tilde{\nu}_b} / 0,95$.

После разгрузки первого цикла следуют циклы с отрезками повторных нагружений и разгрузок: $0_{\Delta 1}^0 - 0_{\Delta 2}^0$ — при нагрузке, $0_{\Delta 2}^0 - 0_{\Delta 2}^0$ — при разгрузке на втором цикле и т. д. (рис. 2, б). При стабилизации роста деформаций линии повторных нагружений и разгрузок совмещаются и соответствуют отрезкам $0_{bc}^0 - 0_{bc}^0$ и $0_{bc}^0 - 0_{bc}^0$. После разгрузки на первом цикле бетон деформируется с иными механическими свойствами, чем в исходном состоянии. Накопление (увеличение) остаточных деформаций и деформаций в вершинах циклов происходит в основном за счет развития микротрещин, образовавшихся после первого цикла нагружения. Принимаем новое (после полной разгрузки первого цикла) состояние бетона как начальное для последующих циклических нагружений и представляем его диаграммой состояния бетона, которая строится в координатах « $\varepsilon_{b1}^0 - \tilde{\sigma}_b$ », где величины остаточных деформаций ε_{b1}^0 вычисляются по формуле (2). Диаграмма представляет восходящую ветвь кривой $O h^0$ с вершиной в точке h^0 (рис. 2, в), которая имеет координаты $\tilde{\sigma}_b$ и $\tilde{\varepsilon}_{b1}^0$.

Значения остаточных деформаций ε_{b1}^0 после разгрузки с вершины исходной диаграммы определяются при напряжениях $\tilde{\sigma}_b$ по формуле (2) с учетом формул (3) и (4), где в формуле (2) принимается $\tilde{\varepsilon}_{b1} = \tilde{\varepsilon}_b$; приращения деформаций $\Delta \varepsilon_{b1}^0$ при полной разгрузке относительно новой системы координат определяются по формуле (3) при $\Delta \tilde{\sigma}_{b1} = \tilde{\sigma}_b$ и \tilde{E}_{b1} , вычисленного по формуле (4), при $\tilde{\nu}_b = \tilde{\nu}_b = \tilde{\sigma}_b / (E_b \tilde{\varepsilon}_b)$.

При циклических нагружениях на высоких уровнях напряжений бетон может разрушаться за ограниченное количество циклов N_f . С уменьшением уровня напряжений количество циклов до разрушения увеличивается, рост деформаций в вершинах циклов и остаточных деформаций замедляется и затем полностью прекращается. Критерием установления граничного (максимального) уровня напряжений $\tilde{\sigma}_{bc}$ при многократном повторных нагружениях считаем стабилизацию деформаций. На основании опытных данных за предел стабильности принимаем $\tilde{\sigma}_{bc} = 0,85 \tilde{\sigma}_b$; при напряжениях в циклах $\tilde{\sigma}_b \leq \tilde{\sigma}_{bc}$ наступает стабилизация деформаций; при $\tilde{\sigma}_b > \tilde{\sigma}_{bc}$ бетон разрушается при достижении деформаций в вершинах циклов их предельных значений $\tilde{\varepsilon}_b$. Условие стабилизации относительных деформаций записывается в виде:

$$\Delta \varepsilon_{b,i} = \tilde{\varepsilon}_{b,i} - \varepsilon_{b,i-1} = 0 \text{ или } \Delta \varepsilon_{b,i} = \tilde{\varepsilon}_{b,i} - \tilde{\varepsilon}_{b,i-1} \leq \delta; \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon_{b,i}^0 = \varepsilon_{b,i}^0 - \varepsilon_{b,i-1}^0 = 0 \text{ или } \Delta \varepsilon_{b,i}^0 = \tilde{\varepsilon}_{b,i}^0 - \varepsilon_{b,i-1}^0 \leq \delta,$$

где $\Delta \varepsilon_{b,i}$ и $\Delta \varepsilon_{b,i}^0$ — соответственно приращения относительных деформаций в вершине цикла и остаточных деформаций между последующим и предыдущим циклами ($i = 2, 3, 4, \dots$ — номер цикла); δ — заданная допустимая величина невязки. Условие разрушения бетона записывается в виде:

$$\tilde{\varepsilon}_{b,i} = \tilde{\varepsilon}_{b,1} + \sum_{r=2}^{N_f} \Delta \varepsilon_{b,i} = \tilde{\varepsilon}_b \quad (6)$$

где $\tilde{\varepsilon}_{b,1}$ — относительные деформации бетона на исходной диаграмме; второе слагаемое в формуле есть сумма приращений деформаций при циклическом нагружении до разрушения.

Для ограничения накопления деформаций в вершинах циклов при уровнях напряжений $\tilde{\sigma}_b \leq \tilde{\sigma}_{bc}$ вводится дополнительная (стабилизационная) диаграмма — кривая ОС с координатами вершины $\tilde{\sigma}_{bc}$ и $\tilde{\varepsilon}_b$ (рис. 2, з). Аналитическая запись стабилизационной диаграммы бетона представляется в виде (1), где значение начального модуля упругости E_b заменяется на $E_{bc} = 0,9 E_b$. Модуль упругости (угол наклона касательных из начала координат) для стабилизационной диаграммы уменьшается на 10% по отношению к модулю деформаций исходных диаграмм, тем самым учитывается накопление деформаций на низких уровнях напряжений, при которых значения E_b определяются. Изменяются обозначения коэффициента $\tilde{\nu}_b$ на $\tilde{\nu}_{bc}$, значения которого определяются по методике [1] вычисления коэффициента упругости ν_b , однако вводятся новые начальные параметры: E_{bc} и координаты вершины стабилизационной диаграммы $\tilde{\sigma}_{bc}$ и $\tilde{\varepsilon}_b$. Отрезки между исходной и стабилизационной диаграммой для каждого уровня напряжений $\tilde{\sigma}_b$ определяют величину полного приращения деформаций $\Delta \tilde{\varepsilon}_{bc}$ (отрезок $O_{\Delta 1} - O_{bc}$) в вершине циклов до стабилизации деформаций (для предела стабильности $\tilde{\sigma}_{bc}$ отрезок $C_1 - C$ и $\tilde{\varepsilon}_{bc} = \tilde{\varepsilon}_b$), которая вычисляется по формуле:

$$\Delta \tilde{\varepsilon}_{bc} = \tilde{\varepsilon}_{bc} - \tilde{\varepsilon}_{b1} = \frac{\tilde{\sigma}_b}{E_b} \left(\frac{1}{0,9 \tilde{\nu}_{bc}} - \frac{1}{\tilde{\nu}_b} \right) \quad (7)$$

В области разрушающих напряжений при $\tilde{\sigma}_b > \tilde{\sigma}_{bc}$ полные приращения деформаций до разрушения $\Delta \varepsilon_{bf}$ определяются как разность между предельными значениями деформаций и их величиной на исходной диаграмме:

$$\Delta \varepsilon_{bf} = \tilde{\varepsilon}_b - \frac{\tilde{\sigma}_b}{\tilde{\nu}_b E_b} \quad (8)$$

Для заданного уровня напряжений вычисляются количество циклов до стабилизации N_c и до разрушения N_f по формулам:

$$N_c = \hat{N} \left(\frac{1 - \eta_c}{1 - \eta} \right)^2 \text{ при } 0 < \eta \leq \eta_c;$$

$$N_f = \hat{N} \sqrt{1 - \eta} \text{ при } \eta > \eta_c, \quad (9)$$

где $\eta = \tilde{\sigma}_b / \tilde{\sigma}_{bc}$ — относительный уровень напряжений ($\eta_c = \tilde{\sigma}_{bc} / \tilde{\sigma}_b = 0,85$); \hat{N} — максимальное количество циклов до стабилизации при напряжениях $\tilde{\sigma}_b = \tilde{\sigma}_{bc}$ (по опытным данным принимается $\hat{N} = 50$ циклов).

Вернемся к описанию диаграмм циклического нагружения лучевым методом. В конечной точке O_{bc} на стабилизационной диаграмме разгрузка и нагрузка следуют по одному линейному закону, их секущие модулю равны $\tilde{E}_{bi} = \tilde{E}_{bi}$ ($i = N_c$). Остаточные деформации при разгрузке после стабилизации в системе координат $\tilde{\varepsilon}_{\Delta b} O_{bc}$ $\tilde{\sigma}_{\Delta b}$ определяются через приращения напряжений $\Delta \tilde{\sigma}_b$ и деформаций $\Delta \tilde{\varepsilon}_{bc}$.

$$\Delta \tilde{\varepsilon}_{bc} = \tilde{\varepsilon}_{bc} - \Delta \tilde{\sigma}_b / \tilde{E}_{bi}, \quad (10)$$

где значение секущего модуля \tilde{E}_{bi} ($i=N$) определяется по формуле (4) с заменой $\tilde{\nu}_b$ на $\tilde{\nu}_{bc}$.

При полном снятии напряжений сжатия в формуле (10): $\Delta\tilde{\sigma}_b = \tilde{\sigma}_b$; $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bc} = \Delta\varepsilon_{bc}^0$ (отрезок $0_{\Delta 1}^0 - 0_{bc}^0$) – величина полного приращения остаточных деформаций до стабилизации (рис. 2, з) относительно их значений после первой разгрузки. По этим приращениям, вычисленным при соответствующих уровнях напряжений, можно построить стабилизационную диаграмму для остаточных деформаций (рис. 2, в, ветвь $0C^0$), при этом точки $0_{\Delta 1}^0 - 0_{bc}^0$ оси ε_b переносятся на свои диаграммы – при уровне напряжений $\tilde{\sigma}_b$. В отдельных случаях возникает необходимость знать деформации на i -м цикле нагрузка–разгрузка. Рассмотрим методику их вычисления на примере второго цикла.

При нагружении на втором цикле приращению напряжений $\Delta\tilde{\sigma}_b = \tilde{\sigma}_b$ в системе координат $\tilde{\varepsilon}_{\Delta b}$, $0_{\Delta 1}^0$, $\tilde{\sigma}_{\Delta b}$, закрепленной в начале отрезка нагружения (рис. 2, д), соответствует приращение деформаций $\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2}$. В вершине диаграммы деформации исходной диаграммы $\tilde{\varepsilon}_{b1}$ получают приращение $\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2}$ (отрезок $0_{\Delta 1}^0 - 0_{\Delta 2}^0$). Откуда следует:

$$\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2} = \tilde{\varepsilon}_{b2} - \varepsilon_{b1}^0 = \tilde{\varepsilon}_{b1} + \Delta\tilde{\varepsilon}_{b2} - \varepsilon_{b1}^0. \quad (11)$$

Аналогично определяются приращения деформаций $\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2}$ (отрезок $0_{\Delta 2}^0 - \tilde{\varepsilon}_{b2}$) при разгрузке в системе координат $\tilde{\varepsilon}_{\Delta b}$, $0_{\Delta 2}^0$, $\tilde{\sigma}_{\Delta b}$, закрепленной в начале отрезка разгрузки второго цикла (рис. 2, е).

$$\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2} = \tilde{\varepsilon}_{b2} - (\varepsilon_{b1}^0 + \Delta\varepsilon_{b2}^0) = \tilde{\varepsilon}_{b1} + \Delta\tilde{\varepsilon}_{b2} - (\varepsilon_{b1}^0 + \Delta\varepsilon_{b2}^0). \quad (12)$$

В уравнениях (11) и (12) неизвестными являются значения приращений деформаций $\Delta\tilde{\varepsilon}_{b2}$ (отрезок $0_{\Delta 1}^0 - 0_{\Delta 2}^0$) и $\Delta\varepsilon_{b2}^0$ (отрезок $0_{\Delta 1}^0 - 0_{\Delta 2}^0$) в конечных точках отрезков нагрузки и разгрузки. При известных из (8) и (11) значениях общих приращений деформаций $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bc}$ и $\Delta\varepsilon_{bc}^0$, а также числа циклов N_c из (9) до стабилизации, закон изменения приращений деформаций $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$ и $\Delta\varepsilon_{bi}^0$ ($i=2,3,\dots,N$) можно представить формулами:

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi} &= \Delta\tilde{\varepsilon}_{bc} \cdot \beta; \\ \Delta\varepsilon_{bi}^0 &= \Delta\varepsilon_{bc}^0 \cdot \beta^0, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\beta = \beta^0 = 1 - \frac{0,2}{\eta^2} \ln \left(\frac{N_c}{N} \right)$, здесь $N=2, 3 \dots N_c$ – номер цикла.

Вычисляя по формулам (13) последовательно в крайних точках линий семейства значения приращений деформаций ($\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$ – при нагрузке и $\Delta\varepsilon_{bi}^0$ – при разгрузке), можно в исходной системе координат « $\varepsilon_b - \sigma_b$ » вычислить значения полных деформаций в вершине диаграммы $\tilde{\varepsilon}_{bi}$ и остаточных деформаций ε_{bi}^0 по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_{bi} &= \tilde{\varepsilon}_{b1} + \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}; \\ \varepsilon_{bi}^0 &= \varepsilon_{b1}^0 + \Delta\varepsilon_{bi}^0. \end{aligned} \quad (14)$$

Приращения деформаций в промежуточных точках отрезков нагрузки $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}^k$ и разгрузки $\Delta\varepsilon_{bi}^{k0}$ определяются в новых системах координат, закрепленных в конечных точках отрезков i -го цикла, для заданного в точке k значения приращения напряжений:

$$\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}^k = \Delta\tilde{\sigma}_{bi}^k / \tilde{E}_{bi}; \quad \Delta\varepsilon_{bi}^{k0} = \Delta\tilde{\sigma}_{bi}^k / \tilde{E}_{bi}, \quad (15)$$

где $\tilde{E}_{bi} = \tilde{\sigma}_b / \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$; $\tilde{E}_{bi} = \tilde{\sigma}_b / \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$.

Выражения для значений полных приращений деформаций в i -м цикле в новых системах координат $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$ – при нагрузке, $\Delta\tilde{\varepsilon}_{bi}$ – при разгрузке по аналогии с формулами (12) и (13) записываются в общем виде:

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi} &= \tilde{\varepsilon}_{bi} - \varepsilon_{b,i-1}^0; \\ \Delta\tilde{\varepsilon}_{bi} &= \tilde{\varepsilon}_{bi} - \varepsilon_{bi}^0, \end{aligned} \quad (16)$$

где параметры $\tilde{\varepsilon}_{bi}$, ε_{bi}^0 и $\varepsilon_{b,i-1}^0$ вычисляются по формулам (13, 14).

Выводы. Ветви разгрузок и повторных нагружений при циклических нагружениях бетона напряжениями сжатия рекомендуется представлять отрезками прямых

линий, соединяющих точки начала и окончания линейного изменения напряжений (деформаций).

При многократно повторных нагружениях рекомендуется в расчетную методику описания диаграмм вводить максимальный уровень напряжений $\hat{\sigma}_{bc} = 0,85\tilde{\sigma}_b$ (предел стабильности): при напряжениях в циклах $\tilde{\sigma}_b \leq \hat{\sigma}_{bc}$ наступает стабилизация деформаций; при $\tilde{\sigma}_b > \hat{\sigma}_{bc}$ бетон разрушается при достижении деформаций в вершинах циклов их предельных значений $\tilde{\varepsilon}_b$.

Для ограничения накопления деформаций в вершинах циклов и остаточных деформаций строятся исходная диаграмма статического нагружения и стабилизационные диаграммы, методика описания которых принимается в редакции [1].

Ключевые слова: циклические нагружения, напряжения, стабилизационная диаграмма, предел стабильности.

Список литературы

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 412 с.
2. Бабич Е.М., Погорелая А.П., Залесов А.С. Работа элементов на поперечную силу при многократно повторных нагружениях // Бетон и железобетон. 1981. № 6. С. 31–33.
3. Ерышев В.А., Тошин Д.С. Диаграмма деформирования бетона при многократных повторных нагружениях // Известия вузов. Строительство. 2005. № 10. С. 109–114.
4. Ерышев В.А., Латышев Д.И., Бондаренко А.С. К методике описания диаграммы малоциклового нагружения // Известия ОрелГТУ. 2009. № 1. С. 22–28.
5. Маилян Л.Р., Беккиев М.Ю., Силь Г.Р. Работа бетона и арматуры при многократно повторных нагружениях. Нальчик: Кабардино-Балкарский агрометеорологический институт, 1984. 55 с.

21–24 января 2014

Красноярск

XXII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СТРОИТЕЛЬСТВО

АРХИТЕКТУРА

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ, ОТДЕЛКИ

И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

Организатор – ВК «Красноярская ярмарка»	Официальная поддержка:
--	---------------------------

г. Красноярск, ул. Авиаторов,
19, МВДЦ «Сибирь»
 тел.: (391) 22-88-405,
 22-88-611 (круглосуточно)
 build@krasfair.ru
 www.krasfair.ru

С.Н. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, Научно-исследовательский институт строительной / физики РААСН (Москва); А.Н. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, А.В. ЕВСЕЕВА, инженер, Петрозаводский государственный университет

Опыт построения диаграммы-изохроны для высокопрочного модифицированного бетона

Экспериментальные исследования по изучению свойств высокопрочных бетонов, модифицированных органоминеральным модификатором, проведенные Карпенко Н.И., Каприеловым С.С., Безгодовым И.М., Кузнецовым Е.Н., Андриановым А.А., Ромкиным Д.С. и другими, подтвердили установленные ранее закономерности нелинейной ползучести: инвариантность быстро протекающих деформаций относительно возраста бетона в момент нагружения и противоречие принципу наложения воздействий. Эти обстоятельства создают существенные трудности при решении задач ползучести на базе общих нелинейных теорий, в частности двухкомпонентной модели [1]. Как показано в работе [2], указанных трудностей при решении инженерных задач можно избежать, если использовать так называемый диаграммный подход с представлением диаграмм формирования бетона в виде диаграмм-изохрон.

В качестве диаграммы-изохроны рассматривается кривая, все точки которой достигаются за равный промежуток времени – время нагружения конструкции. В общем случае при построении диаграмм-изохрон различают три условных режима нагружения: при постоянных напряжениях, при линейном росте напряжений и линейном росте деформаций. Как показали проведенные ранее исследования, при непродолжительном нагружении в пределах одних суток диаграммы-изохроны практически совпадают с диаграммами кратковременного нагружения, в дальнейшем с увеличением времени нагружения зависимость диаграммы-изохроны от режима изменения становится более существенной, однако после примерно ста суток нагружения эта разница практически исчезает. Учитывая практическую направленность задачи, предлагаемые в настоящей работе зависимости предполагают постоянство действующих напряжений в течение всего времени нагружения, при этом допускается возможность работы бетона на нисходящей ветви диаграммы.

Связь между напряжениями и относительными деформациями бетона для диаграмм-изохрон записывается в обобщенном виде, предложенном Н.И. Карпенко [3]:

$$\varepsilon_b(t, \tau) = \frac{\sigma_b(\tau)}{E_b(t, \tau) \nu_b(t - \tau)}, \quad (1)$$

где $(t - \tau)$ – время нагружения.

Коэффициент секущего модуля

$$\nu_b(t - \tau) = \bar{\nu}_b(t, \tau) \pm [\nu_0 - \bar{\nu}_b(t, \tau)] \sqrt{1 - \omega_1(t, \tau)\eta - \omega_2(t, \tau)\eta^2}, \quad (2)$$

где $\eta = \sigma_b(\tau) / R_b(t, \tau)$ – уровень напряжений.

Знак плюс соответствует восходящей, а минус – нисходящей ветви диаграммы. Кроме этого, требуется соблюдение равенства:

$$\bar{\omega}_1(t, \tau) + \bar{\omega}_2(t, \tau) = 1.$$

Коэффициент секущего модуля в вершине диаграммы-изохроны:

$$\nu_b(t, \tau) = R_b(t, \tau) / E_b(t, \tau) \varepsilon_{b0}(t, \tau), \quad (3)$$

где $\varepsilon_{b0}(t, \tau)$ – абсцисса вершины.

Ордината вершины диаграммы-изохроны определяется по эмпирической формуле, учитывающей экспериментально установленное снижение прочности бетона в условиях длительного нагружения:

$$R_b(t, \tau) = [k + (1 - k)\varphi(t - \tau)]R_b(\tau), \quad (4)$$

где k – коэффициент, отражающий экспериментально установленные пределы снижения прочности бетона при длительном нагружении и изменяющийся от 0,9 до 0,75. При практическом проектировании рекомендуется принимать $k = 0,85$;

$\varphi(t - \tau)$ – эмпирическая функция.

Анализ экспериментальных данных показал, что в диапазоне изменения времени нагружения от 1 мин. и практически до бесконечности функция может быть представлена простой зависимостью, линейной относительно логарифма времени нагружения:

$$\varphi(t - \tau) = 1,46 - 0,122 \ln(t - \tau), \quad (5)$$

где $(t - \tau)$ – время нагружения в минутах.

На функцию (5) накладывается ограничение $\varphi(t - \tau) \leq 1$.

В условиях длительного нагружения полные деформации бетона складываются из двух составляющих – линейно-упругой и нелинейной. Линейно-упругая незначительно снижается в соответствии со снижением $R_b(t, \tau)$, а нелинейная нарастает в результате ползучести бетона. Приращение нелинейной составляющей существенно превосходит соответствующее снижение линейно-упругой во всех практически важных для расчета случаях (нарушение этого соотношения возможно только при очень высоких скоростях нагружения). Такой характер деформирования позволяет предложить для описания роста абсциссы вершины диаграммы-изохроны простую зависимость, аналогичную (4):

$$\varepsilon_{b0}(t, \tau) = \varepsilon_{b0}(\tau)\psi(t - \tau), \quad (6)$$

где $\psi(t - \tau) = 0,76 + 0,059 \ln(t - \tau)$. (7)

Параметры подкоренного выражения формулы (2), определяющие форму ветвей диаграммы-изохроны,

Параметры	\bar{R} , МПа	\bar{R}_b , МПа	B^* , МПа	R_{bn} , МПа	E_b , МПа	$\varepsilon_{bo} \cdot 10^3$
По данным [4]	120	90	94		46670	2,54·10 ⁻³
По СП 63.13330.2012	–	–	94	70	42750	2,6·10 ⁻³

* – расчетное значение при коэффициенте вариации 0,135.

также выражаются через функции, линейные относительно логарифма времени нагружения:

для восходящей ветви

$$\varpi_1(t, \tau) = \left[1,25 - 0,1 \frac{R_b(t, \tau)}{R_0} \right] [0,67 + 0,081 \ln(t - \tau)] \leq 2; \quad (8)$$

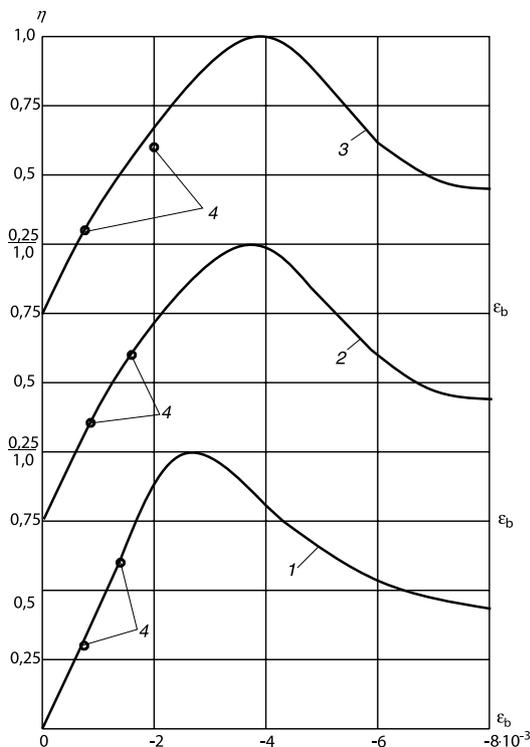
для нисходящей ветви

$$\varpi_1(t, \tau) = \left[0,35 + 0,22 \frac{R_b(t, \tau)}{R_0} \right] [1,2 + 0,048 \ln(t - \tau)] \leq 2, \quad (9)$$

где $R_0 = 9,8$ МПа.

Зависимости (1–9) использованы для построения диаграмм-изохрон высокопрочного модифицированного бетона, реологические свойства которого были экспериментально исследованы в лаборатории проблем прочности и качества в строительстве НИИСФ РААСН. Для изготовления образцов-призм 100×100×400 мм использовалась бетонная смесь с содержанием цемента 497 кг/м³ и водоцементным отношением 0,128. Содержание песка и щебня двух фракций 707 и 1000 кг/м³ соответственно. Бетонная смесь модифицировалась введением добавки МБ 10–30С в количестве 109 кг/м³ по методике С.С. Каприелова. Гидроизолированные образцы-близнецы из бетона одного замеса в возрасте 28 сут после определения призмной прочности были нагружены длительной нагрузкой при двух уровнях напряжений 0,3 и 0,6 от призмной прочности. Прочностные и деформативные характеристики бетона приведены в таблице.

На рисунке показаны расчетные, по зависимостям (1–9), диаграммы-изохроны для трех режимов нагружения: 1 – при $t - \tau = 60$ мин, 2 – при $t - \tau = 100$ сут и 3 – при $t - \tau = 360$ сут. Опытные точки 4 получены путем суммирования линейно-упругих деформаций и деформаций



Расчетные диаграммы-изохроны

ползучести по данным [4]. Расчетные диаграммы-изохроны также могут быть построены по зависимостям (1–9) с использованием расчетных данных СП 63.13330.2012, приведенных в таблице. В координатах $\eta - \varepsilon_b$ эти кривые практически совпадают.

Соотношение теоретических и опытных данных показывает, что расчетные диаграммы-изохроны с достаточной для практических расчетов точностью описывают нелинейный характер деформирования бетона при длительном действии нагрузки и могут быть рекомендованы в качестве расчетного аппарата при проектировании железобетонных конструкций.

Список литературы

1. Галустов К.З. Развитие нелинейной теории ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций. М.: Издательство физико-математической литературы, 2006. 248 с.
2. Петров А.Н. Нелинейная модель ползучести железобетона и ее приложение к расчету плоскосопряженных элементов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 252 с.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
4. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Ромкин Д.С., Безгоднов И.М., Андрианов А.А. Результаты исследования физико-механических и реологических характеристик высокопрочного бетона. Известия ОрелГТУ, выпуск № 1/21 (553). Орел. 2009. С. 39–54.



Ю.З. Балакшин, В.А. Терехов

Технология производства стеновых цементнопесчаных изделий

Справочное пособие для производственного обучения

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012. 276 с.

Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значительный объем знаний и технических документов производстве стеновых материалов не только из опыта работы промышленности в СССР и России, но и многих предприятий Европы, Америки и Азии, в том числе и по производству широкой номенклатуры цементнопесчаных изделий методом вибропрессования.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементнопесчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементнопесчаных изделий: песок, щебень, вяжущие и химические добавки. Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементнопесчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования.

Книга предназначена для организации производственнотехнического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

По вопросам приобретения книги обращаться по тел./ факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru

Н.И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва); Б.С. СОКОЛОВ, д-р техн. наук, О.В. РАДАЙКИН, канд. техн. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Совершенствование методики расчета изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения по образованию нормальных трещин

В отечественных и зарубежных нормах по проектированию железобетонных конструкций допускается работа изгибаемых элементов с трещинами. При оценке трещиностойкости и деформативности таких элементов момент образования трещин определяется по формуле СП 63.13330.2012 и СНиП 2.03.01–84*:

$$M_{crc} = \gamma R_{bt,n} W_{red}, \quad (1)$$

где $R_{bt,n}$ – нормативное сопротивление бетона осевому растяжению; W_{red} – приведенный момент сопротивления армированного сечения; γ – коэффициент, учитывающий пластические деформации бетона и форму поперечного сечения строительного элемента.

Сравнение значений коэффициента γ по нормам СП 63.13330.2012 – $\gamma=1,3$ и СНиП 2.03.01–84* – $\gamma=1,75$ показало расхождение в значениях M_{crc} на 26%, что может привести к перерасходу арматуры в случае применения методики СП 63.13330.2012.

В качестве альтернативы формуле (1) в СП 63.13330.2012 предложен расчет с применением нелинейной деформационной модели. Согласно ей выражение для M_{crc} в изгибаемом элементе прямоугольного профиля с одиночной арматурой записывается в виде:

$$M_{crc} = \left(\frac{1}{r} \right)_{crc} B_{crc}, \quad (2)$$

где $\left(\frac{1}{r} \right)_{crc}$, B_{crc} – соответственно кривизна и жесткость сечения в момент появления нормальной трещины:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{crc} = \frac{\varepsilon_{bt2}}{y_0}, \quad (3)$$

$$y_0 = \frac{\Delta b \sum_{i=0}^{n-1} E_{b,i}^{sec} y_i + E_s A_s a_s}{\Delta b \sum_{i=0}^{n-1} E_{b,i}^{sec} + E_s A_s} \quad (4)$$

$$B_{crc} = \Delta b \sum_{i=0}^{n-1} E_{b,i}^{sec} (y_0 - y_i)^2 + E_s A_s (y_0 - a_s)^2. \quad (5)$$

В формулах (3–5): ε_{bt2} , – относительные деформации растянутого бетона в конце ниспадающей ветви диаграммы состояния материала (см. рисунок); $E_{b,i}^{sec}$ – соответственно секущий модуль деформаций бетона для i -й полосы, модуль деформаций стальной арматуры.

Основу нелинейной деформационной модели составляют диаграммы состояния бетона и арматуры, по

которым определяются параметры, входящие в формулу (2). При этом значение секущего модуля деформаций бетона $E_{b,i}^{sec}$ меняется по высоте сечения элемента, что зависит от характера распределения относительных деформаций бетона. Поэтому расхождения при вычислении ε_b с использованием различных диаграмм состояния бетона влияют на конечный результат.

В СП 63.13330.2012 в качестве «расчетных» для бетона могут быть использованы кусочно-линейные, криволинейные диаграммы, но в качестве «рабочих» приняты упрощенные двух- и трехлинейные. При определении ε_{bt} по этим диаграммам в точке, соответствующей началу появления неупругих деформаций в бетоне, – при $\sigma_{btj}=0,6R_{bt,n}$ расхождение составляет для бетона: В15 – 1,6 раза, а для В100 – 1,14 раза. Такое несоответствие показано на рис. 1, а в виде отклонения $\Delta\varepsilon$.

Кроме кусочно-линейных диаграмм в СП 63.13330.2012 приведена криволинейная диаграмма, расчетные выражения для описания которой приведены в [1] (рис.1, б).

В работах [2–4] этот подход нашел развитие с учетом обобщения экспериментально-теоретических исследований последних лет, заключающийся в корректировке коэффициентов, описывающих диаграммы состояния бетона.

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований для учета неоднородного распределения деформаций по высоте растянутой зоны элемента при определении M_{crc} . Это достигается введением в расчетные выражения для напряжений $\bar{\sigma}_{bt}$ и коэффициента секущего модуля деформаций $\bar{\nu}_{bt}$, определяемых в вершине диаграммы, коэффициента $\tilde{\gamma}_{btq}$ согласно [1]:

$$\bar{\sigma}_{bt} = R_{bt,n} \tilde{\gamma}_{btq}, \quad (6)$$

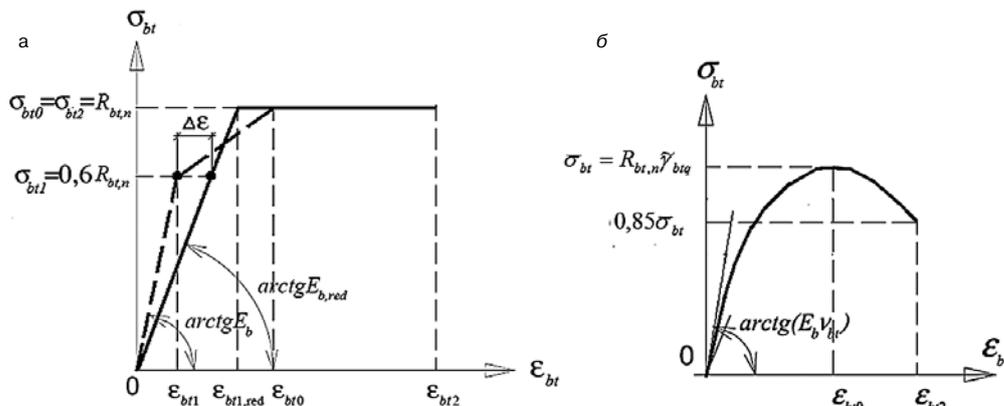
$$\bar{\nu}_{bt} = \frac{E_b^{sec}}{E_b} = \left(a + 0,15 \frac{R_{bt,n}}{R_{0m}} \right) \frac{1}{\tilde{\gamma}_{btq}}, \quad (7)$$

$$0,9 \leq \tilde{\gamma}_{btq} = 2,07 - \sqrt{\frac{h}{h_s}}; \quad (8)$$

здесь $h_s = 0,3m$ – некоторая эталонная высота сечения элемента; h – его проектная высота.

Расчетом установлено, что при совместном использовании данных работ [2–4] и формул (6–8) сходимость M_{crc} со СНиП 2.03.01.84* для неармированных и слабоармированных элементов достигает 1–3%. Для изгибаемых конструкций с $\mu \geq 1,5\%$ требуется провести дополнительные исследования.

Таким образом, выполнено совершенствование диаграммной методики расчета момента образования тре-



Диаграммы состояния бетона, построенные по методикам: а – [1], б – [3–6]

шин с использованием криволинейных диаграмм деформирования бетона. Для этого в выражения для напряжений $\bar{\sigma}_{bt}$ и коэффициента секущего модуля деформаций $\bar{\nu}_{bt}$, определяемых в вершине диаграммы растяжения, введен коэффициент γ_{btq} , учитывающий градиент деформаций (неоднородность распределения деформаций по высоте растянутой зоны бетона).

Полученные результаты могут послужить основой для разработки методики расчета M_{cr} в железобетонных элементах, находящихся в сложном напряженно-деформированном состоянии: внецентренном сжатии и растяжении, косом изгибе и др.

Список литературы

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. С. 92–106, С. 213–220.
2. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. Орел: Изд. ОГТУ, 2012, № 3. С. 10–17.
3. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. Орел: Изд. ОГТУ, 2012, № 2. С. 11–20.
4. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. № 1. 2013. С. 25–27.

Реклама

ТОРГОВЫЙ ДОМ
ИНТА-СТРОЙ

ООО «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Пугачева, 100
Тел.: (3812) 35 65 44, 35 65 45. E-mail: info@inta.ru. Http: www.inta.ru

ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

КОМПЛЕКС РЕЗКИ ПЕНОБЛОКОВ ШЛ 444А

Назначение:

- Комплекс ШЛ 444А предназначен для продольной и поперечной распиловки заготовки пенобетона на блоки заданных размеров.

Преимущества:

- простота конструкции;
- возможность безостановочной подачи заготовок и выгрузки изделий;
- работа в полуавтоматическом режиме;
- обслуживается одним оператором.

Основные характеристики:

- производительность, м³/час – 9;
- установленная мощность, кВт – 24,75;
- габариты (дл., шир., выс.), мм – 8280, 3340, 2710;
- масса, кг – 3820.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

О строении глин

Задуматься о фактическом строении глин заставил один нехитрый эксперимент, в котором брали глину с количеством глинистых частиц 12% и часть ее размалывали на лабораторной мельнице «Пурга-лаб», разработанной в институте, до содержания фракции менее 5 мкм 50%. Затем 20% этой измельченной глины добавляли к исходной глине и тщательно перемешивали на установке «Каскад-2». Потом определяли количество глинистой фракции. По традиционным канонам количество глинистых частиц должно было увеличиться на 10%. Однако определение, проведенное методом набухания, практически не показало увеличения глинистой фракции. Почему это происходит?

Общепринято считать, что размеры частиц песчаной фракции составляют от 50 мкм до 2 мм, пылевой — от 5 до 50 мкм, глинистой — менее 5 мкм. По трехчленной классификации Рутковского глинистой фракцией считают фракцию от 1 до 5 мкм.

Результаты вышеописанного эксперимента приводят к заключению, что в традиционных учебниках структура глины трактуется неверно.

На основании полученных в эксперименте данных можно предположить, что частицы фракции 0,1–5 мкм не являются глинистыми, а являются лишь носителями коллоидных частиц с размером 1–100 нм, которые и обеспечивают так называемые глинистые свойства (набухание). Так как количество коллоидных частиц после

помола не увеличилось, набухания не произошло, не смотря на то что количество частиц с размерами от 1 до 5 мкм увеличилось на 10%.

Тогда возникает закономерный вопрос: почему снимки микроструктур не привели к таким выводам раньше?

Во-первых, потому, что на одном снимке можно увидеть частицы с размерами, отличающимися друг от друга на 1,5–2 порядка, не более. Как невозможно на одной картинке представить дерево в полный рост и мох на нем, чтобы отчетливо были видны все детали.

Во-вторых, если внимательно посмотреть на снимок, полученный на электронном микроскопе с увеличением в 10 тыс. раз, можно все-таки разглядеть нечеткие очертания микрочастиц (рис. 1).

Эту размытость изображения можно трактовать как особенность микроснимков, но почему тогда вокруг частиц можно увидеть отдельные «микропротуберанцы», как можно объяснить «облака»?

По мнению автора, это и есть скопления коллоидных частиц — тот самый «наномох» на дереве!

При написании статьи встала задача отобразить на рисунке предполагаемую структуру глинистого вещества, где частицы отличаются в размерах на 6 порядков. Был использован двойной логарифмический масштаб:

$$\log_{10} d_{cp} = \log_2 D,$$

где d_{cp} — средний размер частиц одного порядка, нм; D — размер частиц на рисунке, мм.

То есть если размер частиц отличается в десять раз, на рисунке он отличается в два раза (основание логарифма — два). Таким образом, предлагается идеализированная модель глинистого коллоидного тела (рис. 2).

Следует отметить, что размол в эксперименте проводился на мельнице «Пурга-лаб» проходного типа, которая предназначена для обработки технологических процессов, то есть материал пребывал в ней небольшое время, коллоидную фракцию она не успевала нарабатывать.

В настоящее время институтом «ИНТА-строй» разработана и изготавливается стационарная мельница «Пурга-лаб 2», которая может молотить материал длительное время и нарабатывать коллоидную фракцию. Эта мельница отличается от известных планетарных мельниц тем, что помол обеспечивается не вращательным движением стаканов, а их вибрацией, что открывает доступ к барабанам во время помола. Это в свою очередь позволит добавлять исходный продукт в процессе измельчения и получать разноразмерную структуру материала. Таким образом, эксперименты по проверке предложенной гипотезы строения глинистого вещества будут продолжены и расширены в область высококонцентрированных вяжущих суспензий (ВКВС). Ведь процесс стабилизации в технологии ВКВС, видимо, можно рассматривать как процесс обрастания «наномохом» микрочастиц.

Итак, анализ результатов экспериментов, проведенных в институте «ИНТА-Строй», позволяет предложить следующую уточненную гранулометрическую структуру глин:

- песчаная фракция от 2 мм до 50 мкм;
- пылевая фракция от 50 до 5 мкм;
- глинистая фракция от 5 до 0,1 мкм;
- коллоидная фракция от 100 до 1 нм.

Видимо, при количестве коллоидной фракции 2–3% она будет обладать 60–80% удельной поверхности. Однако это еще предстоит выяснить.

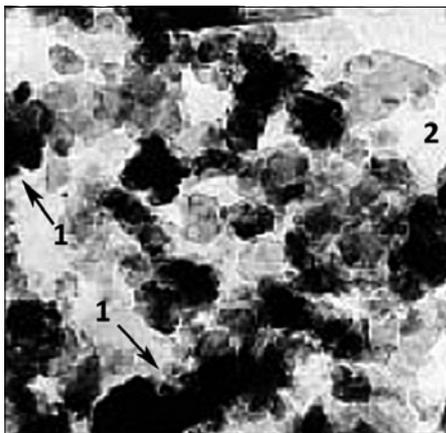


Рис. 1. Микрофотография частиц каолинита, полученная с помощью просвечивающей электронной микроскопии: 1 — «микропротуберанцы»; 2 — «облака»

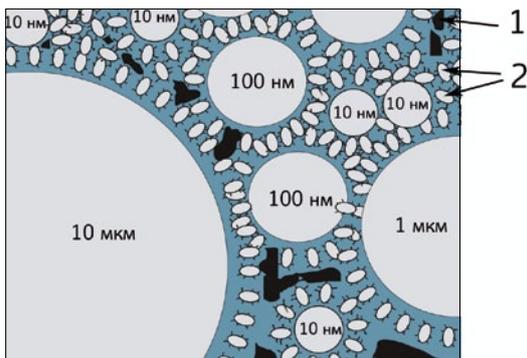


Рис. 2. Модель коллоидного тела в двойном логарифмическом масштабе: 1 — микропоры; 2 — частицы размером 1 нм

Нанотехнологии в строительстве: оценка достигнутого и дальнейших перспектив

В конце марта 2013 г. в Каире состоялась V Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве», которую организуют Национальный исследовательский центр жилищного и гражданского строительства (НБРС), Министерство жилищного и городского хозяйства Египта, Египетско-Российский университет (ERU) и Ижевский государственный технический университет. Внедрение наукоемких технологий, в том числе нанотехнологий, дает положительный импульс развития национальному бизнесу. Отрадно отметить, что с каждым годом конференцию поддерживают все больше государственных и частных коммерческих организаций. Расширяется и география участников. В этом году в конференции приняли участие ученые вузов и научных учреждений Египта, России, Франции, Японии, Швеции, Судана.



Конференция начинает работу



В президиуме конференции не только известные ученые, но и высшие чиновники министерств строительства, образования и научных исследований



Египетско-Российский университет (ERU) - первый российский университет на Ближнем Востоке, основанный в 2006 г. и располагающийся в г. Бэдр-Сити в 45 км от Каира. Это частное учебное заведение, созданное по инициативе группы египетских инвесторов. Одной из целей создания ERU была разработка учебных планов, которые бы сочетали лучшие достижения российских коллег, в том числе в области технических наук, и современные требования к специалистам данного профиля. Созданные учебные программы стали результатом плодотворного академического и научного сотрудничества между египетско-российским университетом и группой российских университетов. Учебный план ERU аккредитован Высшим советом египетских университетов.

В этом году в состав Российской делегации входили ученые и аспиранты МГСУ, ИжГТУ, КазГАСУ, БГТУ им. В.Г. Шухова, Северо-Восточного университета им. М.К. Аммосова. Российский научно-технический журнал «Строительные материалы»®, как информационный партнер конференции, подготовил специальный выпуск журнала с подборкой статей – пленарных докладов конференции на русском и английском языке, который был представлен участникам конференции. Не без гордости отметим, что двуязычные статьи вызвали незамедлительный живой отклик коллег.

Как мы уже писали, развитию нанотехнологий в Египте придается большое значение. Развивающаяся экономика страны с самым большим населением на Африканском континенте требует эффективных технологий, динамичного развития бизнеса во всех сферах, а также быстрого и надежного строительства как жилья, так и объектов инфраструктуры. Поэтому, несмотря на социально-политическую нестабильность последних лет, развитию науки и научной кооперации с развитыми странами уделяется большое внимание. На конференции неизменно присутствуют руководители и ведущие специалисты различных министерств, представители производственных компаний.

В этом году тематика конференции была расширена секцией «Бионас: инновационные технологии производства биотоплива». Хотя в промышленном секторе Египта



Ежегодно конференцию посещает чрезвычайный и полномочный посол Российской Федерации в Арабской Республике Египет Сергей Вадимович Кирпиченко (в центре). По его мнению организация международных научных конференций способствует не только научным контактам, но и развитию взаимопонимания между мусульманским и христианским миром

одними из ведущих отраслей являются нефтегазодобывающая и нефтеперерабатывающая, а запасы углеводородного топлива оцениваются весьма высоко: по данным ВР на 2011 г., Египет располагает 1,1% мировых запасов газа и 0,3% – нефти. Тем не менее, развитию возобновляемых источников энергии уделяется большое внимание, с 2008 г. в стране действует Стратегия развития возобновляемой энергии. Несомненно, что в этом направлении развитие нанотехнологий может оказать существенное положительное влияние, но энергетика в данном контексте не является темой журнала «Строительные материалы»®.



Российская делегация с профессором Ш. Хелми (четвертый справа)



О строительных композитах с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов, разрабатываемых в БГТУ, рассказала профессор В.В. Строкова



По образному выражению Е.В. Королева, д-ра техн. наук, его доклад должен был внести ложку дегтя в эйфорическое и благостное настроение конференционного сообщества. Он предложил количественные критерии эффективности различных технологий и показал, что, например, в композитах на основе минеральных вяжущих далеко не исчерпаны возможности совершенствования на макроструктурном уровне (см. статью Е.В. Королева в этом номере журнала на стр. 60). В перерывах Евгений Валерьевич с интересом ознакомился с работами коллег



А. Корженко представил последние товарные разработки французской компании «Аркема» – производителя многослойных углеродных нанотрубок, возможности и эффективности применения которых были посвящены многие доклады конференции



В перерывах между заседаниями конференции коллеги обсуждают планы дальнейшей совместной работы. Слева направо: профессор Г.И. Яковлев, заведующий кафедрой «Геотехника и строительные материалы» ИжГТУ, профессор К. Мустафа, президент компании SMB group, профессор Ш. Хелми, ректор ЕРУ, профессор Г.Н. Первушин, декан инженерно-строительного факультета ИжГТУ



Впервые в рамках конференции была организована выставка различных материалов – продуктов нанотехнологий или изготовленных с использованием нанодобавок. Среди строительных материалов: полимерные трубы и арматура, теплоизоляционные материалы и краски



Выступает профессор ХассанТалат (Египет)

Ряд докладов конференции был посвящен обзору современных методов исследования и перспективам развития нанотехнологий в различных отраслях промышленности.

Значительная группа докладов была посвящена результатам исследования влияния углеродных нанотрубок на различные строительные композиты. Следует отметить, что египетские ученые всегда с повышенным интересом встречают доклады российских коллег, как известных ученых, так и аспирантов, так как они всегда конкретны, дают большой объем новой информации.

Всего за два дня работы на конференции было заслушано и обсуждено более 40 докладов.

Египетские коллеги подготовили для участников интересную культурную программу с национальным колоритом. И конечно, российские ученые получили приглашение принять участие в следующей конференции, которая по традиции состоится в марте 2014 г.



Какие изменения претерпела структура красного асуанского гранита, облицовывающего нижнюю часть пирамиды Микерина?



Культурная программа включала посещение музея Солнечной ладьи фараона Хеопса, обнаруженной в середине 1950-х гг. в специальном подземном хранилище около подножия пирамиды Хеопса. Солнечная ладья – своего рода прообраз комплектной системы. Как нам рассказали в музее, ее нашли в разобранном виде, однако к «конструктору» прилагались инструменты и подобие инструкции по сборке, на освоение которой археологам понадобилось почти 10 лет.



Вот так закончилась поездка группы российских ученых в Египет.

Приглашаем в следующем году посетить конференцию с нами!

Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении¹

В настоящее время нанотехнология в строительном материаловедении реализуется посредством управления структурообразованием материала введением первичных наноразмерных компонентов — первичных наноматериалов [1–5]. Эффективность этого способа зависит от природы материала, функционального назначения и содержания модифицируемой фазы. Проблемы указанного направления нанотехнологии изложены в работах [6–8]². Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что по критерию F/C (здесь F — величина эффекта, возникающего при модификации; C — концентрация первичных наноматериалов) модифицирование наночастицами материалов, однородных на микроуровне (полимерные и металлические материалы), существенно результативнее по сравнению с модифицированием микрогетерогенных композитных материалов (композиты на минеральных вяжущих веществах, гибридные вяжущие структуры и т. д.). Причем такое различие в меньшем абсолютном значении сохраняется для композитных структур макромасштабного уровня и зависит от концентрации модифицированной фазы. Рядом исследователей высказываются обоснованные сомнения относительно эффективности модифицирования первичными наноматериалами микрогетерогенных материалов — цементных композитов [9–12].

Инструментарий для оценки степени совершенства

Управление структурообразованием материала на выбранном масштабном уровне³ осуществляется посредством варьирования рецептурными и технологическими факторами. При этом очевидно, что *потенциал вещества материала* I_m , который, в частности, может быть оценен величиной теоретической прочности, имеет весьма высокую величину. Степень реализации потенциала I_m можно оценить:

$$\frac{\Delta I_m}{I_{m,0}} = \frac{I_{m,0} - I_{m,j}}{I_{m,0}} = 1 - \Phi_{m,j}; \quad (1)$$

$$\Phi_{m,j} = \frac{R_j}{R_T}, \quad \Phi_{m,j} \leq 1$$

где R_j — прочность материала по j -ой технологии; R_T — теоретическая прочность (величина $\Phi_{m,j}$ далее будет использоваться в качестве показателя степени реализации потенциала вещества).

Закономерно, что высокие показатели качества материала определяются в основном достижениями технологии переработки вещества. Безусловно, некоторое повышение эффективности физических и/или химических воздействий достигается посредством изменения рецептуры материала. Например, существенное улучшение технологии строительных материалов достигнуто за счет применения различных поверхностно-активных веществ. Таким образом, достижение значе-

ния R (прочность в данном случае рассматривается как свойство интегрально характеризующее качество сформированной структуры) есть совокупность физических и/или химических воздействий, осуществляющихся в процессе технологической переработки вещества. *Потенциал технологии* I_t также оценивается величиной, характеризующей степень достижения максимальной прочности при данной технологии:

$$\frac{\Delta I_t}{I_{t,0}} = \frac{I_{t,0} - I_{t,j}}{I_{t,0}} = 1 - \Phi_{t,j}; \quad (2)$$

$$\Phi_{t,j} = \frac{R_j}{R_{max,j}}, \quad \Phi_{t,j} \leq 1,$$

где $R_{max,j}$ — максимальная прочность материала, достигнутая по j -й технологии изготовления.

Степень совершенства организации вещества по существующей технологии равна:

$$\Phi_{m,j} = \sqrt{\Phi_{m,j} \Phi_{t,j}}, \quad \Phi_{m,j} > 0. \quad (3)$$

Предлагаемое выражение фактически является математической записью рецептурно-технологического дуализма, указывающего на *необходимость симбатного изменения рецептуры и технологии* изготовления материала для повышения его качества. Также он указывает, что после достижения предела в реализации технологического потенциала (при $R_j = R_{max,j}$) повышение качества материала достигается только при повышении использования потенциала вещества I_m . Указанное следует из рассуждений. При замене $R_j = \Phi_{t,j} R_{max,j}$ получим:

$$\Phi_{m,j} = \Phi_{t,j} \frac{R_{max,j}}{R_T}$$

(при использовании указанной замены следует еще одно выражение, характеризующее рецептурно-технологический дуализм, а именно: $\Phi_{m,j} / \Phi_{t,j} = R_{max,j} / R_T$). Откуда использование потенциала вещества для j -ой технологии равно:

$$\Phi_{m,j} = \lim_{\Phi_{t,j} \rightarrow 1} \Phi_{m,j} = \frac{R_{max,j}}{R_T}$$

При интенсификации использования потенциала вещества I_m , то есть $\Phi_{m,j+1} = k \Phi_{m,j}$ ($k > 1$), величина максимальной прочности должна быть увеличена: $R_{max,j+1} = k R_{max,j}$ (при $R_T = \text{const}$), а следовательно, и потенциал технологии: $R_{j+1} = k R_j$. При этом численно $\Phi_{t,j+1} = \Phi_{t,j}$, а $\Phi_{m,j+1} / \Phi_{m,j} = \sqrt{k}$. Эти изменения в факторном пространстве будут представлены ломаной траекторией кривой $A \rightarrow B$ (рис. 1, а); при $k \rightarrow 0$ — рис. 1, б.

Развитие технологии бетона отражены в его эволюции, детально изложенной в [13] и наглядно представленной на рис. 2. В табл. 1 приведены результаты расчета потенциалов Φ_m , Φ_t и $\Phi_{m,t}$, а графическое представление расчетных значений — на рис. 3.

¹ Печатается при поддержке гранта Президента РФ МД-6090.2012.8.

² Также труды IV Международной конференции «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства», Каир, Египет, 23–27 марта 2012 г.

³ История развития материаловедения указывает на закономерное движение технологий «сверху — вниз», т. е. от управления структурообразованием на макроуровне к микро- и наномасштабному уровню.

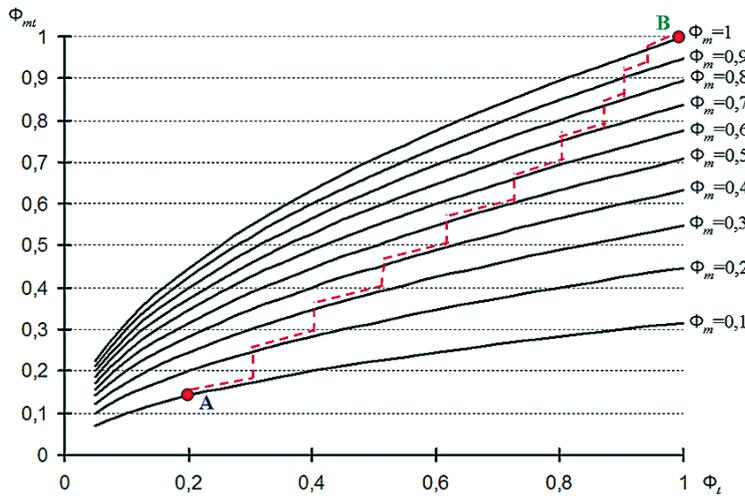


Рис. 1. Кривая совершенствования материала в факторном пространстве «Φ_m – Φ_t»

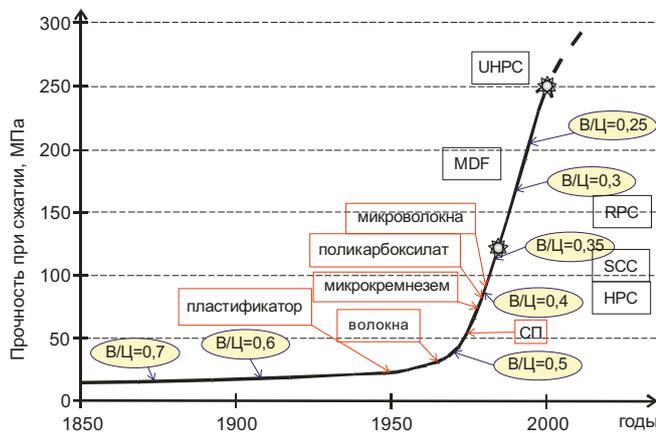
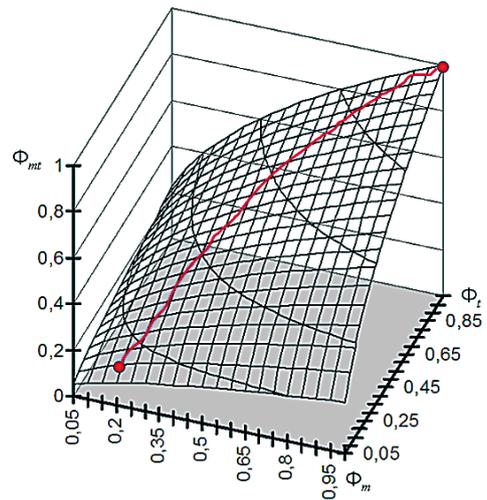


Рис. 2. Развитие технологии цементных бетонов [13]

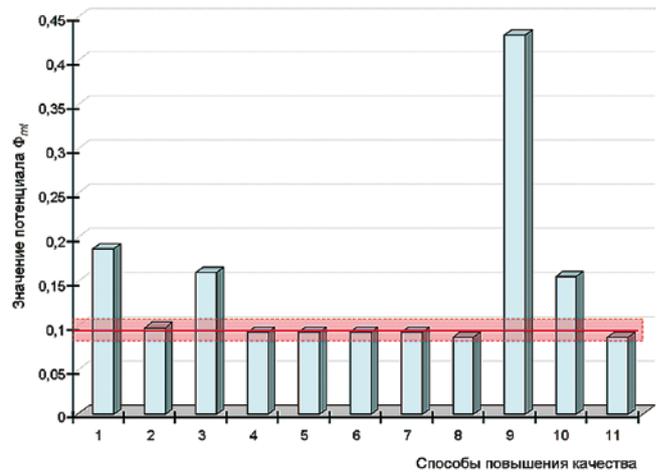


Рис. 3. Значения потенциала Φ_{mt} для различных технологических способов

Анализ данных показывает, что из представленных способов повышения качества композитов на основе портландцемента значимые достижения достигнуты при реализации способов №№ 1, 3, 9 и 10. Способы № 1 и № 3 являются рецептурными и характеризуют качественное изменение технологии за счет уменьшения водоцементного отношения (при сохранении подвижности или жесткости бетонной смеси), недостижимого физическими воздействиями (способы № 6–8 и № 11) или уплотнителей (способы № 4 и № 5). Указанные способы (№ 1 и № 3) базируются на управлении поверхностными явлениями в системе «портландцемент – вода» посредством использования поверхностно-активных веществ и минеральных затравок, регулирующих фазовый состав и плотность камня. Способы № 9 и № 10 характеризуют новые самостоятельные технологические подходы к формированию плотного и прочного материала. В способе № 9 повышение качества достигается посредством заполнения порового пространства полимерным веществом, имеющим высокие адгезионную и когезионную прочность. В способе № 10 предложено изменение концепции изготовления изделия, а именно формование осуществляется из смеси минеральных компонентов с последующей пропиткой водой или ее растворами без стадии приготовления бетонной смеси. Другие способы не обеспечивают значимого повышения качества материала и являются предложениями по реализации концепции снижения содержания воды как на стадии при-

готовления бетонной смеси (указанное требует увеличения интенсивности воздействий на стадии переработки бетонной смеси), так и после формования изделия.

На основе представленного анализа целесообразно сформулировать принцип рецептурно-технологического совершенствования материала, который заключается в следующем: управление структурообразованием на нижеследующем масштабном структурном уровне осуществляется только после достижения максимального качества на предыдущих структурных уровнях. Характеристической величиной, позволяющей оценить целесообразность перехода на управление структурообразованием на нижеследующий структурный уровень, является *максимальный размер массового дефекта*. Реализация указанного принципа означает, что разработку технологии управления структурообразованием материала на наномасштабном структурном уровне целесообразно осуществлять после достижения максимального качества на микроструктурном уровне.

Структурные уровни материала и развитие технологии

Из классической зависимости прочности изотропного материала, предложенной П.А. Ребиндером [20]

$$R = \gamma f_c N^{2/3} \quad (4)$$

(здесь γ – коэффициент; f_c – прочность контакта; N – количества связей) следует, что при прочих равных

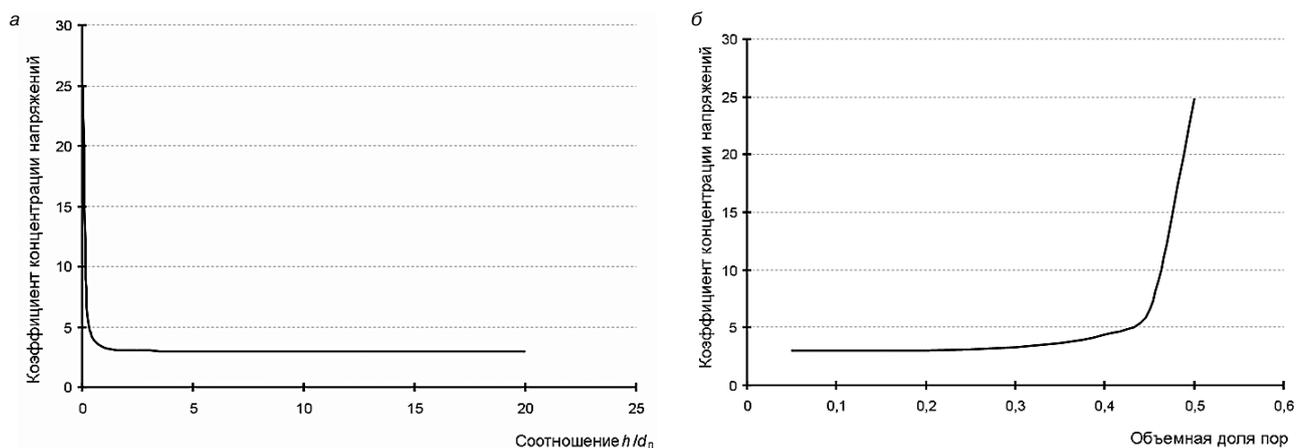


Рис. 4. Зависимость концентрации напряжений от соотношения: а – h/d_n ; б – η_w/v_n

Таблица 1

Способы повышения качества цементного композита (бетона) [14–18]

№ п/п	Наименование способа	В/Ц	R_b , МПа	$R_{b,max}$, МПа*	Φ_m	Φ_t	Φ_{mt}
1	Повышение активности портландцемента	0,5–0,6	40–50	43–54	0,009–0,011	0,925–0,93	0,091–0,101
	в том числе – вяжущие низкой водопотребности – тонкомолотые цементы – композиционные вяжущие	0,25–0,33	115–130	84–124	0,026–0,029	1,05–1,37	0,174–0,187
2	Применение подготовленных заполнителей	0,5–0,6	35–45	36–47	0,008–0,01	0,96–0,97	0,087–0,098
3	Снижение начального водосодержания посредством введения пластифицирующих добавок	0,4–0,5	40–50	47–64	0,009–0,011	0,78–0,85	0,087–0,093
	В том числе – супер- и гиперпластификаторы – органоминеральные модификаторы	0,25–0,33	80–120	84–124	0,018–0,027	0,95–0,97	0,13–0,16
4	Введение неорганических добавок, способствующих повышению плотности структуры	0,4–0,5	40–50	47–64	0,009–0,011	0,78–0,85	0,087–0,093
5	Введение полимерных веществ, уплотняющих структуру	0,4–0,5	40–50	47–64	0,009–0,011	0,78–0,85	0,087–0,093
6	Применение виброактивации цемента, обеспечивающее дезагрегацию цементных флоккул и уплотнение цементного геля	0,4–0,5	40–50	47–64	0,009–0,011	0,78–0,85	0,087–0,093
7	Интенсификация процесса уплотнения жестких смесей	0,4–0,5	40–50	47–64	0,009–0,011	0,78–0,85	0,087–0,093
8	Применение вакуумирования, центрифугирования, фильтрационного прессования	0,5–0,55	30–40	41–47	0,007–0,009	0,73–0,85	0,07–0,087
9	Пропитка поровой структуры бетона органическими веществами или серой	0,5–0,6	130–200	36–47	0,029–0,044	3,61–4,25	0,32–0,43
10	Применение сухого формования	0,27–0,29	77–110	100–111	0,017–0,024	0,77–0,99	0,115–0,156
11	Применение водопоглощающих перегородок	0,5–0,6	30–40	36–47	0,007–0,009	0,83–0,85	0,075–0,087

Примечание. Расчет $R_{b,max}$ производили по формуле $R_b = \frac{0,36R_t}{(B/\Pi)^{1,39}}$ [19], теоретическая прочность бетона принята $R_t = 0,1E_c$ (примем $R_t \sim 4500$ МПа).

условиях с увеличением количества связей прочность материала возрастает. Формирование поровой структуры фактически означает уменьшение количества связей в материале, которое приводит к очевидному снижению его прочности:

$$\frac{R}{R_0} = \left(1 - \frac{N_*}{N_0}\right)^{\frac{2}{3}} = (1 - \Pi)^{\frac{2}{3}}, \quad (5)$$

где N_0 – количество связей в бездефектном материале; N_* – количество связей, исключенных вследствие наличия в объеме дефектов в виде пор и пустот:

$$N_* = V_{\Pi} \rho_N = \Pi N_0,$$

где V_{Π} – объем пустот ($V_{\Pi} = \Pi V_0$); Π – пористость; ρ_N – плотность связей ($\rho_N = N_0/V_0$).

Другие формулы прочности композитов также дают экстенсивные зависимости от пористости, например [21]:

$$R_{см} = \sigma_p(1 - \Pi) - \sigma_p v_f (1 - \rho_f S_{уд} h_0 (k_m - 1)) + \sigma'_f v_f, \quad (6)$$

или [22, 23]

$$R \approx 10^{-2} \frac{\sigma_k}{d_k \epsilon_k} (1 - \Pi)^2; \quad (7)$$

$$\frac{R}{R_0} = \exp(-k \Pi), \quad (8)$$

где $\rho_f, S_{уд}$ – соответственно средняя плотность материала наполнителя и его удельная поверхность; h_0 – усредненная толщина прослойки вяжущего, рассчитываемая для оптимальных составов; $k_m = \sigma_p \sigma_p^{-1}$; σ_p, σ_f – коэффициенты, характеризующие прочности объемной и пленочной фаз вяжущего вещества; σ_k – поверхностное натяжение кристалла; ϵ_k – критическая деформация кристалла; d_k – средний размер кристаллов; k – константа.

Очевидно, что геометрические особенности порового пространства будут также оказывать существенное влияние на прочность материала. Однако имеющиеся теоретические данные [24] позволяют установить зависимость концентрации напряжений α_σ от безразмерного параметра, характеризующего геометрические особенности дефекта. Например, при рассмотрении перфорированных пластин как аналогов порового пространства материала по данным [24] для квадратной решетки при условии всестороннего растяжения установить следующую зависимость:

$$\alpha_\sigma = \frac{1}{0,525 - 0,524 \lambda^{1,796}}$$

(здесь $\lambda = (1 + h/d_n)^{-1}$), которая с учетом

$$h/d_n \approx \sqrt[3]{\eta_n/v_n} - 1$$

преобразуется к виду

$$\alpha_\sigma \approx \frac{1,905}{1 - (v_n/\eta_n)^{0,6}}, \quad (9)$$

где η_n – предельная доля пор; v_n – объемная доля пор.

Представленная зависимость указывает на экстенсивную зависимость α_σ только от количества пор. При $v_n \rightarrow \eta_n$ величина α_σ резко возрастает (рис. 4).

При этом вид указанных кривых не зависит от масштабного структурного уровня композита. В [25] представлено, что получение композита с заданными показателями эксплуатационных свойств осуществляется совмещением масштабных структурных уровней, оптимизированных по критериям, устанавливаемым рецептурой уровня. В [26] с использованием правила фаз Гиббса показано, что для получения композитов с заданными свойствами достаточно оптимизацию проводить на двух масштабных уровнях. Макроуровень, соответствующий композиту, должен наследовать параме-

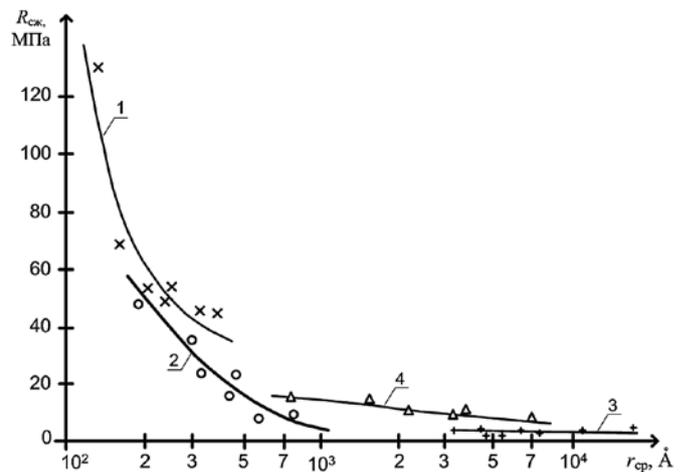


Рис. 5. Зависимость прочности цементного камня от среднего размера пор [15]: 1 – тоберморит и подобные материалы; 2 – CSH(I); 3 – $C_3A \cdot H_6$ и гидрогранаты; 4 – смесь 70–80% гидрограната и 20–30% CSH(I)

тры структуры и свойства предыдущих структурных уровней, неоптимизированных по целевому критерию. Отсюда очевидно, что оптимизация предыдущих структурных уровней, содержащих дисперсные фазы, должна проводиться по критерию, обеспечивающему формирование плотной структуры макроуровня, а также наследование характеристик структуры предыдущих уровней. При этом структурный уровень, формируемый из минеральных вяжущих веществ, воды и добавок, также целесообразно рассматривать как композитную систему.

Таким образом, для уровней, содержащих дисперсные фазы, предыдущие структурные уровни должны оптимизироваться по реологическим свойствам смеси. При этом при переходе на следующий структурный уровень должно обеспечиваться формирование плотной структуры с $N \rightarrow N_{max}$ (здесь N – количество связей). Для композитов на портландцементе кроме геометрических особенностей кристаллов продуктов гидратации и порового пространства на прочность цементного камня существенное влияние оказывает минералогический состав продуктов взаимодействия (рис. 5).

Указанное выражается условиями:

$$\begin{cases} \Pi_m \rightarrow 0 \\ \frac{B}{\Pi} \rightarrow \min \\ [Ca(OH)_2] \rightarrow \min \end{cases},$$

где Π_m – пористость, образующаяся в результате некачественного уплотнения бетонной смеси; $[Ca(OH)_2]$ – концентрация $Ca(OH)_2$; B/Π – водоцементное отношение.

Реализация указанных условий обеспечивает оптимизацию композита на масштабных уровнях от микро до макроуровня. Переход на наномасштабный уровень дополнительно формирует условия:

$$\begin{cases} \sigma_f \rightarrow \min \\ [C-S-H] \rightarrow \max, \\ \chi_m \rightarrow \max \end{cases}$$

где σ_f – внутренние напряжения на границе раздела фаз; χ_m – трещиностойкость тоберморита и подобных материалов; $[C-S-H]$ – концентрация тоберморита и подобных материалов.

Отсюда возможно сформулировать два направления реализации нанотехнологии, а именно: регулирование внутренних напряжений на границе раздела фаз и повышение трещиностойкости аморфно-кристаллических вяжу-

щих систем. Указанное возможно реализовать образованием на поверхности дисперсных фаз слоя вещества с высокими деформативными свойствами и/или увеличением содержания аморфно-кристаллической фазы и ее армированием первичными наноматериалами. Частные примеры представленных способов представлены в [27, 28].

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, потенциал технологии, рецептурно-технологический потенциал.

Список литературы

1. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов нанотрубами и фуллеренами // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 2–4.
2. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Нанотехнология и наномодифицирование в строительном материаловедении. Зарубежный и отечественный опыт // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. № 2. С. 16–19.
3. Толчков Ю.Н., Михалева З.А., Ткачев А.Г., Попов А.И. Модифицирование строительных материалов углеродными нанотрубками: актуальные направления разработки промышленных технологий // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 6(22). С. 57–68.
4. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 125–133.
5. Шуйский А.И., Явруян Х.С., Торлина Е.А., Филонов И.А., Фесенко Д.А. Настоящее и будущее применения нанотехнологий в производстве строительных материалов // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 154–160.
6. Королев Е.В., Кувшинова М.И. Параметры ультразвука для гомогенизации дисперсных систем с наноразмерными модификаторами // Строительные материалы. 2010. №9. С. 85–88.
7. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Эффективность физических воздействий для диспергирования наноразмерных модификаторов // Строительные материалы. 2012. № 4. С. 76–87.
8. Королев Е.В. Проблемы и перспективы нанотехнологии в строительстве // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 1(16). С. 200–208.
9. Калашиников В.И. Бетоны: макро-, микро-, нано- и пикомасштабные сырьевые компоненты. Реальные нанотехнологии бетонов // Сборник докладов конференции «Дни современного бетона», Запорожье. 2012. С. 38–50.
10. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и пути развития производства строительных материалов // Вестник МГСУ. 2009. Спецвыпуск № 3. С. 13–17.
11. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 6–8.
12. Сахаров Г.П. О краткосрочной перспективе нанотехнологий в производстве строительных материалов и изделий // Технологии бетонов. 2009. №4. Ч. 1. С. 65–67. № 5. Ч. 2. С. 13–15.
13. Ушеров-Маршак А.В. Современный бетон и его технологии // Бетон и железобетон. 2009. С. 20–25.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
15. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашиников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны, М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
16. Баженов Ю.М. Бетонполимеры. М.: Стройиздат, 1983. 472 с.
17. Методические рекомендации по устройству бетонных конструкций методом вакуумирования бетонной смеси. М.: Госстрой СССР, 1984.
18. Батяновский Э.И. Особо плотный бетон сухого формирования, Минск: НПО «Стринко», 2002. 224 с.
19. Несветаев Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов // Бетон и железобетон. 2011. С. 78–80.
20. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур // Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. С. 3–16.
21. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Альбакасов А.И. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы, Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. 364 с.
22. Полак А.Ф., Бабков В.В. К теории прочности пористых тел // Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. С. 28–31.
23. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир. 1996. 506 с.
24. Григолюк Э.И., Фильшинский Л.А. Перфорированные пластины и оболочки. М.: Наука, 1970. 556 с.
25. Королев Е.В., Самошин А.П., Королева О.В., Смирнов В.А. Радиационно-защитные композиты вариативно-каркасной структуры на основе расплавов. Пенза: ПГУАС, 2010. 242 с.
26. Королев Е.В., Смирнов В.А., Альбакасов А.И. Некоторые аспекты проектирования составов многокомпонентных композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве. 2011. № 6. С. 32–41.
27. Королев Е.В. Наномодифицированные коррозионно-стойкие серные материалы // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета: Строительство и архитектура. Воронеж: ВГАСУ, 2008. № 2(10). С. 51–59.
28. Соколова Ю.А., Вернигорова В.Н., Королев Е.В. Влияние модифицированных порошкообразных наноразмерных гидросиликатов кальция на распределение наночастиц в цементном камне // Интеграл. 2009. № 6(50). С. 22–23.

23 – 26 ОКТЯБРЯ 2013, г. СОЧИ
Павильоны у Морпорта

SOCHI BUILD
XIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

SOCHI BUILD

	АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО. БЛАГОУСТРОЙСТВО
	СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛочНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ОБОРУДОВАНИЕ
	КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
	ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
	СТРОЙСПЕЦТЕХНИКА. ДОРОГА. ТОННЕЛЬ
	ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА. ДЕКОР
	ЗАГОРОДНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
	ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ

При поддержке:

- Администрация г. Сочи
- Союза Строителей (работодателей) Кубани
- Торгово-промышленной палаты г. Сочи

Партнер:

- SOCHI EXPO

Выставочная компания
«Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»
 тел./факс: +7 (862) 264-87-00,
 264-23-33, 264-75-55, (495) 745-77-09
 e-mail: m.lepikova@sochi-expo.ru;
 www.sochi-expo.ru

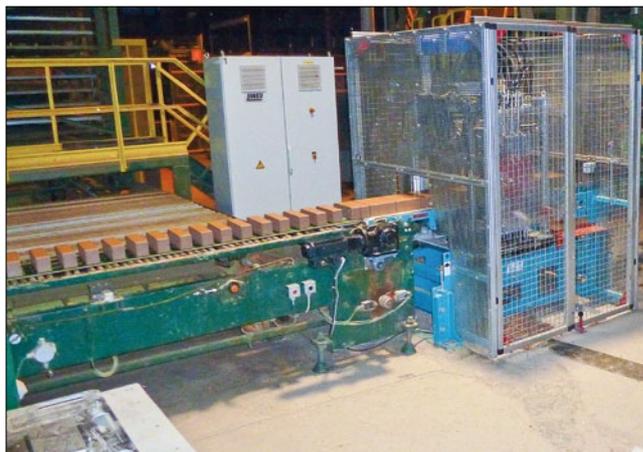
Фирма Lode SIA вводит в эксплуатацию автомат резки ротационного действия фирмы LINGL

Представив «модульный автомат резки ротационного действия»*, фирма LINGL вновь подтвердила свой инновационный потенциал. Разработка автомата резки от момента первой идеи до готовности к использованию растянулась на достаточно длительное время: в 2009 г. фирмой LINGL на выставке Ceramites в качестве мировой новинки был представлен его прототип с устройством для нанесения фаски с четырех сторон.

Специалисты фирмы LINGL усовершенствовали эту машину и привели ее в соответствие с требованиями рынка. В начале этого года первый автомат резки ротационного действия был запущен в эксплуатацию на заводе латвийской фирмы Lode SIA (www.lode.lv). Фирма Lode уже более 50 лет занимается производством керамических строительных материалов, и до распада Советского Союза она являлась одним из крупнейших производителей кирпича на советской территории. Сегодня предприятие на нескольких заводах в Латвии и Польше производит высококачественный лицевой кирпич, дорожный клинкер и кирпич с вертикальными пустотами.

На заводе Liera, недалеко от столицы Латвии – Риги, производится преимущественно лицевой кирпич и фасонный камень для открытых каминов, а также подоконники разнообразных цветов и форматов.

Пожеланием заказчика было встраивание автомата резки в существующую линию без больших затрат, с возможностью нанесения фаски с четырех сторон. Поскольку основным условием являлось получение высококачественной и прежде всего равномерной фаски при сохранении разнообразия производимой продукции (33 формата), в данном проекте был использован автомат резки ротационного действия фирмы LINGL.



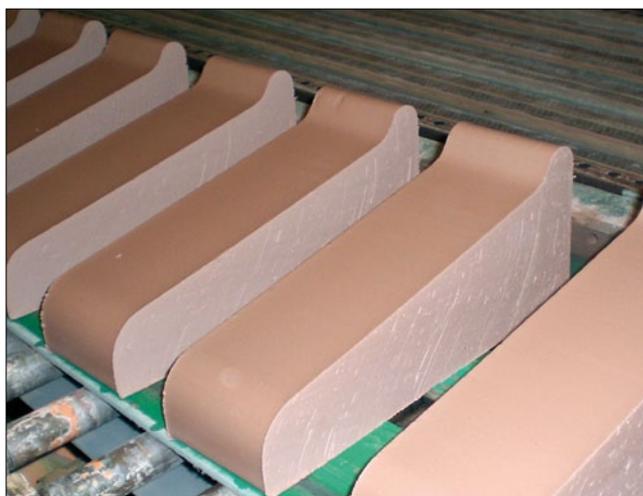
Автомат резки ротационного действия на заводе Lode

Автомат резки ротационного действия с предшествующим ему устройством нанесения фаски объединяет в себе бесступенчатое нанесение фаски и принцип ротационной резки; таким образом, достигается ряд существенных улучшений по сравнению с традиционными непрерывно функционирующими автоматами резки, как, например, универсальный вертикальный автомат резки или двунаправленный автомат резки.

Фирма LINGL уже давно сотрудничает с фирмой Lode: в 2007 г. разработала и поставила на завод Ane фирмы Lode новую производственную линию для выпуска поризованного кирпича KERATEPM с вертикальными пустотами.

Фирма LINGL особенно гордится тем, что, реализовав этот непростой с технической точки зрения проект автомата резки, ей удалось продолжить долгосрочное и тесное сотрудничество с Lode SIA.

Защищено патентом: *EP 2 200 789*/EP 2 2207 652.





ISO-сертификация компании КЕЛЛЕР ХЦВ

Качество и инновация – два понятия, которые являются неотъемлемой частью фирмы КЕЛЛЕР ХЦВ. Данные понятия характеризуют важнейшие свойства компании, что отныне подтверждают сертификаты объединения технадзора TÜV Nord. Фирма КЕЛЛЕР ХЦВ с главным офисом в г. Иббенбюрен-Лаггенбек получила всемирно признанную печать для сертификации согласно нормам ISO 9001 и ISO 14001 одновременно для обеих систем управления.

В прошлом году было положено начало введению единой системы управления, включающей контроль качества и охрану окружающей среды. С этой целью были осуществлены меры по оптимизации рабочих процессов во всех отделах компании, проведены усовершенствования различного масштаба. Благодаря сертификации КЕЛЛЕР ХЦВ хочет укрепить свою конкурентоспособность на рынке, а также обеспечить наиболее конструктивное сотрудничество с заказчиками путем усовершенствований организации работы с учетом последних требований к обеспечению охраны окружающей среды.

Международный стандарт согласно нормам ISO 9001 является подтверждением того, что благодаря введению системы контроля качества все рабочие процессы на фирме КЕЛЛЕР ХЦВ, начиная с поступления запроса и заканчивая проведением конечного монтажа на месте – подвергаются постоянному контролю и постоянному совершенствованию.

Вторая задача компании – защита окружающей среды, подробное описание и анализ которой содержится в нор-

мах 14001 «Система экологического менеджмента». Улучшения деятельности фирмы КЕЛЛЕР ХЦВ в этой сфере в результате превзошли международные требования. В рамках аудиторских проверок и ревизий, проводимых компанией, рабочие процессы постоянно анализируются с целью регулярного осуществления мер по их оптимизации.

Неоспоримым лидером начиная с 1996 года является отдел контрольно-измерительной техники (MSR), который постоянно убеждает заказчиков системой менеджмента качества. При повторной сертификации отдела, которую TÜV проводил в текущем году, не было выявлено ни одного несоответствия. Кроме того, отдел контрольно-измерительной техники (MSR) дополнительно получил сертификат ISO 14001 «Система экологического менеджмента».

Как сообщил г-н Йохен Ниппель, управляющий компанией КЕЛЛЕР ХЦВ, «благодаря сертификации КЕЛЛЕР ХЦВ преследует стратегию обеспечения прозрачности всех рабочих процессов для своих сотрудников. Первый шаг в этом направлении компания уже совершила. Следующий шаг – не только оптимизировать рабочие процессы, но и перенести этот успешный опыт в другие подразделения фирмы. На первом месте в достижении этих целей стоит удовлетворенность заказчиков, которую компания гарантирует, предъявляя высокие требования к качеству и защите окружающей среды». Отныне КЕЛЛЕР ХЦВ может с гордостью подтвердить это печатью TÜV.

www.keller.de

II международная
специализированная выставка

Керамика

29 октября – 1 ноября 2013 года

МВЦ «Крокус Экспо»

www.keramikaexpo.ru

Экспозиции:

- Строительная керамика
- Техническая керамика
- Художественная керамика
- Оборудование для изготовления керамики
- Сырьевые материалы

Телефон: +7 (495) 983-0671, +7 (916) 970-2191

E-mail: tolstikova@crocus-off.ru, zagorulko@crocus-off.ru

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СКБ СТРОЙПРИБОР
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



тел/факс в Челябинске: (351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
 в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
 e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
 www.stroypribor.ru

Реклама

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа

ПОС-2МГ4 П

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар"

и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН
■ масса 70 / 120 / 180 кг



ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4

с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН

ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01

анемометр-термометр
диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
-30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные регистраторы



диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины
диапазон 1...45 %



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм
диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер (до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон -40...+100 / 250 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН



диаметр арматуры 3...12 мм

ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм



диапазон 100...1800 МПа

ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

А.Г. ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ, д-р техн. наук,
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Часть 7.

Расчет коэффициента термовлагопроводности модельного пористого тела

Понятие «термовлагопроводность», как известно, связано с переносом влаги под действием градиента температуры в неизотермических условиях. Поток влаги для закрытой влагоизолированной системы будет равен сумме двух потоков: потока под действием градиента влажности и потока влаги, возникающего под действием градиента температуры [1]:

$$J_2 = J_2^w + J_2^T \text{ или } J_2 = -a_w \cdot \nabla w + a_w \cdot \delta \cdot \nabla T, \quad (1)$$

где a_w – обобщенный коэффициент диффузии влаги под действием градиента влажности; $\delta = \nabla w / \nabla T$ – термоградиентный коэффициент, позволяющий выделить теплоток влаги.

Рассмотрим неизотермический поток влаги в материале, поры которого не полностью заполнены конденсатом. В незаполненных капиллярах мениски капиллярной жидкости соединяются жидкими пленками воды, которые перемещаются от одного мениска к другому. В пространстве жидкого конденсата, ограниченном этими менисками, происходит капиллярная диффузия жидкости, а в пространстве, свободном от жидкости, – диффузия водяных паров. Поэтому в неизотермических условиях под действием температурного градиента возможна термодиффузия пара, термопленочное и термокапиллярное течение жидкости. Н.В. Чураев [2] приводит уравнение теплоток влаги при совместном переносе пара и пленочной жидкости для произвольного сечения капилляра. Удельный поток влаги для цилиндрического капилляра будет равен:

$$J = -\frac{M_1 D}{R \cdot T} \nabla p_1 - \frac{2}{3} \frac{h^3 \cdot R \cdot T \cdot \rho_2}{r \cdot \eta \cdot p_1} \left(\frac{\nabla p_1}{p_1} + \frac{\nabla T}{T} \ln \left(\frac{p_S}{p_1} \right) \right)^2 + \frac{h \cdot \rho_2 (\partial \sigma / \partial T)}{r \cdot \eta} \nabla T, \quad (2)$$

где M_1 – молекулярная масса пара; D – коэффициент диффузии водяного пара в воздушной среде; ∇p_1 и ∇T – соответственно градиенты давления пара и температуры; h – толщина смачиваемой пленки; η – вязкость воды; σ – поверхностное натяжение жидкой фазы воды.

Наложение постоянного температурного градиента на влагоизолированную систему вызовет диффузию пара, термопленочное и термокапиллярное течение жидкой фазы в холодную часть системы, что приведет к повышению ее влагосодержания и вызовет обратный направленный поток вследствие изменения концентрации влаги в разных частях системы. В равновесном состоянии противоположно направленные потоки

уравновешиваются, и общий поток влаги становится равным нулю. Это равновесное состояние является основным условием при определении термоградиентного коэффициента. Приравняем удельный поток влаги, определяемый по (2), к нулю и, разделив переменные, получим:

$$\left(\frac{M_1 \cdot D (r-h)^2}{r^2 \cdot RT} + \frac{2 \cdot \rho_2 \cdot h \cdot RT}{3 \cdot r \cdot \eta \cdot v_m \cdot p_1} \right) \nabla p_1 = \left(\frac{h^2 \cdot \rho_2 (\partial \sigma / \partial T)}{r \cdot \eta} - \frac{2 \cdot \rho_2 h^3 RT \cdot \ln(p_S/p)}{3 \cdot r \cdot \eta \cdot v_m \cdot T} \right) \nabla T. \quad (3)$$

Перейдем от градиентов давления пара ∇p_1 к градиентам капиллярного давления по соотношению:

$$\nabla p_1 = -\frac{v_m p_1}{RT} \nabla p_k. \text{ Подставляя } \nabla p_1 \text{ в (3), получим:}$$

$$-\left(\frac{M_1 \cdot D (r-h)^2 \eta}{\rho_2 RT \cdot r} + \frac{2 \cdot \rho_2 \cdot h^3 \cdot RT}{3 \cdot V_m \cdot p_1} \right) \frac{V_m \cdot p_1}{RT} \nabla p_k = h^2 \left(\frac{\partial \sigma}{\partial T} + \frac{2 \cdot h \cdot R \cdot \ln(p/p_S)}{3 \cdot V_m} \right) \nabla T. \quad (4)$$

Определим из (4) отношение градиентов капиллярного давления и температуры:

$$-\frac{\nabla p_k}{\nabla T} = \frac{h^2 (\partial \sigma / \partial T + 2 \cdot h \cdot R \cdot \ln(p/p_S) / 3 V_m)}{V_m^2 \cdot D \cdot p_1 \cdot \eta (r-h)^2 / (RT)^2 + 2 \cdot h^3 / 3}. \quad (5)$$

Переходя от градиентов капиллярного давления к градиентам влагосодержания по соотношению:

$$\nabla p_k = -\frac{2 \cdot \sigma}{r^2 (\partial w / \partial r)} \nabla w. \quad (6)$$

Подставим (6) в (5), сделаем коррекцию на активную внутреннюю поверхность, получим выражение для термоградиентного коэффициента, отнесенного к влагосодержанию:

$$\delta_w = \frac{\nabla w}{\nabla T} = \frac{h^2 r^2 (\partial \sigma / \partial T + 2 h R \ln(p/p_S) / 3 V_m) (\partial w / \partial r) m_S}{2 \sigma (V_m^2 D p_1 \eta (r-h)^2 / (RT)^2 + 2 h^3 / 3)}. \quad (7)$$

Подставив в (7) значение V_m для воды, а также значение коэффициента диффузии водяного пара в воздуш-

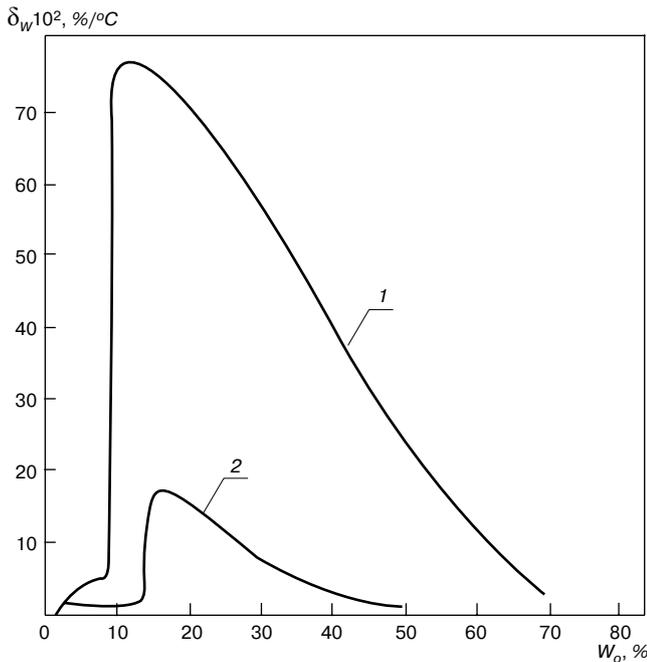


Рис. 1. Зависимость термоградиентного коэффициента от влагосодержания: 1 – газосиликата; 2 – керамзитобетона

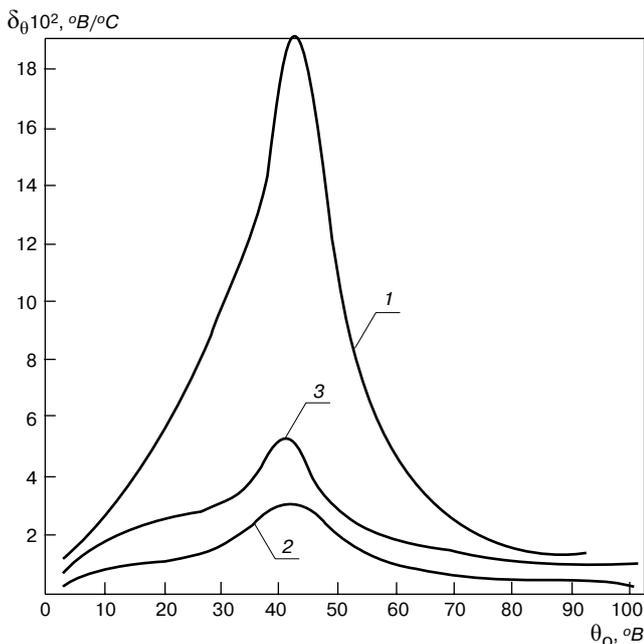


Рис. 2. Зависимость термоградиентного коэффициента от относительного потенциала влажности: 1 – газосиликата; 2 – керамзитобетона; 3 – цементного раствора

ной среде при нормальном атмосферном давлении $D=0,086 (T/273,15)^{1,81}$ [1] и универсальной газовой постоянной R , получим формулу для расчета термоградиентного коэффициента, %/град:

$$\delta_w = \frac{\nabla w}{\nabla T} = \frac{r^2(\partial\sigma/\partial T + 307,94 \cdot 10^{-7} h \cdot \ln(p/p_s)/3V_m)(\partial w/\partial r)m_s}{\sigma(2,239 \cdot 10^4 (T/273)^{1,81} p_1 \eta (r-h)^2 / (T^2 h^2 r) + 1,333 h)} \quad (8)$$

При освобождении пор от жидкости появляются свободные поверхности капиллярной жидкости, равно-

весное состояние которых определяется поверхностным натяжением. Так как при понижении температуры поверхностное натяжение σ растет, а при повышении уменьшается, при наличии температурного градиента появляется натяжение сдвига, равное $\delta\sigma/\delta x$, которое передается от поверхности жидкости на нижележащие слои. Градиент капиллярного давления при наличии температурного градиента для единичного капилляра будет равен:

$$\frac{\partial p_k}{\partial x} = \frac{2(\sigma_{T1} - \sigma_{T2})}{r_m \rho_j \partial x} = \frac{2}{\rho_j r_m} \frac{\partial \sigma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (9)$$

где r_m – радиус мениска жидкости.

Термокапиллярную составляющую удельного потока влаги получим, подставляя значение $\partial p_k/\partial x$ из (9) в (10):

$$J_2^T = \frac{\rho_j \cos \theta (\partial \sigma / \partial T)}{4 \cdot \eta_r \cdot r \cdot dl} \int_0^{r_{max}} r^2 f_V(r) dr \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

Выделим из (10) значения термоградиентного коэффициента δ так, чтобы его произведение с a_w было бы равно коэффициенту термовлагопроводности $a_w^T = a_w \delta$, или величине, стоящей перед градиентом dT/dx в уравнении (10). Очевидно, термоградиентный коэффициент для капилляров, заполненных жидкостью и ограниченных с двух сторон менисками, будет равен, %/град:

$$\delta_2 = \frac{100 \cdot \rho_j r f_V(r) (\partial \sigma / \partial T)}{\sigma}, \quad (11)$$

где $f_V(r)$ – дифференциальное распределение пор по размерам радиусов.

Так как общий термопоток является суперпозицией всех составляющих, то и термоградиентный коэффициент определим как сумму двух коэффициентов для не заполненных жидкостью капилляров (при совместном переносе парообразной и пленочной влаги) и капилляров, заполненных жидкостью, но ограниченных менисками. Учитывая все перечисленные выше составляющие термопотока, напишем выражение для расчета термоградиентного коэффициента:

$$\delta_w = \frac{r^2(\partial\sigma/\partial T + 307,94 \cdot 10^{-7} h \cdot \ln(p/p_s))(\partial w/\partial r)m_s}{\sigma(2,239 \cdot 10^4 (T/273)^{1,81} p_1 \eta (r-h)^2 / (T^2 h^2 r) + 1,333 h)} + \frac{100 \cdot \rho_j r f_V(r) (\partial \sigma / \partial T)}{\sigma} \quad (12)$$

Расчеты термоградиентных коэффициентов по (12) показывают, что для большинства строительных материалов основной вклад в термопоток дает первое слагаемое, т. е. неизотермический перенос пара и жидкой пленки в капиллярах, не заполненных жидкостью.

Зависимости термоградиентного коэффициента от объемного влагосодержания имеют характерный максимум, который, как правило, соответствует началу движения жидкой фазы воды. Как видно на рис. 1, при влагосодержании, соответствующем началу движения жидкой фазы, наблюдается достаточно резкое возрастание термоградиентных коэффициентов газосиликата и керамзитобетона до максимума, а затем постепенное уменьшение. На начальной стадии увлажнения и при влагосодержании, близком к насыщению, значения термоградиентных коэффициентов близки к нулю.

Неизотермический поток влаги, описываемый уравнением (1), приведем к градиентам относительных потенциалов влажности θ_o :

$$J_{\theta} = -a_w \frac{\nabla w}{\nabla \theta_0} \nabla \theta_0 + a_w \frac{\nabla w}{\nabla \theta_0} \frac{\nabla \theta_0}{\nabla T} \nabla T, \quad (13)$$

где $\nabla w / \nabla \theta_0 = c_{\theta}$ — удельная влагоемкость материала, отнесенная к потенциалам влажности; $a_w c_{\theta} = a_{\theta}$ — коэффициент потенциалопроводности влаги; $\nabla \theta / \nabla T = \delta_{\theta}$ — термодиффузионный коэффициент, отнесенный к потенциалам влажности.

Неизотермический поток влаги, отнесенный к потенциалам влажности, с учетом выше принятых обозначений* будет иметь следующий вид:

$$J_{\theta} = -a_{\theta} \nabla \theta + a_{\theta} \delta_{\theta} \nabla T. \quad (14)$$

Расчетные формулы для термодиффузионного коэффициента в уравнении (14) можно получить, разделив значение термодиффузионного коэффициента δ_{θ} , определяемого по формуле (12), на удельную изотермическую влагоемкость, отнесенную к потенциалам влагопереноса:

$$\delta_{\theta} = \delta_w \frac{\nabla \theta}{\nabla w} = \delta_w / c_{\theta}. \quad (15)$$

Все зависимости имеют максимум при потенциале 42°В . Именно при этом значении потенциала в зависимостях влагосодержаний происходит излом, который, как показано выше, отмечает начало движения жидкой фазы влаги.

Зависимости значений термодиффузионного коэффициента δ_{θ} (рис. 2) от относительного потенциала влагопереноса достаточно плавно возрастают до максимума и убывают при потенциале, большем 42°В , что является достаточно ценным свойством при решении задач с переменными коэффициентами.

Если сравнить эти зависимости, то можно заметить, что при малом влагосодержании значения термодиффузионных коэффициентов близки к нулю. Это объясняется тем, что при малом влагосодержании энергия связи адсорбированного слоя воды с внутренней поверхностью пор влажного материала очень велика. При достижении значения влагосодержания, при котором начинается движение жидкой фазы влаги, происходит очень резкое увеличение термодиффузионного коэффициента до максимума при очень незначительном изменении влагосодержания. Практически такой скачок значения коэффициента означает разрыв функции, что осложняет решение дифференциальных уравнений влагопереноса. Поэтому можно считать определенным преимуществом зависимости коэффициента, отнесенного к потенциалу влажности, ее более плавное изменение, повышающее чувствительность уравнения (14) по сравнению с уравнением (1) практически во всем диапазоне изменения потенциалов и устраняющее опасность разрыва функции изменения коэффициента.

Ключевые слова: пористые тела, термовлагопроводность.

Список литературы

1. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. 520 с.
2. Чураев А.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах. М.: Химия, 1990. 212 с.

СибСтройЭкспо

Совместно с  IDES
SIBERIA



Международная выставка строительной техники, оборудования и технологий

1 – 4 октября 2013 года

Новосибирск, Россия

В рамках выставки:

- ✓ Строительная и дорожная техника
- ✓ Строительное оборудование и инструмент
- ✓ Строительные материалы и конструкции
- ✓ Бетон, цемент, бетонное оборудование
- ✓ Строительная инженерия
- ✓ Средства индивидуальной защиты
- ✓ Мобильные здания

При поддержке:



Правительство
Новосибирской
области



Мэрия
г. Новосибирска



Организатор
ИТЕ Сибирская Ярмарка
Тел.: +7 (383) 363-00-63
shmigidin@sibfair.ru

Место проведения
«Новосибирск
Экспоцентр»

www.SibStroyExpo.ru

* В дальнейшем с целью упрощения обозначений индекс при относительном потенциале не указывается, т. е. $\theta_0 = \theta$.

В.И. КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук, Московский государственный университет путей сообщения; А.Г. КЕСАРИЙСКИЙ, канд. техн. наук, ООО «Лаборатория комплексных технологий» (г. Павлоград, Украина); Д.А. ГРЕБЕННИКОВ, А.В. КЕНДЮК, Е.В. ТАРАРУШКИН, инженеры, Московский государственный университет путей сообщения

Применение голографической интерферометрии для изучения сложноструктурированных материалов

Строительные материалы представляют собой сложноструктурированные многоуровневые системы, корректное описание свойств которых наиболее плодотворно может быть выполнено методами структурно-имитационного моделирования, предполагающего использование структурно-имитационных моделей (СИ-модели). При этом технология структурно-имитационного моделирования интерпретируется как процесс формирования информации об отдельных структурных элементах системы, моделируемой на ЭВМ (материала и/или технологии его получения), условиях их сопряжения (между собой и окружающей средой) с последующим воспроизведением на ЭВМ протекающих в системе процессов [1].

Для построения адекватных реальным процессам СИ-моделей необходимо знание явлений, происходящих в строительном композите при различного рода воздействиях. Для их изучения перспективным является применение метода лазерной голографической интерферометрии (ЛГИ-метода). Это обусловлено возможностью бесконтактно и безынерционно проводить измерения перемещений на натуральных объектах без специальной подготовки их поверхностей с чувствительностью 0,1–0,3 мкм и регистрацией перемещений не только в точке, но и в виде поля перемещений, что значительно более информативно, особенно в случае сложноструктурированных неоднородных систем.

Объектами для исследований при действии сжимающей статической нагрузки служили строительные материалы на цементном вяжущем, отличающиеся по структуре и технологии изготовления: бетоны на гранитном щебне, полученные по вибрационной и ротационной технологиям, керамзитобетон, пенобетон и арболит.

Измерения проводили с использованием виброзащищенной голографической установки (рис. 1, а) двумя методами – в реальном времени (по схеме Лейта–Упатниекса, рис. 1, б) и с двойной экспозицией (по схеме Денисюка, рис. 1 в) [2].

При регистрации полей перемещений по методу реального времени (рис. 1, б) излучение гелий-неонового лазера 1 марки ЛГН 215 через оптический затвор 2 зеркала

лом 3 направлялось на светоделитель 4, после которого формировался опорный световой поток, равномерно освещающий фотопластинку 10 через зеркало 5 и микрообъектив 7, и предметный световой поток, освещающий исследуемую поверхность бетонного образца 11 посредством зеркала 6 и микрообъектива 8. Регистрировали голограммы на голографические фотопластинки ПФГ-01, а после их обработки и прецизионной установки на место экспонирования для записи динамических интерферограмм применяли цифровую видеокамеру 9.

В ходе экспериментов с применением метода реального времени установлено, что из-за высокой податливости бетонных образцов при сжатии интерференционная картина наблюдается в незначительном диапазоне изменения нагрузки. Это не позволяет изучать динамику поведения бетона от момента приложения тестового воздействия до разрушения образца. При этом усложняется и анализ интерферограмм с высокой пространственной частотой полос, наблюдающихся в зонах высокоградиентных деформаций.

Для решения этой проблемы был использован метод двойной экспозиции, при которой интерферограмма регистрировалась при изменении напряжений $\Delta\sigma$, составляющем незначительную величину разрушающей нагрузки.

При регистрации интерферограмм по методу двойной экспозиции (рис. 1, в) излучение лазера 1 через затвор 2 поступает на зеркала 3 и 4. При помощи микрообъектива 5 и коллимирующей линзы 6 лазерное излучение освещает исследуемую поверхность объекта 7, проходя через голографическую фотопластинку 8. Оси коллимированного пучка и оптическая ось регистратора 9 восстановленных интерферограмм устанавливались так, чтобы нормаль к центру исследуемой поверхности образца соответствовала биссектрисе угла между ними, что обеспечивало максимальную чувствительность измерительной схемы к нормальной компоненте вектора перемещений.

В процессе исследования после установки фотопластинки 8 открывался затвор 2 и регистрировалось исходное состояние исследуемой поверхности объек-

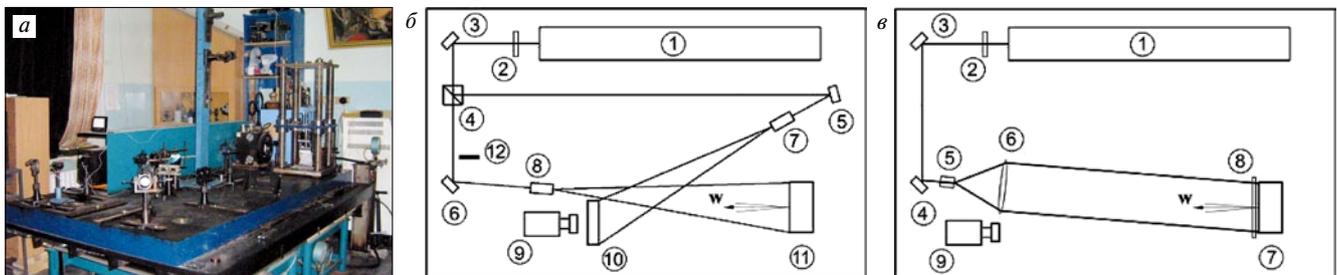


Рис. 1. Голографическая установка (а); схемы регистрации голографических интерферограмм в реальном времени (б) и с двойной экспозицией (в)

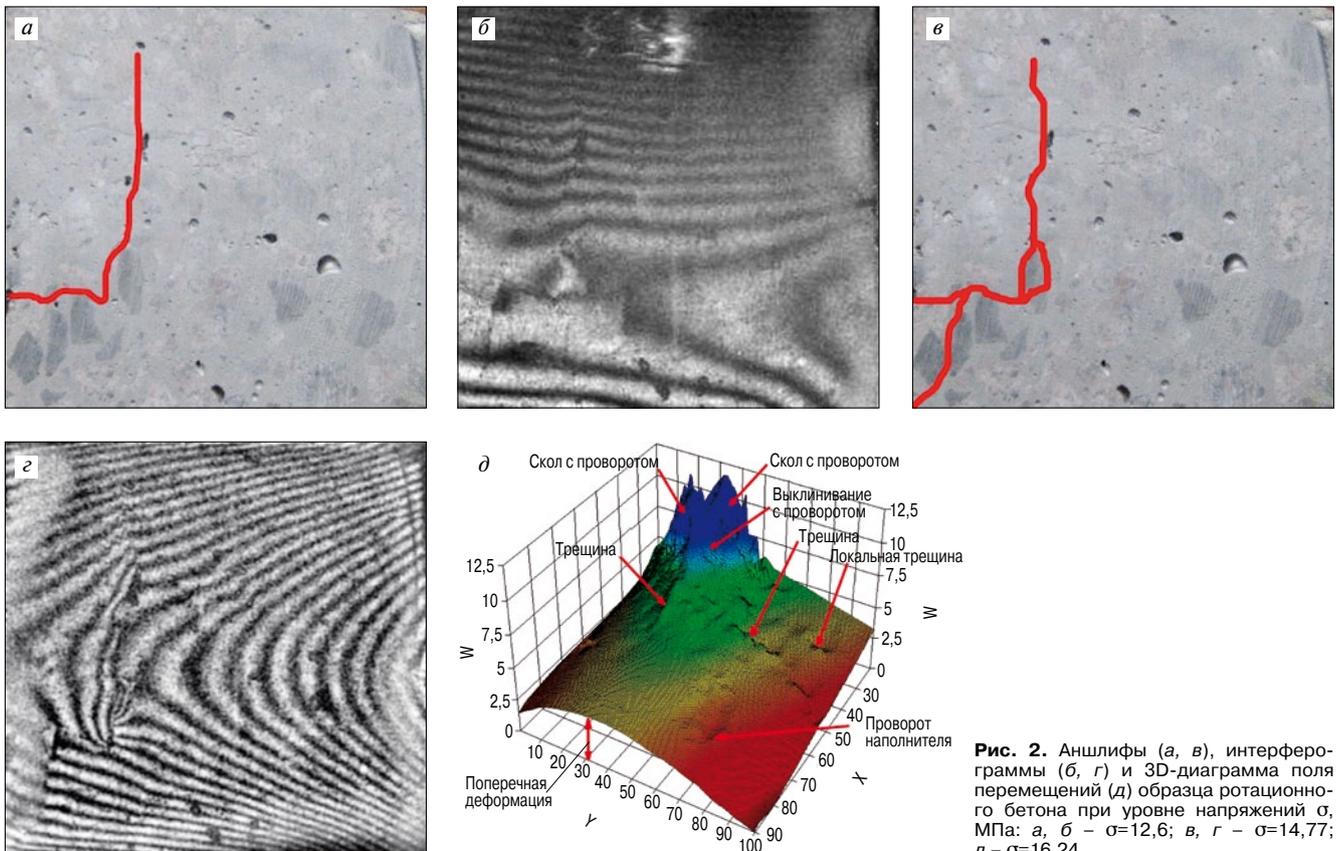


Рис. 2. Аншлифы (а, в), интерферограммы (б, г) и 3D-диаграмма поля перемещений (д) образца ротационного бетона при уровне напряжений σ , МПа: а, б – $\sigma=12,6$; в, г – $\sigma=14,77$; д – $\sigma=16,24$

та 7. Затем к бетонному образцу прикладывали нагрузку, после чего затвор 2 открывался для второй экспозиции. Дважды экспонированная фотопластинка извлекалась и подвергалась химической обработке.

ЛГИ-методами устанавливали отличие в поведении тяжелого бетона на гранитном щебне, полученного по ротационной (методом механического набрызга) и вибрационной технологиям.

На рис. 2 представлены аншлифы, интерферограммы поля перемещений и 3D-интерпретация интерферограммы для бетонного образца, изготовленного по ротационной технологии [3]. При этом образец был повторно нагружен до уровня напряжений $\sigma = 12,6$ МПа (регистрацию интерферограммы проводили при перепаде напряжений $\Delta\sigma = 1$ МПа) после полной разгрузки.

На интерферограмме рис. 2, б отчетливо проявляются аномальные изгибы интерференционных полос, характерные для зон начала трещинообразования (красная линия на рис. 2, а). Причем визуальное наблюдение зоны искажения интерференционных полос даже при использовании оптических приборов не позволяет обнаружить наличие трещины.

Дальнейший рост напряжений до $\sigma = 14,77$ МПа ($0,3 R_{сж}$ при однократном нагружении) приводит к появлению предвестников оптически ненаблюдаемых псевдотрещин – аномальных высокоградиентных зон деформаций и началу формирования блоков (рис. 2, в, г). По мере роста напряжений в образце сеть псевдотрещин развивается, формируя дополнительные блоки. Наглядно происходящие в образце процессы показаны на графике поля перемещений поверхности образца в виде 3D-интерпретации интерферограммы (рис. 2, д при $\Delta\sigma = 1,47$ МПа). Отметим, что значения углов проворота наполнителя невелики и при перепаде напряжений $\Delta\sigma = 2,1$ МПа составляют всего $0,003$ град, однако интерферограмма позволяет отчетливо выявить аномальное поведение этих структурных элементов.

На рис. 3 показана интерферограмма для тяжелого бетона, полученного по вибрационной технологии.

В зоне 1 на рис. 3, а отчетливо проявляется выклинивание мелкого заполнителя, окруженного более крупными зернами щебня. В зоне 2 нагрузка приводит к аномальному деформированию крупного зерна щебня, который проворачивается относительно связующего. Зона 3 представляет собой развивающуюся оптически неразличимую псевдотрещину в виде области высокоградиентных деформаций, которая проходит между элементами заполнителя по наиболее податливым участкам связующего (рис. 3, д).

По мере роста нагрузки зоны трещинообразования расширяются и формируются блоки, обозначенные красными линиями на рис. 3, в при уровне напряжений $\sigma = 21,1$ МПа. Угол проворота наполнителя при этой нагрузке составлял $0,0047$ град. При дальнейшем росте напряжений до $\sigma = 28$ МПа идет активная деформация центральной части образца, что проявляется как зона пониженного контраста интерференционных полос, и последующее его разрушение при незначительном увеличении нагрузки.

На рис. 4 показаны структурные изменения в образце легкого бетона на керамзитовом заполнителе при уровне напряжений $\sigma = 10,55$ МПа.

Под сжимающей нагрузкой в образце легкого бетона формируются блоки – области, ограниченные ранее образовавшимися трещинами и протяженными зонами высокоградиентных деформаций. На интерферограмме отчетливо выделяются четыре основные такие области. Область 1 – центральный блок в виде фрагмента, отделенного от основного массива сеткой трещин. Область 2 – скол части образца с боковой поверхности. Область 3 – участок высокоградиентных нормальных перемещений основного массива, частично ослабленного трещиной. Область 4 – локальный всплеск нормальных перемещений на участке, поте-

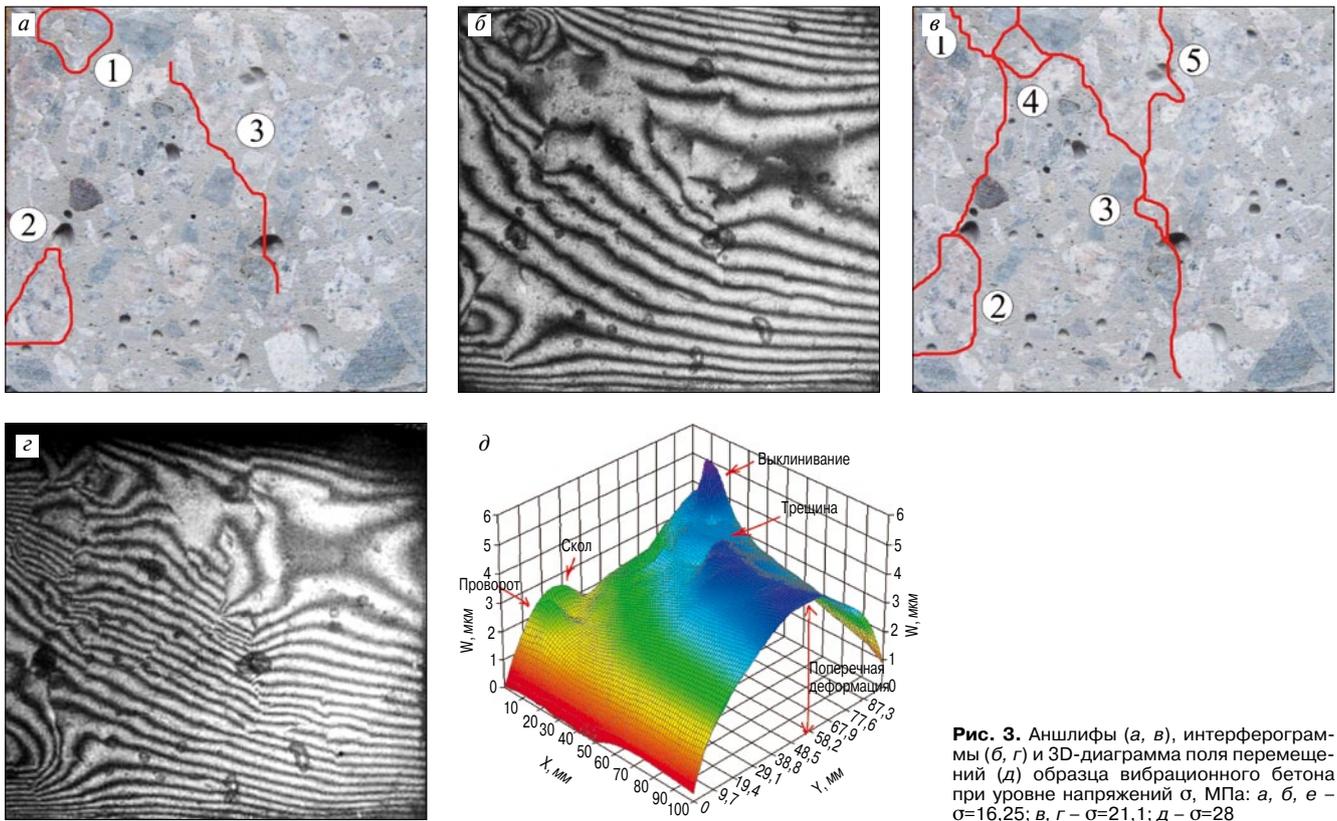


Рис. 3. Аншлифы (а, в), интерферограммы (б, г) и 3D-диаграмма поля перемещений (д) образца вибрационного бетона при уровне напряжений σ , МПа: а, б, е – $\sigma=16,25$; в, г – $\sigma=21,1$; д – $\sigma=28$

рившем, по-видимому, механическую связь с основным телом образца. Особо следует отметить, что области 2, 3 и 4 на интерферограмме имеют пониженный контраст, что свидетельствует об активной их деформации в этой зоне даже за короткий период экспозиции, составляющий $t_{эк} = 8$ с. При этом особый интерес вызывает метастабильность положения области 1, что скорее всего вызвано противодействием сил со стороны областей 2 и 3. При данной нагрузке образец уже содержит основные поверхности разделения и сохраняет целостность только благодаря геометрическому замыканию отдельных блоков.

На рис. 5 приведена диаграмма деформирования образца пенобетона плотностью 500 кг/м^3 с ниспадающей ветвью. Индексы 1–7 на кривой деформирования определяют состояние образца в моменты регистрации голографических интерферограмм.

До уровня напряжений в образце, составляющих 45–50% от разрушающих напряжений σ_p , наблюдается линейное деформирование образца, соответствующее

упругой области кривой деформирования. Но уже при достижении уровня напряжений $\sigma = 0,62\sigma_p$ поле перемещений теряет свою равномерность и начинают проявляться первые признаки разрушения образца (рис. 6, а-1). Локальные искажения интерференционных полос в зоне «а» характеризуют участок потенциального выклинивания части материала. В зоне «б» обнаруживаются разрывы интерференционных полос, свидетельствующие о зарождении в ней трещины.

Незначительное снижение нагрузки (4–5%) на восходящей ветви кривой деформирования позволяет констатировать, что уровень упругих деформаций на этой стадии деформирования начинает существенно уменьшаться, о чем свидетельствует падение частоты полос по сравнению с предыдущей интерферограммой, полученной при том же перепаде и уровне нагрузки. Интерферограмма на рис. 6, а-2 позволяет обнаружить необратимую зону зарождения трещины, хорошо различимую в зоне «а». При этом наблюдается полное отсутствие аномалий в верхней части образца, что свидетель-

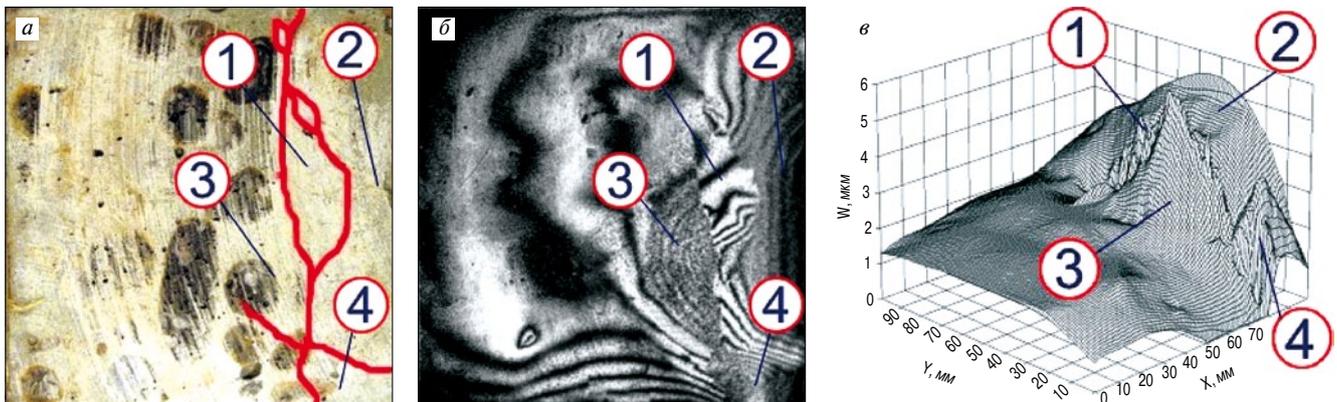


Рис. 4. Аншлиф (а), интерферограмма (б) и 3D-диаграмма поля перемещений (в) в образце легкого бетона при уровне напряжений $\sigma = 10,55$ МПа

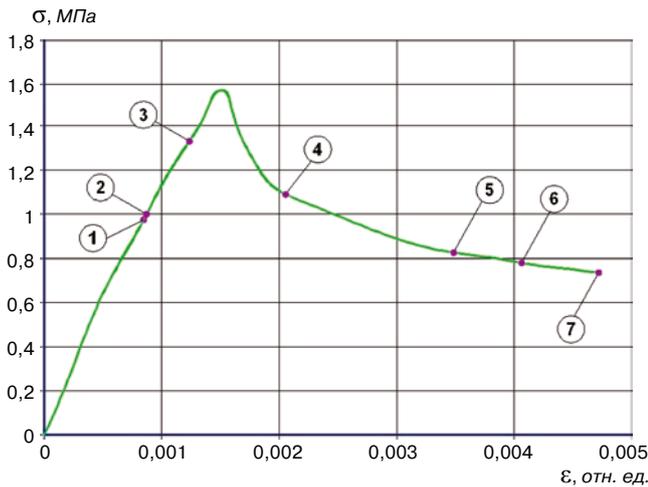


Рис. 5. Диаграмма σ - ϵ пенобетона плотностью 500 кг/м³ при сжатии

стует об упругом характере деформирования на участке ранее обнаруженных локальных дефектов и отсутствии деструкции образца в этой зоне.

Дальнейшее увеличение нагрузки на образец приводит к активному развитию ранее обнаруженных аномалий деформирования – по разрывам в интерференционных полосах (зоны «а» и «б» на рис. 6, а-3) при $\sigma = 0,85\sigma_p$ отчетливо проявляются трещины, которые визуально не идентифицируются.

Особенностью деформирования образца пенобетона на восходящей ветви является то, что даже в процессе образования трещин развитие деформаций сравнительно быстро затухает, а общее напряженно-деформированное состояние образца стабилизируется, о чем свидетельствует хороший контраст интерферограмм, представленных на рис. 6.

На ниспадающей ветви характер интерферограмм претерпевает существенные изменения. Так, например, на интерферограмме, полученной при снижении уровня напряжений до $0,69\sigma_p$ (рис. 7-4), зона «а» выглядит

темной вследствие того, что даже за короткое время экспонирования 4–5 с темп развития в ней нормальных к поверхности образца деформаций составлял не менее 0,05 мкм/с.

Зона «б» на рис. 7-4 испытывает сильное влияние деформирующейся части, о чем свидетельствует пониженный контраст интерференционных полос. При этом, основываясь на существовании зоны локальной стабильности «г», можно предполагать, что эта часть образца сохраняет стабильность как единое целое, но подвергается повороту за счет усилий со стороны разрушающейся центральной части. В зоне «в» формируется локальный максимум перемещения без образования трещины, что свидетельствует о наличии внутреннего силового давления, возникающего при взаимодействии двух крупных блоков.

Падение напряжений в образце до уровня $0,51\sigma_p$ происходит на фоне активной подвижности зоны «а» (рис. 7-5). При этом видно, что темп деформации снижается, поскольку прослеживается расширение стабильности состояния зоны «б». Зона «в» стабилизируется как единый блок, но еще испытывает активное силовое воздействие зоны «а» со стороны внутренней структуры, поскольку границы блоков отчетливо просматриваются и практически не имеют существенной силовой взаимосвязи.

Структура наблюдаемых трещин при $0,50\sigma_p$ (рис. 7-6) позволяет подтвердить предположения о механизме разрушения, основанные на анализе предшествующих интерферограмм. Блок «а» выполняет роль силового клина, а блок «б» сохранил целостность структуры за счет отдаления от блока «а» по магистральной трещине. Энергия разрушения в основном расходовалась на деструкцию приграничных зон по берегам магистральных трещин. Блок «в» подвергался активному воздействию со стороны блока «а», но сохранил целостность структуры даже в своей нижней части. Блок «г» сформировался трещинами, наблюдаемыми еще на ранних стадиях деформирования образца.

Дальнейшее воздействие усилия на образец приводит в основном к взаимному смещению блоков (рис. 7-7), сколам приграничных областей и снижению

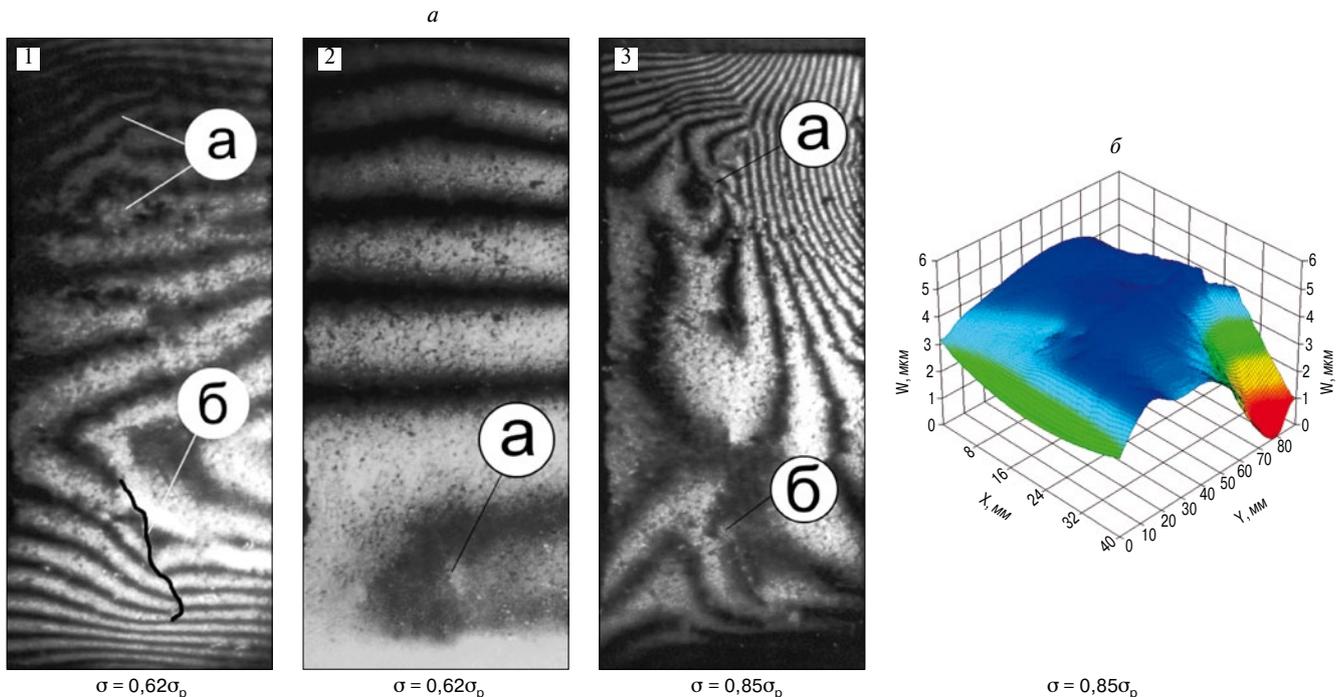


Рис. 6. Интерферограммы пенобетона (а) на восходящей ветви диаграммы σ - ϵ с индексами 1–3 и 3D-диаграмма поля перемещений (б)

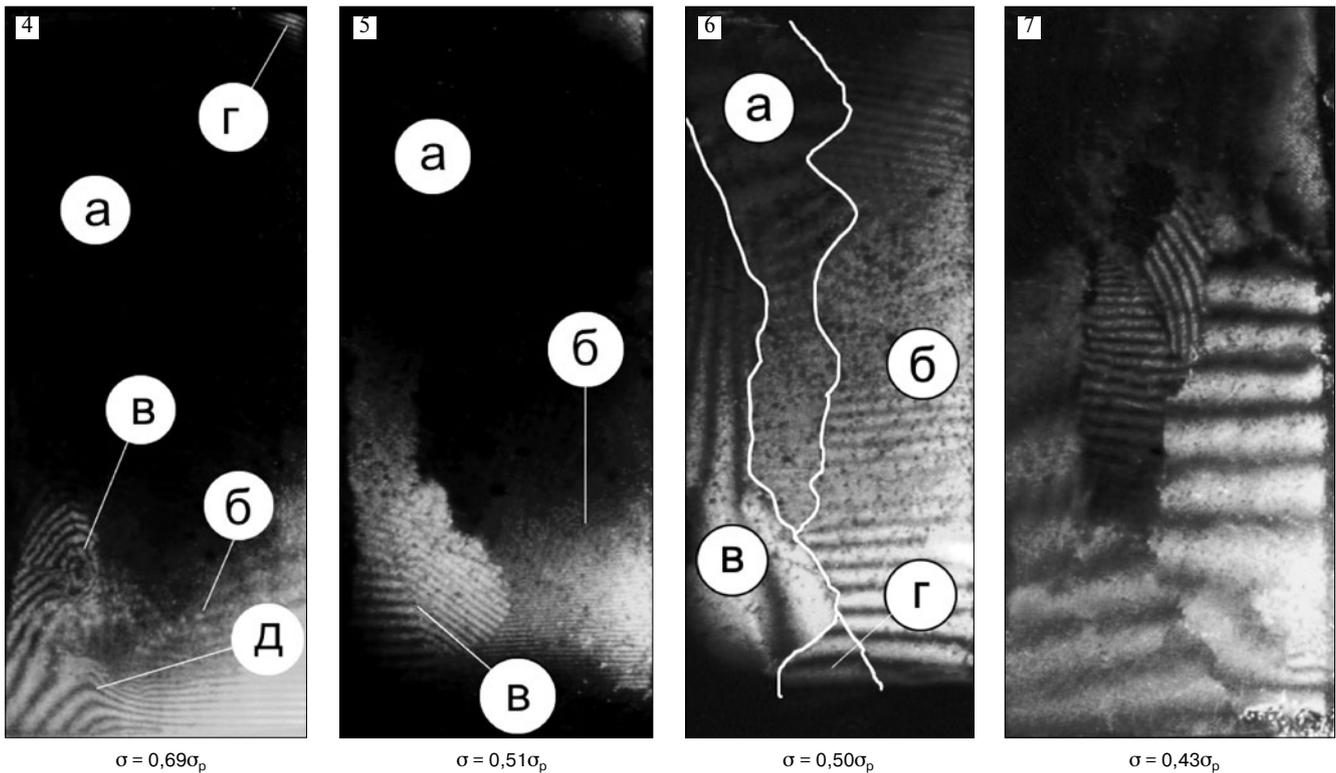


Рис. 7. Интерферограммы пенобетона на ниспадающей ветви σ - ϵ

общего уровня несущей способности образца, сопровождающегося его распадом на отдельные блоки.

Исследование процесса разрушения арболита имеет свои особенности. Точная привязка перемещений к конкретным элементам такой сложноструктурированной системы, как арболит, весьма затруднительна в силу крайне большого количества древесных частиц и границ их контакта. Но сопоставительный анализ поверхности образца и интерферограмм показывает, что зарождение трещин начинается либо в зоне несплошностей (поз. 1, 4 на рис. 8, в), либо в зоне древесного заполнителя более крупного (чем окружающие) размера (поз. 2, 3 на рис. 8, в). Сочетание этих факторов приводит к наиболее вероятному началу разрушения (поз. 5 на рис. 8, в). Особенно рельефно аномальные перемещения, характеризующие появление трещин, видны на 3D-диаграмме нормальных к поверхности образца перемещений (рис. 8, г).

С целью визуализации особенностей активной фазы поведения образца проведен эксперимент по контролю поля перемещений при снижении напряжений с $0,42$ до $0,39\sigma_p$. Полученная интерферограмма (рис. 9, а) позволила установить, что незначительное (на 7%) снижение нагрузки при среднем уровне нагружения приводит к

существенной деструкции арболита, сопровождающейся образованием локальных зон аномальной деформации при сохранении несущей способности образца как целого.

При этом проявляется целый ряд особенностей переходной фазы деформирования арболита, на которой единая цельная структура превращается в конгломерат отдельных элементов, связанных геометрическими замыканиями. Зона 1 (рис. 9, б) представляет собой низкоградиентный участок перемещений, сохраняющий свойства исходного материала. Но и в этой зоне идут локальные вычленения на крупные (поз. 2) и мелкие (поз. 3) фрагменты. В остальной части образца присутствуют фрагменты, которые выкрашиваются (поз. 4); более жесткие участки (поз. 5), сохраняющие локальную целостность; зоны с различными градиентами поворота (поз. 6) и участки сверхвысоких деформаций (поз. 7), соответствующие зонам локальной текучести.

Снижение в три раза перепада тестирующих напряжений (с $\Delta\sigma = 0,06$ кПа до $\Delta\sigma = 0,02$ кПа) позволило уменьшить изменение деформаций и рассмотреть изменения характера распределения поля перемещений с ростом напряжений в образце. Поскольку на этой стадии нагружения (при $\sigma = 0,55\sigma_p$) целост-

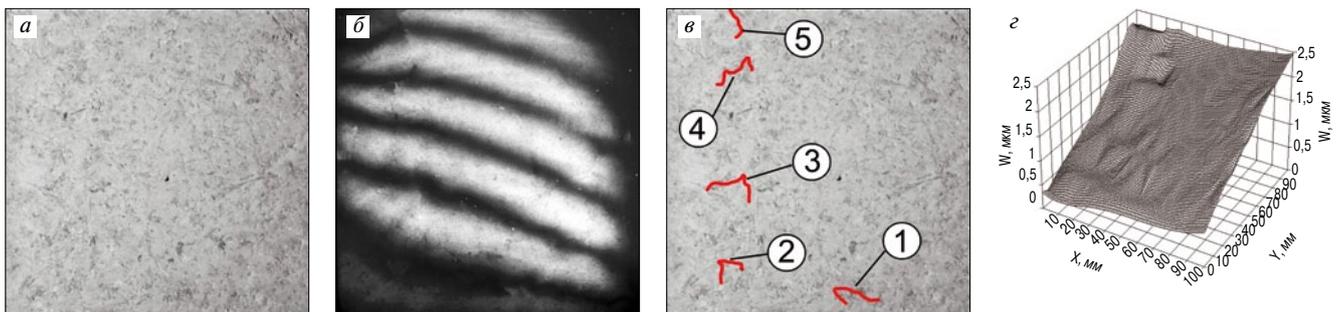


Рис. 8. Лазерная интерферометрия арболита при сжатии ($\sigma=0,16\sigma_p$): а – исходный образец; б – интерферограмма образца; в – идентификация зон аномальных перемещений образца; г – 3D-диаграмма перемещений

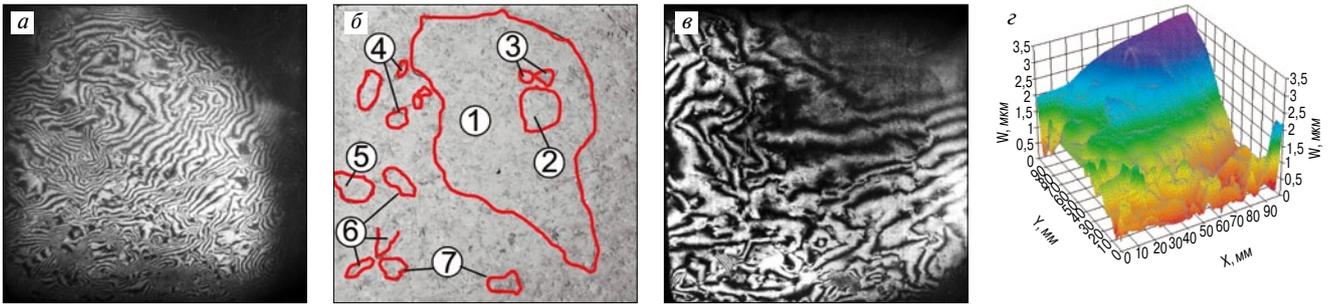


Рис. 9. Лазерная интерферометрия арболита при различном уровне нагружения: а – интерферограмма образца при $0,39\sigma_p$; б – тот же образец с идентификацией аномальных перемещений; в – интерферограмма образца при $0,55\sigma_p$; г – 3D-диаграмма перемещений при $0,55\sigma_p$

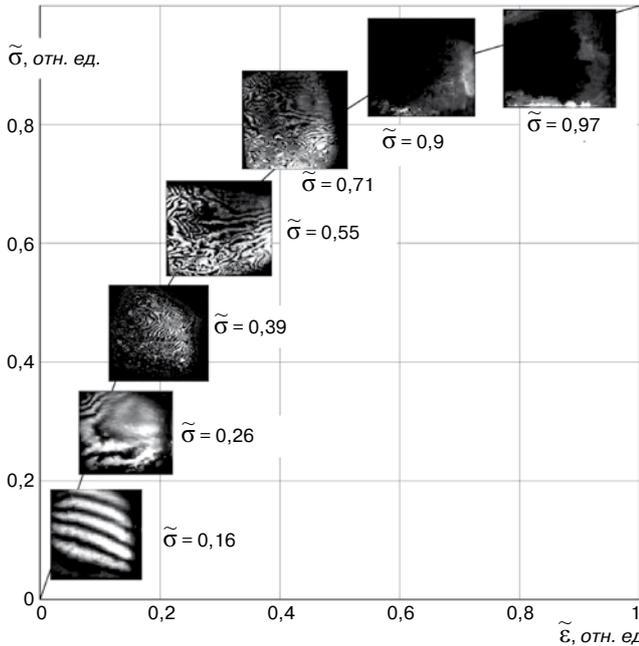


Рис. 10. Интерферограммы процессов разрушения арболита с привязкой к диаграмме $\bar{\sigma}-\bar{\epsilon}$

ность образца определяется в основном кинематическим замыканием отдельных подвижных элементов, количественный анализ интерферограмм остается затруднительным (рис. 9, в). Тем не менее использование 3D-диаграммы нормальных к поверхности образца перемещений (рис. 9, г) позволило отчетливо идентифицировать зоны текучести, проявлявшиеся ранее как низкоконтрастные участки интерферограмм. При этом в левой и нижней частях образца происходит интенсивное дробление структуры на составляющие элементы, соизмеримые с размером древесного заполнителя.

Привязка интерферограмм процессов деформирования арболита к диаграмме $\bar{\sigma}-\bar{\epsilon}$ (в приведенных координатах напряжений $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_p$ и $\bar{\epsilon} = \epsilon/\epsilon_p$, где σ – текущее значение сжимающих напряжений; ϵ – то же, относительных деформаций; σ_p – напряжения при разрушении арболита; ϵ_p – то же, относительные деформации) показана на рис. 10.

Таким образом, подтверждена высокая информативность ЛГИ-метода для изучения сложнструктурированных систем. Его применение для изучения поведения строительных материалов, отличающихся структурой и технологией получения, позволило установить новые элементарные акты процесса их разрушения при действии статической сжимающей нагрузки. К ним относятся: а – образование высокоградиентных

линейно-протяженных зон повышенных упруго-пластических деформаций, являющихся зонами диссипации энергии разрушения сложнструктурированных материалов; б – проворот заполнителя в матрице; в – образование блочной структуры в материале под нагрузкой, состоящей из отдельных «упругих» блоков, окаймленных высокоградиентными линейно-протяженными зонами. В неоднородных материалах формирование таких блоков начинается на ранних стадиях деформирования, а в относительно однородных (пенобетоне) – перед разрушением.

Сделанные выводы согласуются, в частности, с ранее опубликованными результатами: по провороту заполнителя – с экспериментальной работой [4] и теоретической моделью бетона [5]; по образованию блочных структур – с теоретической работой [6] и экспериментально-теоретическими работами в области горных пород акад. М.А. Садовского и его школы [7] – и могут найти применение для создания строительных композитов со специальными свойствами на основе адекватных реальным процессам их деформирования математических моделей.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, строительные композиты, сжимающая нагрузка, формирование структурных блоков.

Список литературы

1. Кондращенко В.И. Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения / Авт. дис. докт. техн. наук, М., 2005. 48 с.
2. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982. 504 с.
3. Гусев Б.В., Кондращенко В.И., Дюженко М.Г. Безвибрационная технология изготовления подрельсовых оснований // Техника и технология силикатов. 2003. № 1–2. С. 40–44.
4. Кондращенко В.И., Полонский В.Ю., Христич В.В., Бабушкин В.И. Исследование деформации цементного камня и бетона при механическом и тепловом воздействиях методом голографической интерферометрии // Механика композитных материалов. 1996. Т. 32. № 2. С. 202–208.
5. Никишкин В.А. Влияние структуры и плотности на прочность и деформативность плотного строительного бетона и его составляющих. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. 269 с.
6. Скоробогатов С.М. Блочно-поворотная структура реального твердого пористого тела // Вестник отделения строительных наук. Вып. 4. 2001. С. 173–176.
7. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойстве дискретности горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 12. С. 3–19.

КОЛЛЕГИ



К 80-летию Г.И. Бердова

Редакция и редакционный совет поздравляют Геннадия Ильича Бердова, доктора технических наук, профессора кафедры строительных материалов и специальных конструкций Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

Г.И. Бердов родился 4 июня 1933 г. в с. Косиха Алтайского края, где в 1951 г. окончил с золотой медалью среднюю школу. Затем Геннадий Ильич поступил в Томский государственный университет на физический факультет, который с отличием окончил в 1956 г. и, несмотря на возможность сразу после окончания университета начать научную деятельность, пошел работать на Новосибирский электровакуумный завод, где прошел путь от инженера до начальника Особого конструкторского бюро. Пытливый ум, широкая эрудиция и трудолюбие позволили Г.И. Бердову защитить в 1963 г. кандидатскую, а в 1975 г. докторскую диссертацию. В 1977 г. д-р техн. наук Г.И. Бердов был избран заведующим кафедрой химии Новосибирского инженерно-строительного института (Сибстрин). С 2012 г. он перешел на кафедру строительных материалов и специальных конструкций. За время работы в Сибстрине Геннадий Ильич подготовил более 30 кандидатов и 10 докторов наук.

Кроме научной и педагогической деятельности Г.И. Бердов вел значительную общественную работу. В декабре 1995 г. он был избран депутатом Государственной Думы РФ, где работал в комитете по экологии. Он принимал участие в разработке таких законов, как «Об охране озера Байкал», «Об отходах производства и потребления», «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» и др.

Заслуги Г.И. Бердова отмечены медалью «За доблестный труд», орденом «Знак Почета» и др. знаками и медалями, ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации».

Редакция и редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Геннадия Ильича Бердова с юбилеем и желают крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, творческих успехов.

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

В Татарстане запущен новый завод

В начале июня в пос. Сюкеево Камско-Устьинского района РТ начал работу новый завод по производству стройматериалов на основе гипса.

Завод был построен компанией «Фоника» за четыре года, сумма инвестиций в создание предприятия составила 5 млрд р. — собственные средства и кредиты Сбербанка. Срок окупаемости проекта 4,5 г. Это крупнейший в Татарстане завод по производству гипсовых стройматериалов полного цикла.

На территории гипсового рудника возведен комплекс, состоящий из подземного рудника по добыче гипса, восточного карьера, установок по обжигу гипса, газопоршневой энергетической станции, производственных линий

по выпуску сухих строительных смесей и гипсокартона. В III квартале 2013 г. планируется запуск линии по производству пазогребневых плит. Линии оснащены современным зарубежным оборудованием, на заводе создано 450 рабочих мест.

Годовая производственная мощность предприятия составляет 120 тыс. т сухих строительных смесей, 15 млн м² гипсокартона и 300 тыс. м² пазогребневых плит в год. Планируемый объем выпуска составляет 2,2 млрд р. в год. С таким объемом компания планирует к 2015 г. занять 5% российского рынка. Продавать продукцию будут под торговой маркой «Аксолит».

По материалам пресс-службы Президента РТ

В Ульяновской области будет построена фабрика по обработке щебня

Соответствующее соглашение подписано губернатором области и генеральным директором ООО «Ташлинский горно-обогатительный комбинат». Ориентировочная производительность предприятия составит около 30 т/ч. На реализацию проекта по строительству фабрики по измельчению и классификации щебня планируется направить более 150 млн р. Предполагается, что на предприятии будет создано более 30 рабочих мест. Срок реализации проекта 2013—2015 гг. Помимо будущей фабрики Ташлинский ГОК

подготовил еще семь самостоятельных проектов. Это модернизация первой линии ГОК, которая в настоящее время почти завершена, а также планы по модернизации второй и строительству третьей линий. Кроме того, горно-обогатительный комбинат намерен начать реализацию проектов по созданию производства мела и кварцевой муки, освоению Тереньгульского месторождения песков.

Реализация проекта в Сенгилеевском районе позволит удовлетворить потребность всего региона в высококачественном щебне.

По материалам портала «Бетон.Ру»

Компания «Лафарж» начинает поставки нового цемента

Воскресенский цементный завод, принадлежащий компании «Лафарж» Россия, приступил к поставкам нового «зеленого» типа цемента — ЦЕМ II/A-3 42,5 Б. ЦЕМ II/A-3 42,5 Б — это быстротвердеющий портландцемент, основной особенностью которого является то, что массовая доля клинкера в его составе ниже, чем в обычном цементе, за счет использования до 20% минеральных добавок, в данном случае золы-уноса. Уменьшение количества клинкера в це-

менте дает два преимущества: сокращение потребления невозобновляемых природных ресурсов и сокращение выбросов парниковых газов. ЦЕМ II/A-3 42,5 Б — инновационный продукт для российского рынка, и «Лафарж» стал первой компанией, производящей его на европейской территории России. В настоящее время данный продукт поставляется только навалом и предназначен для производства высокопрочного бетона на заводах. В планах компании запуск производства тарированного продукта.

По материалам компании «Лафарж» в России

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Группа ЛСР завершила модернизацию ДСК

Группа ЛСР завершила модернизацию домостроительного комбината в Санкт-Петербурге. Производственная мощность предприятия доведена до 500 тыс. м² в год.

В ходе технического перевооружения домостроительный комбинат был оснащен самым современным и высокотехнологичным оборудованием производителей Weckenmann, BBS (Германия), Eaglefinn Oy, SAL-Product Oy (Финляндия), Schnell (Италия), EVG (Австрия). На предприятии внедрена автоматизированная система проектирования AllPlan Precast компании Nemetschek, позволяющая осуществлять трехмерное моделирование зданий и сооружений, включая проектирование общего конструктива, архитектурных особенностей и инженерных систем. Создано несколько типов проектов, разнообразных по своим архитектурным и планировочным решениям.

Предприятие способно возводить здания до 25 этажей с высотой потолков готовых помещений 2,6 и 2,8 м. Гибкие объемно-планировочные решения позволяют обеспечивать необходимое соотношение одно-, двух-, трех- и четырехкомнатных квартир площадью от 33 до 108 м². В результате модернизации предприятие осуществило полный переход на возведение зданий с применением энергоэффективной «бесшовной» технологии отделки фасадов, позволяющей до 30% уменьшить теплопотери.

Домостроительный комбинат Группы ЛСР в Санкт-Петербурге обеспечивает полный цикл строительства жилых объектов из сборного железобетона «под ключ», включая проектирование, производство и строительство. Масштабная инвестиционная программа по модернизации проводилась без остановки производства, основной объем финансирования проекта осуществлялся за счет собственных оборотных средств предприятия.

По материалам компании Группа ЛСР

Завод холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» включен в программу социально-экономического развития Воронежской области

Инвестиционный проект «Строительство новой технологической линии по производству цемента производительностью 6 тыс. т клинкера в сутки, реализованный холдингом на территории Подгоренского муниципального района, включен в программу социально-экономического развития Воронежской области на 2012–2016 гг. Согласно инвестиционному соглашению предприятие получило областную поддержку: в соответствии с действующим законодательством «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» освобожден на пять лет от уплаты налога на имущество; ставка налога на прибыль в части, подлежащей за-

числению в областной бюджет, установлена в размере 13,5%. Новый высокотехнологичный завод холдинга по производству цемента «сухим» способом в пгт Подгоренский Воронежской области запущен в декабре 2012 г. Новое производство было построено с нуля за три года. Благодаря новейшим технологиям производства и «зеленым» решениям нормы потребления топлива на предприятии в 1,6 раза ниже, чем у завода, работающего по традиционному способу производства цемента, а производственные выбросы снижены в 2,5 раза по сравнению с нормативными показателями. Полная производственная мощность предприятия составит 3 млн т цемента в год.

По материалам компании «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»

«ПЕНОПЛЭКС» увеличил производственные мощности

Компания «ПЕНОПЛЭКС» увеличила производственные мощности на своей самой крупной площадке в г. Кириши (Ленинградская область) до 2,5 млн м³ в год.

В настоящее время ведутся пусконаладочные работы, новая линия по выпуску теплоизоляции на основе экструдированного пенополистирола работает в тестовом режиме. Выпуск продукции осуществляется по экологичной технологии без использования озоноразрушающего фреона, которая была отлажена и выверена именно на этой площадке. Все теплоизоляционные плиты ПЕНОПЛЭКС® проходят контроль качества в собствен-

ной сертифицированной лаборатории на каждом этапе производственного цикла и обладают стабильно высокими показателями.

Киришская площадка «ПЕНОПЛЭКС» кроме выпуска конечного продукта (экструдированного пенополистирола), имеет собственное производство полистирола мощностью 50 тыс. т в год. Предприятие также оснащено оборудованием по производству полимерной мембраны ПЛАСТФОИЛ® и декоративно-отделочных элементов на основе экструдированного пенополистирола ПЛИНТЭКС®.

По материалам компании «ПЕНОПЛЭКС»

Немецкая фирма поставит оборудование в Казань

Компания Sommer Anlagentechnik GmbH (Германия) в рамках модернизации первой очереди ООО «КДСК» (завод крупнопанельного домостроения в Казани), входящего в группу ООО «Ак Барс Девелопмент», поставит оборудование на сумму 700 млн р.

Финансирование проекта будет осуществляться с привлечением кредитных средств Сбербанка. Проект включен в федеральную программу модернизации стройиндустрии России и заявлен для компенсации процентной ставки по кредиту.

Программа модернизации КДСК включает установку нового универсального технологического оборудования, позволяющего перестраивать его в короткие сроки в соответствии с изменением номенклатуры выпускаемых изделий. Объемы производства после первого этапа модернизации, на которую потребуется примерно год, составят 150 тыс. м² жилья в год. Также рассматривается возможность дальнейшего увеличения мощностей завода.

По материалам пресс-службы «Ак Барс Девелопмент»

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>