Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича

К.ф.-м.н., зам. генерального директора по науке М.В. Кнатько,
ОАО «СПбЗНИиПИ» (ранее ЛенЗНИИЭП);
к.т.н., докторант А.С. Горшков*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
к.ф.-м.н., профессор П.П. Рымкевич,
Военная инженерно-космическая академия им. А.Ф.Можайского

Под долговечностью наружных ограждающих конструкций следует понимать срок их службы с сохранением в требуемых пределах эксплуатационных характеристик в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации зданий. При этом срок службы отдельных элементов и заполнений ограждающих конструкций должен быть не ниже срока службы всей конструкции.

Ограждающие конструкции зданий (стены, кровля, окна) подвергаются воздействию внешних климатических и техногенных воздействий и обеспечивают поддержание в зданиях требуемых параметров микроклимата. Очевидно, что в процессе эксплуатации вследствие негативного влияния факторов окружающей среды (знакопеременные температурные воздействия, периодические увлажнения и высушивания конструкций, воздействие агрессивных сред окружающей среды, солнечной радиации и пр.) происходит постепенная деградация (снижение) эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций. При достижении показателей, количественно отражающих остаточный ресурс эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций, принимаются меры по их восстановлению (в ходе текущего и капитального ремонтов), а в случае значительного износа – по сносу или реконструкции здания.

Объективная оценка долговечности стеновых ограждающих конструкций позволяет, с одной стороны, рассчитать затраты на проведение текущих и капитального ремонтов здания, и как следствие, численные значения ежегодных амортизационных отчислений, а с другой стороны, позволяет произвести оценку эффективности мероприятий, связанных с внедрением энергосберегающих технологий.

Если фактический срок службы до первого капремонта ограждающей стеновой конструкции окажется меньше периода окупаемости мероприятий, направленных на повышение ее энергоэффективности, все сэкономленные в результате уменьшения затрат энергии на отопление здания материальные средства будут потрачены на проведение его текущих и капитального ремонтов. При этом нельзя забывать, что затраты на проведение последующих ремонтов здания фактически означают те же затраты энергии: на демонтаж и утилизацию вышедших из строя конструктивных элементов здания, на производство новых материалов (добыча полезных ископаемых, доставка их на завод, переработка и т.д.), на доставку материалов к объекту строительства, на работу машин и механизмов и т.д.

Таким образом, срок службы (долговечность) ограждающих стеновых конструкций является систематическим и комплексным критерием их энергоэффективности.

В нашей стране значительный вклад в развитие учения о прогнозировании долговечности различных строительных материалов и конструкций внесли многие видные ученые [1-8]. Среди исследований последних лет следует выделить следующие работы [9-17].

Методика проведения испытаний

В настоящей работе описывается методика оценки эксплуатационного срока службы двухслойной стеновой конструкции по аттестованной во ФГУП «ВНИИФТРИ» методике выполнения измерений МВИ 23-5117-2005 [18]. Одновременные лабораторные и натурные испытания проводились в течение 4,5 лет в Испытательном Центре (руководитель Пестряков И.И.) ОАО «СПбЗНИиПИ» (ранее ЛенЗНИИЭП) под общим руководством заместителя генерального директора по науке Кнатько М.В.

Предлагаемая методика проведения испытаний на долговечность [18] базируется на интегральном механизме накопления повреждений. В основе методики лежит модель, согласно которой эксплуатационный срок службы (долговечность) испытываемой стеновой конструкции зависит от интенсивности, амплитуды и времени воздействия на конструкцию знакопеременных температурных колебаний наружного воздуха. Однако в отличие от распространенных методик оценки морозостойкости различных строительных материалов (ГОСТ 10060.0-4, ГОСТ 31359 и др.) данная методика учитывает конкретные параметры климатической

активности выбранного региона, а также более точно моделирует процессы воздействия внешних и внутренних параметров окружающей среды на материал стены. При испытании на морозостойкость материал обычно подвергается объемному замораживанию, а в процессе испытания в климатической камере – одностороннему, т.е. так же, как и в реальных условиях эксплуатации, что более объективно отражает процессы разрушения материалов в результате изменения фазового состояния накопленной ими влаги.

При воздействии отрицательных температур на внешнюю поверхность стены в различные периоды времени года с отрицательными температурами происходит постоянное перемещение по толщине стены фронта отрицательных температур. При замерзании влаги происходит ее увеличение в объеме, что может приводить к разрушению межпоровой структуры материала. В результате появляются центры концентрации напряжений в материале (микродефекты), которые при последующем попадании в них влаги и замораживании с неопределенной вероятностью могут разрастаться, а в общем случае и объединяться с другими такими же центрами. Кроме того, при одностороннем замораживании-оттаивании различные слои испытываемой стеновой конструкции неравномерно изменяются в объеме по толщине (чего при объемном замораживании практически не происходит). В результате неравномерного по толщине изменения объема материала появляются дополнительные механизмы разрушения стеновой конструкции на границе раздела фазового состояния влаги в поровом пространстве материала стены.

Описание испытываемой стеновой конструкции

Объектом исследования является стеновая конструкция, состоящая из внутреннего слоя, сложенного из газобетонных блоков автоклавного твердения марки по плотности D500 (толщиной 400 мм), облицованных снаружи силикатным одинарным пустотелым лицевым кирпичом (в полкирпича).

Слои скреплены между собой посредством гибких металлических связей (не менее 3 штук с площадью поперечного сечения связей не менее 0,5 см^2 на 1 м^2 поверхности стены в соответствии с требованиями СТО 501-52-01-2007). С внутренней стороны стена оштукатурена. Суммарная толщина конструкции составляет 540 мм.

Выбор испытываемой стеновой конструкции обусловлен широким применением ее в практике строительства в выбранном климатическом регионе. Схематично разрез испытываемой стеновой конструкции показан на рис. 1.

Характеристики газобетонных блоков (из паспорта изделия):

- размер изделия: 400×250×625 мм;
- проектный класс – В2;
- прочность – 3,4 МПа;
- морозостойкость – F35;
- нормируемая объемная масса – 500 кг/м^3.

Характеристики облицовочного силикатного кирпича (в соответствии с данными, приведенными в сертификате качества):

- условное обозначение изделия СОПЛ 150/75;
- размер изделия: 250×120×65 мм;
- водопоглощение – 11.7 %;
- коэффициент теплопроводности – 0,67 Вт/м·°С.

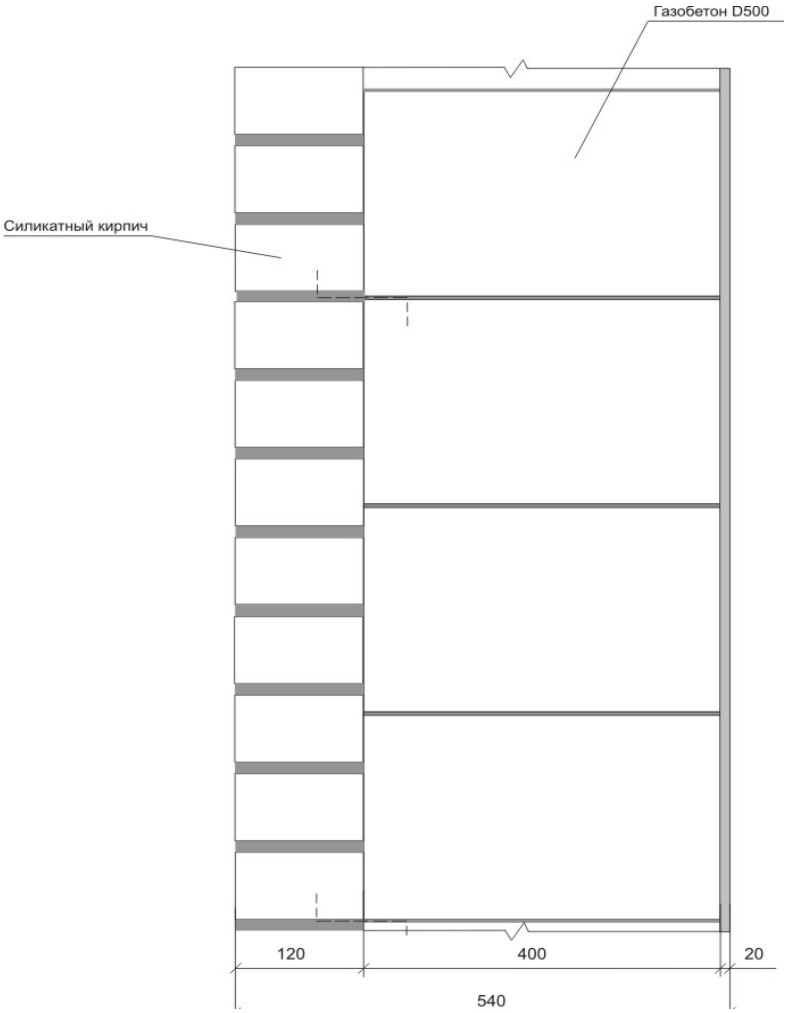

Рисунок 1. Схематическое изображение испытываемой конструкции

Условия проведения испытаний

Для повышения достоверности результатов испытаний одновременно испытываются два фрагмента стеновой конструкции: один в лабораторных условиях, другой – в натурных. С этой целью фрагмент стеновой конструкции, аналогичный испытываемому в лабораторных условиях, размещается в проеме существующего здания (фото 1). В течение всего периода проведения испытаний на натурном фрагменте в различные периоды времени года исследуются процессы распределения влажности и температуры по его толщине. Полученные на основании натурных исследований данные используются, в том числе, для корректировки лабораторных испытаний.

Фото 1

Фото 2

Фото 3

Достоверность полученных в ходе лабораторных исследований данных существенным образом зависит также от степени адекватности лабораторных условий реальным эксплуатационным воздействиям. Сложившаяся к настоящему времени практика проведения таких исследований основана на использовании климатических камер. В климатических камерах осуществляется моделирование эксплуатационных воздействий на крупноразмерные фрагменты стеновых конструкций (КФСК). Фрагменты стеновых конструкций изготавливаются в виде прямоугольных параллелепипедов (фото 2, 3), при этом их размеры (длина и ширина) в соответствии с ГОСТ 26254 не менее чем в четыре раза превышают их толщину и составляют не менее 1500×1000 мм.

Фото 4

Фото 5

Фото 6

Испытания проводятся в климатической камере (фото 4), состоящей из двух отсеков – теплого и холодного, в которых имитируются, соответственно, температурно-влажностные условия помещений квартиры и улицы в наиболее неблагоприятные с точки зрения эксплуатационных воздействий периоды года.

Для удобства работы и обработки информации климатическая камера оснащается автоматизированной системой управления (фото 4), а также компьютерной системой сбора, обработки и накопления измерительной информации (датчики температуры и влажности – фото 5).

Эксплуатационные воздействия

В «теплом» отсеке климатической камеры поддерживается температура воздуха 20±1°С и влажность 45…60%. Климатические и техногенные воздействия в «холодном» отсеке камеры моделируются в лабораторных условиях путем проведения следующих видов испытаний:

- попеременное дождевание-высушивание, в том числе в агрессивной среде, характерной для воздушной среды Санкт-Петербурга;

- попеременное охлаждение-нагревание, моделирующее влияние на строительные конструкции суточных и сезонных колебаний температуры воздуха в кратковременные периоды времен года – заморозков в осенний период и оттепелей в весенне-зимний период;
- глубокое замораживание-оттаивание, моделирующее влияние на строительные конструкции самых низких отрицательных температур окружающего воздуха, характерных для выбранного региона строительства (в данном случае – для климатических условий Северо-Запада).

Для составления программы испытаний стеновой конструкции на долговечность были использованы результаты обработки метеорологических данных климатической активности в Санкт-Петербурге за последние 15 лет, собранные в Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова.

Параметры дождевания испытываемой стеновой конструкции были рассчитаны на основании сбора информации об объемах осадков, выпадающих в течение двух месяцев, предшествующих началу заморозков. С учетом данных об объемах осадков и средней скорости ветра за рассматриваемый период времени была вычислена доля осадков, которые увлажняют во время прохождения дождей вертикальные поверхности стен. Полученные таким образом данные были использованы впоследствии для расчета производительности дождевальной установки (фото 6).

В состав воды для дождевания добавляются химические вещества. Состав и концентрация добавок в водный раствор соответствуют их количественным и качественным показателям в дождевой влаге рассматриваемого района строительства. Состав для дождевания готовится из смеси дистиллированной воды и соответствующих агрессивных веществ, оказывающих разрушающее действие на материалы испытываемой стеновой конструкции.

Контролируемые параметры

Эксплуатационными (контролируемыми в процессе проведения испытаний) параметрами испытываемой стеновой конструкции являются основные факторы, обеспечивающие безопасность и комфортные условия проживания, а именно

1. Прочность. В процессе проведения циклических испытаний прочность определяется отдельно для каждого слоя стеновой конструкции с использованием неразрушающих методов контроля (метода ударного импульса (фото 1, 2) для облицовочного слоя из силикатного кирпича, метода вырывания анкерного устройства (фото 7) для газобетонной части стеновой конструкции), и кроме того, малоформатные фрагменты стеновой конструкции испытываются на прессе до разрушения.
2. Сопротивление теплопередаче. Сопротивление теплопередаче определяется после каждого цикла испытаний, соответствующего определенному периоду эксплуатации испытываемой конструкции.

Фото 7

Обработку результатов измерений выполняют после проведения соответствующих циклов испытаний образцов, вычисляя значение контролируемого параметра как среднее арифметическое результатов для всех образцов с точностью до одного знака после запятой, и границы его доверительного интервала при надежности 0,95.

Для оценки достоверности полученных результатов используются методы статистической обработки результатов испытаний. Достоверность разницы между средними арифметическими значениями какого-либо контролируемого параметра, измеренного методами неразрушающего контроля после проведения заданного количества циклических климатических и техногенных воздействий, подсчитывается по следующей эмпирической формуле (с поправкой на малое число измерений):

$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \geq 3 + \frac{6}{n-4}, \quad (1)$$

где M_1 и M_2 – средние арифметические значения контролируемого параметра, например, прочности, измеренной с помощью приборов неразрушающего контроля, до (M_1) и после (M_2) заданного количества циклов воздействий;

m_1 и m_2 – средние ошибки средних арифметических M_1 и M_2 соответственно;

n – число наблюдений (при различном числе наблюдений в формулу подставляют меньшее значение);

6/(n-4) – поправка на малое число наблюдений.

Численные значения эксплуатационных параметров (прочности, сопротивления теплопередаче) определяются до начала проведения испытаний, а также после заданного количества циклических климатических воздействий, соответствующих определенному количеству лет эксплуатации испытываемой стеновой конструкции. Параметры соответствия моделируемых климатических воздействий и заданного срока эксплуатации испытываемой конструкции (например, соответствующего одному году эксплуатации) приведены в МВИ 23-5117-2005 [18]. Испытания проводятся до тех пор, пока достоверность изменения контролируемого параметра во времени не достигнет заданного уровня, достаточного для объективной оценки эксплуатационного срока службы конструкции. После обработки результатов испытаний строится регрессионная зависимость, характеризующая степень снижения контролируемого параметра в зависимости от заданного количества циклов испытаний, т.е. от времени эксплуатации.

При построении регрессионной модели были использованы следующие виды функциональных зависимостей:

- линейная;
- степенная;
- экспоненциальная;
- полиномиальная 3-й степени;
- логарифмическая.

В качестве критерия при окончательном выборе регрессионной зависимости с целью последующей оценки на ее основе долговечности испытываемой стеновой конструкции был принят минимум среднеквадратического отклонения функции регрессии от фактических (измеренных в процессе проведения испытаний) эксплуатационных параметров.

При достижении численным значением эксплуатационного параметра заданного критического уровня производится оценка долговечности (эксплуатационного срока службы, например, до первого капремонта) в условных годах эксплуатации. В качестве критического уровня может быть выбрана та или иная степень снижения несущей способности стеновой конструкции или уменьшения сопротивления теплопередаче до допустимого нормами уровня (минимально допустимого для заданного климатического района – 1.94 $м^2 \cdot °С/Вт$).

Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Испытываемая конструкция (или ее часть, фрагмент)	Параметр, по которому производится оценка долговечности	Приближенная оценка эксплуатационного срока службы (до первого капремонта) стеновой конструкции, в условных годах эксплуатации (УГЭ)
1	2	3	4
1.	Стеновая конструкция (в целом)	Сопротивление теплопередаче R	> 100 лет
2.	Наружный облицовочный слой из силикатного кирпича	Прочность (методом ударного импульса)	87 лет
3.	Кладка из газобетона (часть кладки, обращенной в сторону внутреннего помещения) ≈ ⅔ толщины	Прочность методом вырывания анкерного устройства)	> 100 лет
4.	Кладка из газобетона (часть кладки в месте примыкания ее к наружному облицовочному слою) ≈ ⅓ толщины	Прочность (методом вырывания анкерного устройства)	60 лет
5.	Стеновая конструкция (в целом)	Прочность (при испытаниях фрагментов стены на прессе)	Достоверность результатов недостаточна для оценки долговечности с требуемой надежностью

Обсуждение результатов испытаний

Испытания показали, что кладка из газобетонных блоков разрушается неравномерно (см. рис. 2 и данные таблицы 1): внутренняя ее часть (≈2/3 толщины) подвергается разрушению менее интенсивно по сравнению с ее наружной частью (≈1/3 толщины), которая примыкает непосредственно к наружному облицовочному слою. Более интенсивное разрушение наружной части кладки из газобетона происходит вследствие накопления повышенного содержания влаги на этом участке стеновой конструкции в зимний период эксплуатации (до 16 % по массе). В результате совместного воздействия влаги и знакопеременных температур наружная часть стеновой конструкции разрушается более интенсивно. Накопление влаги связано с различием коэффициентов паропроницаемости газобетона и силикатного кирпича. Примыкание силикатного кирпича к кладке из газобетона создает дополнительный барьер на пути движения водяного пара в результате его диффузии из помещений наружу. При этом влажность внутренних слоев газобетона не превышает 3-4%. Средняя, равновесная по толщине газобетонной части стеновой конструкции, весовая влажность по окончании первого отопительного периода составила 12,2%, по окончании второго – 7,1%, т.е. с течением времени происходит уменьшение равновесного содержания влаги в поровом пространстве материала. Однако тенденция к более интенсивному накоплению влаги на границе раздела сред с различными коэффициентами паропроницаемости сохраняется.

Оценка эксплуатационного срока службы (долговечности)

На основании полученных результатов прогнозируемый срок службы испытанной стеновой конструкции до первого капремонта составит 60 лет (в УГЭ). Данное положение основано на следующем предполагаемом механизме разрушения стеновой конструкции, аналогичной испытываемой:

- в результате снижения прочности той части кладки из газобетона, которая примыкает к наружному облицовочному слою (см. рис. 2), еще до исчерпания окончательного ресурса наружной облицовкой из силикатного кирпича (≈87 лет в соответствии с результатами испытаний) может произойти отделение отдельных фрагментов облицовки от газобетонной части стены;
- в результате частичного обрушения наружного облицовочного слоя могут возникнуть благоприятные условия для дальнейшего обрушения облицовки; кроме того, на отдельных участках стеновой конструкции уменьшится ее толщина, что приведет к снижению теплозащитных свойств данной ограждающей конструкции.

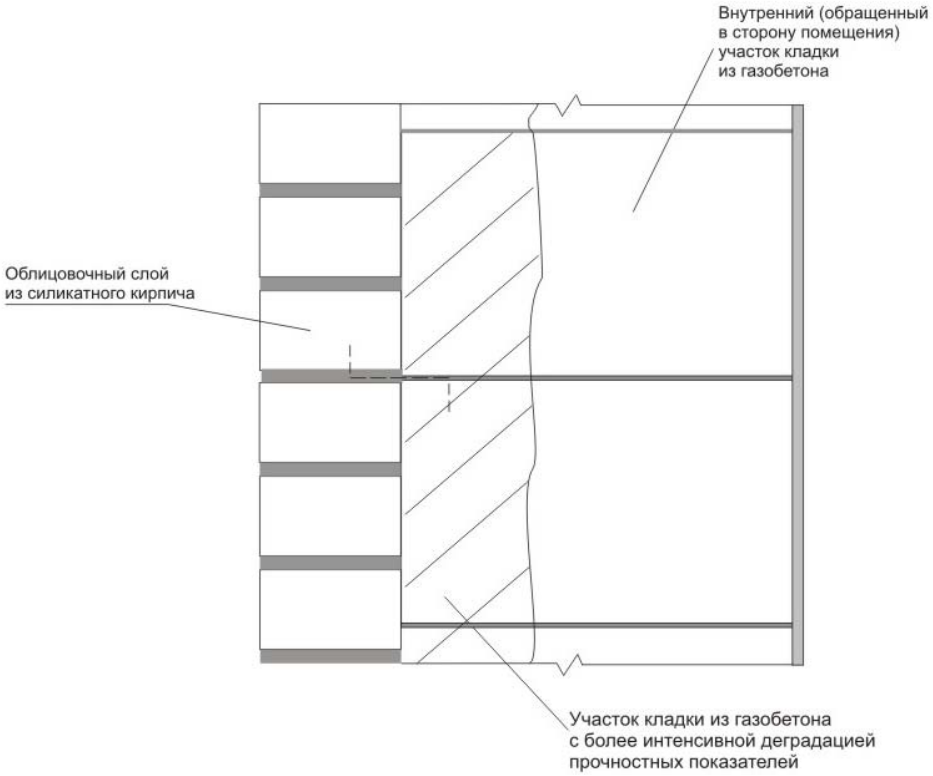

Рисунок 2. Схема разрушения испытываемой стеновой конструкции

Таким образом, основным разрушающим критерием испытываемой стеновой конструкции, по которому следует в данном случае производить оценку ее эксплуатационного срока службы до первого капремронта, применительно к выбранной модели разрушения следует принять долговечность кладки из газобетона, конкретнее, той ее части, которая примыкает к наружному облицовочному слою.

При этом следует отметить, что при правильной эксплуатации, т.е. при условии ненакопления влаги в наружной части газобетонной кладки, ресурс стены из газобетонных блоков составит 100 и более лет эксплуатации.

Выводы

Эксплуатационный срок службы до первого капремонта стеновой конструкции из газобетона, облицованной снаружи силикатным кирпичом, без воздушного зазора между слоями составляет 60 лет.

Ресурс (долговечность) при правильной эксплуатации испытанной стеновой конструкции составляет более 100 лет.

Для увеличения срока службы стеновой конструкции из газобетонных блоков с кирпичной облицовкой необходимо создавать условия для эффективного удаления влаги, особенно с той ее части, которая примыкает к облицовочному слою. Для этого в процессе проектирования и возведения кладки необходимо предусматривать воздушный вентилируемый зазор между слоями кладки (20-40 мм). Кроме того, для крепления облицовочного слоя к кладке из газобетонных блоков необходимо использовать гибкие металлические связи со сроком эксплуатации не менее 50 лет.

Литература

1. Власов О.Е. и др. Долговечность ограждающих и строительных конструкций (физические основы). М.: Стройиздат, 1963. 115 с.
2. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
3. Колотилкин Б.М. Долговечность жилых зданий. М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. 254 с.
4. Колотилкин Б.М. Проблемы долговечности и надежности жилых зданий. М.: Изд-во «Знание», 1969. 46 с.
5. Александровский С.В. Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций. – В кн. Исследования по строительной теплофизике (Сб. трудов НИИСФ). М.: Госстрой СССР, 1984. С. 81-95.
6. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: РААСН, 2004. 332 с.
7. Бобров Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 168 с.
8. Бобров Ю.Л., Рябчиков С.Л. Инженерный метод прогнозирования долговечности минераловатных изделий в ограждающих конструкциях. М.: МИСИ, 1983. 263 с.
9. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // Строит. материалы. 2002. №5. С. 33-35.
10. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строит. материалы. 2008. №4. С. 56-59.
11. Ананьев А.А., Козлов В.В.. Дуденкова Г.Я., Ананьев А.И. Долговечность лицевого кирпича и камня в наружных стенах зданий // Строит. материалы. 2007. №2. С. 56-58.
12. Ананьев А.А., Дуденкова Г.Я., Козлов В.В. Долговечность керамического кирпича и камня в наружных стенах. – Жилищное строительство. 2007. №3. С. 13-15.
13. Батрак В.Е., Бобряшов В.В., Бобряшов В.М. Метод оценки долговечности теплоизоляции при действии эксплуатационных нагрузок // Труды I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования». Санкт-Петербург, 26-27 июня 2008 г. С. 76-85.
14. Батрак В.Е., Бобряшов В.В., Бобряшов В.М. Метод оценки работоспособности полимерных заполнителей трехслойных панелей при действии длительных эксплуатационных нагрузок // Кровельные и изоляционные материалы. 2009. №1. С. 57-59.
15. Инчик В.В. Влияние метеорологических факторов на долговечность зданий и сооружений Санкт-Петербурга // Труды I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования». Санкт-Петербург, 26-27 июня 2008 г. С. 102-107.
16. Бессонов И.В. Фасады тонкие, но стойкие…// Строительство. 2008. №10. С. 123-125.
17. Бессонов И.В., Алехин С.В. Оценка стойкости к климатическим воздействиям фасадных систем наружного утепления с тонким штукатурным слоем // Кровельные и изоляционные материалы. 2009. №1. С. 12-15.
18. МВИ 23-5117-2005 «Ограждающие стеновые конструкции. Метод определения сопротивления климатическим воздействиям и оценка долговечности при ускоренных испытаниях». СПб.: СПбЗНИиПИ, 2006. – 29 с.

РХС РЕГИОНХАУСТРОЙ

Офис продаж «Север»:
С-Пб, Шафировский пр., д.17 Литера О
Тел. многоканальный:
+ 7 (812) 644-60-60

Офис продаж «Юг»:
С-Пб, пр. Народного ополчения, д.10
Тел. многоканальный:
+ 7 (812) 644-60-60

WWW.PXC-SPB.RU