

А.С. ГОРШКОВ, канд. техн. наук,
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний

Определение эксплуатационного срока службы (долговечности) ограждающих стеновых конструкций является в настоящее время одной из важнейших задач современного строительства. Под долговечностью наружных ограждающих конструкций следует понимать срок их службы с сохранением требуемых 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.

Стены, кровля и окна подвергаются воздействию внешних климатических и техногенных воздействий и обеспечивают поддержание в зданиях требуемых параметров микроклимата. Очевидно, что в процессе эксплуатации вследствие негативного влияния окружающей среды (знакопеременные температурные воздействия, периодические увлажнения и высушивания конструкций, воздействие агрессивных факторов 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 ремонта), а в случае значительного износа – по сносу или реконструкции здания.

Объективная оценка долговечности стеновых ограждающих конструкций позволяет, с одной стороны, рассчитать затраты на проведение текущего и капитального ремонта здания и, как следствие, численные значения ежегодных амортизационных отчислений, а с другой – позволяет произвести оценку эффективности мероприятий, связанных с внедрением энергосберегающих технологий. Для того чтобы оценить экономическую целесообразность данных мероприятий, необходимо знать срок службы (эффективной эксплуатации) внедряемых технологий.

Если фактический срок службы до первого капитального ремонта 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 текущего и капитального ремонта. При этом нельзя забывать, что затраты на проведение последующего ремонта 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, достав-

ка материалов к объекту строительства, работа 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 можно выделить [9–17].

В настоящей работе представлена 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 И.И. Пестряков) ОАО «СПбЗНИИПИ» (ранее ЛенЗНИИЭП) под общим руководством заместителя генерального директора по науке М.В. Кнатько.

Предлагаемая методика [18] проведения испытаний на долговечность 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 10060.0-4–95, ГОСТ 31359–2007 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 отрицательной температуры на внешнюю поверхность стены в различные периоды времени года с отрицательной температурой происходит постоянное перемещение по толщине стены фронта отрицательной температуры. 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 и

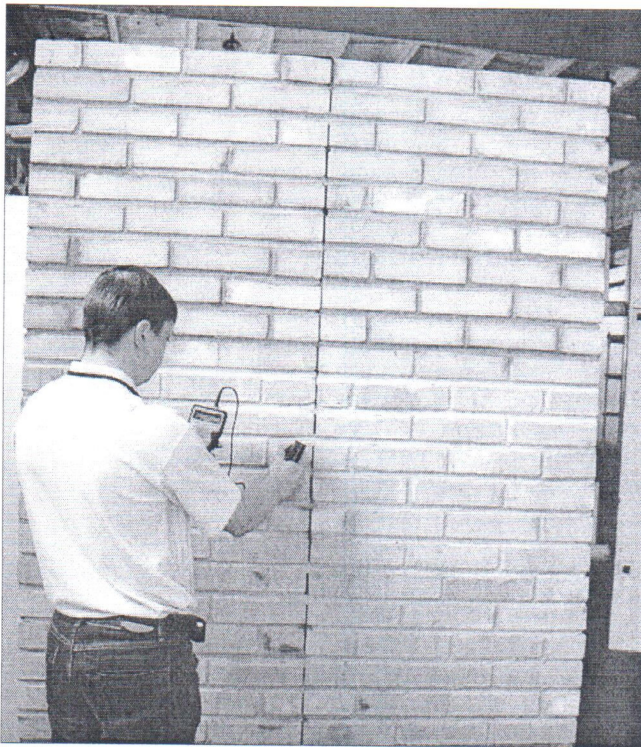


Рис. 3. Крупноразмерный фрагмент стеновой конструкции для лабораторных испытаний

отрицательной температуры окружающего воздуха, характерной 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.

В состав воды для дождевания добавляются химические вещества. Состав и концентрация добавок 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.

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

- **Прочность.** В процессе проведения циклических испытаний прочность определяется отдельно для каждого слоя стеновой конструкции с использованием неразрушающих методов контроля: метода ударного импульса (рис. 2, 3) для облицовочного слоя из силикатного кирпича, метода вырывания анкерного устройства (рис. 4) для газобетонной части стеновой конструкции; кроме того, малоформатные фрагменты стеновой конструкции испытываются на прессе до разрушения.
- **Сопrotивление теплопередаче** рассчитывается после каждого цикла испытаний, соответствующего определенному периоду эксплуатации испытываемой конструкции.

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 арифмети-

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)
Стеновая конструкция в целом	Сопrotивление теплопередаче R	> 100 лет
Стеновая конструкция в целом	Прочность (при испытаниях фрагментов стены на прессе)	Достоверность результатов недостаточна для оценки долговечности с требуемой надежностью
Наружный облицовочный слой из силикатного кирпича	Прочность (методом ударного импульса)	87 лет
Кладка из газобетона (часть кладки, обращенной в сторону внутреннего помещения) $\approx 2/3$ толщины	Прочность (методом вырывания анкерного устройства)	> 100 лет
Кладка из газобетона (часть кладки в месте примыкания ее к наружному облицовочному слою) $\approx 1/3$ толщины	Прочность (методом вырывания анкерного устройства)	60 лет

ческих 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 численного значения эксплуатационного параметра до 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 (санитарно-гигиенического – $1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$; минимально допустимого для заданного климатического района – $1,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ применительно к условиям Санкт-Петербурга). Результаты испытаний приведены в таблице.

Испытания показали, что кладка из газобетонных блоков разрушается неравномерно (рис. 5 и табл.): внутренняя ее часть ($\approx 2/3$ толщины) подвергается разрушению менее интенсивно по сравнению с наружной частью ($\approx 1/3$ 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 мас. %). В результате совместного воздействия влаги и знакопеременной температуры 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%. Средняя, равновесная по толщине газо-

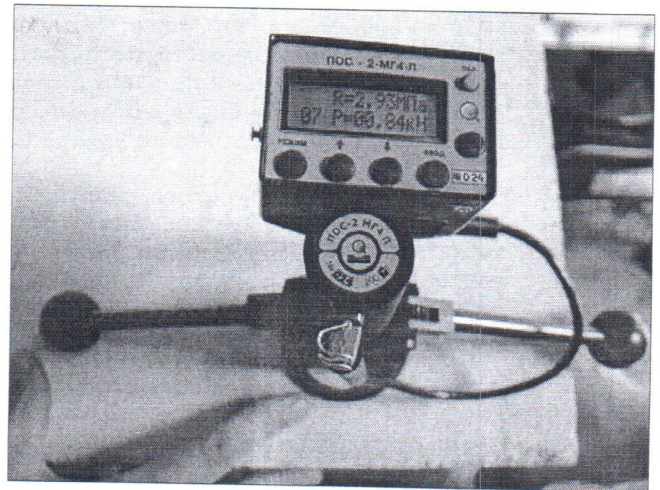


Рис. 4. Анкерное устройство для определения прочности газобетонной части стеновой конструкции

бетонной 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.

По ГОСТ 31359–2007 в качестве расчетных значений для условий эксплуатации «А» принимается равновесная весовая влажность газобетона 4%, для условий эксплуатации «Б» – 5%, которые устанавливаются после 3–5 лет эксплуатации.

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 (рис. 5), еще до исчерпания окончательного ресурса наружной облицовкой из силикатного

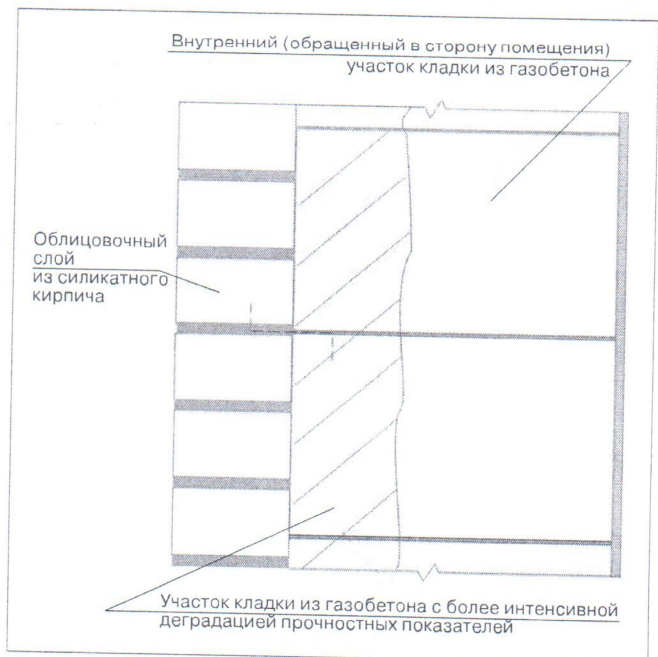


Рис. 5. Схема разрушения испытываемой стеновой конструкции

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.

Таким образом, основным разрушающим критерием испытываемой стеновой конструкции, по которому следует в данном случае производить оценку ее эксплуатационного срока службы до первого капремонта применительно для выбранной модели разрушения, следует принять долговечность кладки из газобетона, а именно 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.

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 при проектировании и возведении 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.

Список литературы

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.: 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. Гориков А.С., Ефименко М.Н. и др. МВИ 23-5117–2005 «Ограждающие стеновые конструкции. Метод определения сопротивления климатическим воздействиям и оценка долговечности при ускоренных испытаниях». СПб.: СПбЗНИИПИ, 2006. 29 с.



Союз
Производителей
Извести



Некоммерческое Партнерство Производителей

Извести
представляет справочник
«Известь РФ.
Кто есть кто?»

Это первое отраслевое издание, посвященное известковому производству. Справочник включает четыре тематических раздела, каждый из которых соответствует определенному сегменту рынка извести и содержит подробную информацию (название фирмы, почтовый и фактический адреса, телефоны, факс, e-mail, www, профиль деятельности, виды продукции, услуг и др.):

- производители извести общестроительного и специального назначения;
- производители и поставщики оборудования для производства и фасовки извести;
- производители и поставщики тары, упаковки, упаковочного оборудования для фасовки извести;
- профильные НИИ, вузы, исследовательские лаборатории и испытательные центры.

По вопросам приобретения справочника
обращайтесь по телефонам:

(4732) 39-84-95, 39-84-93

(Союз производителей извести)

E-mail - soyuzizvest@intercon.ru

soyuzizvest@gmail.com

www.soyuzizvest.ru