

УДК 697.132

**Иванцов А.И.** – ассистент

E-mail: ivantsov@kgasu.ru

**Куприянов В.Н.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuprivan@kgasu.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

## **Прогнозирование срока службы наружных стен жилых зданий по критерию теплозащиты**

### **Аннотация**

В статье описан разработанный метод прогнозирования срока службы наружных стен по критерию теплозащиты на основе молекулярно-кинетической концепции разрушения материалов при тепловом старении с использованием выявленных в работе основных параметров долговечности материалов: энергии активации ( $E_a$ ) и показателя долговечности ( $K_\lambda$ ) при тепловом старении. Обоснована оценка эквивалентных температур эксплуатации материалов в наружных стенах по климатическим справочным данным.

**Ключевые слова:** ограждающие конструкции, эквивалентная температура, критерий теплозащиты, срок службы, метод.

### **Введение**

Федеральный закон № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», принятый в 2009 году, в статье 33 предписывает «...в проектной документации здания или сооружения должна содержаться информация о сроке эксплуатации здания или сооружения и их частей». Ограждающие конструкции являются важной частью зданий, которые должны обеспечивать энергоэффективность зданий и комфортные условия в помещениях весь срок его эксплуатации. Однако в настоящее время проектный комплекс не располагает методами оценки или прогнозирования долговечности ограждающих конструкций.

В СП 50.13330.2012 по проектированию теплозащиты зданий приведены указания о том, что *требуемая степень долговечности* ограждающих конструкций должна обеспечиваться применением материалов, *имеющих надлежащую стойкость*. Однако понятия «требуемая степень долговечности» и «надлежащая стойкость» в этих документах не расшифрованы.

При исследовании «надлежащей стойкости» материалов наружных стен сегодня рассматривается, как правило, изменение механических свойств материалов при эксплуатационных воздействиях. В последние годы, в соответствии с реализацией ФЗ № 261 «Об энергосбережении» и повышении требований к теплозащите зданий, в качестве приоритетного критерия срока эксплуатации наружных стен выходит сохранение требуемого уровня теплозащиты зданий при эксплуатационных воздействиях. Появились работы по изучению изменения коэффициентов теплопроводности материалов при эксплуатационных воздействиях [1, 2, 3]. Однако во всех известных исследованиях режимы испытаний не моделируют реальные эксплуатационные воздействия на материалы ограждающих конструкций, в связи с чем выводы авторов о сроках службы материалов в ограждающих конструкциях не являются достаточно достоверными.

### **1. Режим эксплуатации ограждающих конструкций**

Натурные исследования режима эксплуатации ограждающих конструкций [4, 5] позволили выявить воздействие, главным образом определяющее изменение свойств теплоизоляционных материалов в процессе естественного старения – воздействие повышенных температур. Анализ натурных исследований подтвердил незначительность влияния влажности на старение современных теплоизоляционных материалов, имеющих полимерную основу. Для оценки влияния температур на годовом цикле эксплуатации ограждения на изменение свойств теплоизоляционных материалов было использовано понятие эквивалентной температуры эксплуатации  $T_{экв}$ , которая с точки зрения

молекулярно-кинетической концепции разрушения материалов заменяет множество переменных значений эксплуатационных температур:

$$T_{экв} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[ \frac{1}{\tau_0} \sum_{j=1}^N \Delta\tau_j \cdot \exp \left( -\frac{E_a}{RT_j} \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где  $E_a$  – энергия активации процесса разрушения, Дж/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(К·моль);

$N$  – число интервалов времени  $\Delta\tau_j$  со средней температурой  $T_j$  на рассматриваемом отрезке времени  $\tau_0$ .

В табл. 1 приведены значения эквивалентных температур эксплуатации, рассчитанных по экспериментальным данным по выражению (1).

Таблица 1

Эквивалентные температуры эксплуатации по расчетным сечениям  
(расчет по экспериментальным данным), °С

Расчетные сечения – расстояние от наружной поверхности, см	Пенополистирол	Минеральная вата	Ячеистый бетон
0	31,8	32,4	26,4
2,5	26,3	25,1	21,7
5	23,3	20,8	19,5
10	19,7	-	-
15	20,1	20,4	19,8

Температурный режим в наружных стенах определяется суммарным воздействием температуры наружного воздуха  $T_n$  и тепловым потоком солнечной радиации, приходящим к наружной поверхности ограждения  $S$ , так называемой условной температурой солнечного облучения  $T_{усл}$ . Условная температура наружного воздуха вблизи поверхности ограждения определяется по формуле А.М. Шкловера:

$$T_{сум} = T_n + T_{усл} = T_n + \frac{\rho S}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – коэффициент поглощения поверхности наружной стены,

$S$  – интенсивность суммарной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>,

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/м<sup>2</sup>·°С,

а температуры по отдельным сечениям в слоях наружной стены  $t_i$  будут определяться процессами затухания тепловой волны, которые, в свою очередь, зависят от конструкции ограждения и теплофизических свойств материалов.

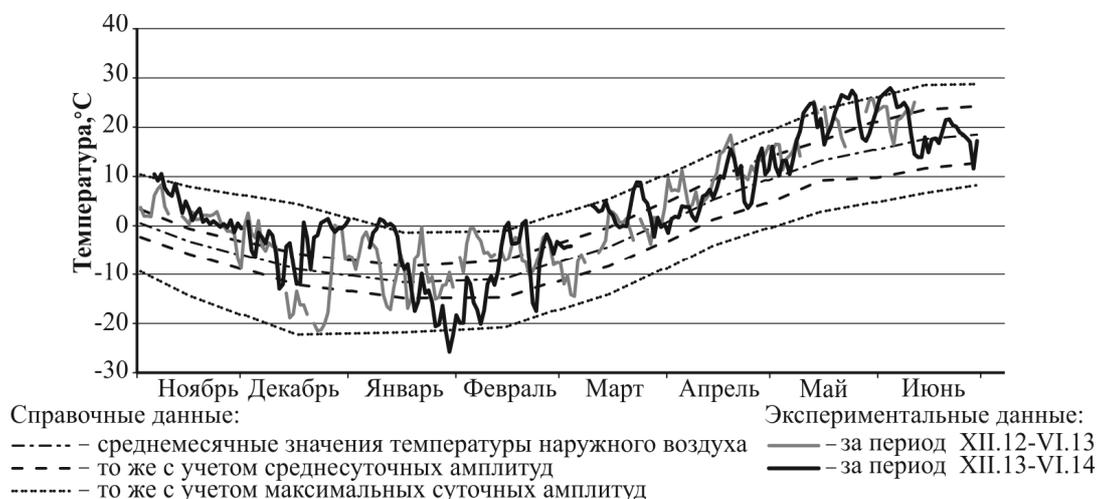


Рис. 1. Фрагмент годового хода температуры наружного воздуха за период наблюдений (XII.12-VI.13 и XII.13-VI.14)

На рис. 1 приведены экспериментальные данные по температуре наружного воздуха, полученные на натурном испытательном стенде, в сравнении с параметрами, взятыми из нормативной литературы по строительной климатологии. Хорошее совпадение экспериментальных и справочных данных указывает на обоснованность использования справочных данных по температуре наружного воздуха для расчетов эквивалентной температуры эксплуатации материалов в наружных стенах.

Для практических расчетов удобнее использовать другие нормативные данные, где годовой ход температуры наружного воздуха представлен продолжительностью действия температуры в часах по градациям в  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  от минимальных до максимальных значений для конкретных географических пунктов [6].

Воздействие на ограждение только температуры наружного воздуха проявляется при полной облачности или для фасадов зданий определенной ориентации, где исключено воздействие солнечной радиации.

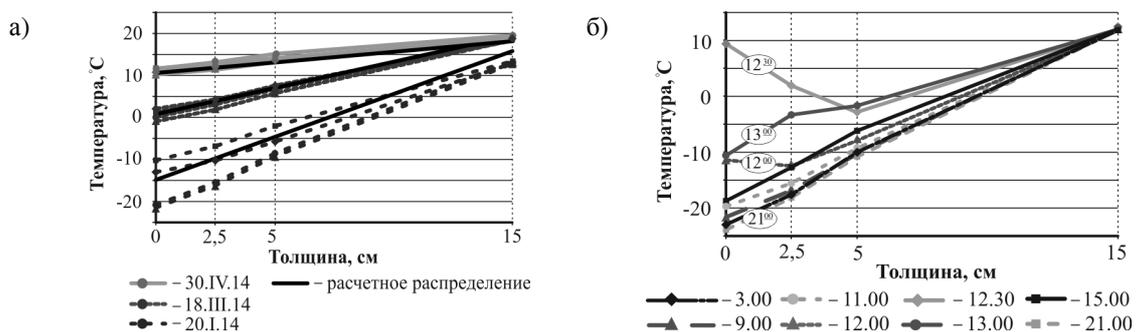


Рис. 2. Распределение температуры по сечению теплоизоляционного материала (минеральной ваты): а) в отсутствии солнечной радиации, б) с солнечной радиацией

На рис. 2а приведены экспериментальные данные, полученные на натурном стенде [4, 5], и можно видеть, что распределение температур по сечению утеплителя изменяется линейно и его можно описать закономерностями стационарной теплопередачи:

$$t_i = T_g - \frac{T_g - T_n}{R_{TO}} R_{TO,i}, \quad (3)$$

где  $T_g$  – температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$T_n$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$R_{TO}$  – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,

$R_{TO,i}$  – сопротивление теплопередаче части ограждающей конструкции от внутренней поверхности до  $i$ -го сечения, включая сопротивление теплопередаче  $R_{TB}$ ,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,

а эквивалентные температуры по слоям определяются с использованием формулы (1), в которой параметр  $T_j$  заменен формулой (3):

$$t_{экв,i} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[ \frac{1}{\tau_0} \sum_{j=1} \Delta \tau_j \cdot \exp \left( -\frac{E_a}{R} \left( T_g - \frac{T_g - T_{n,j}}{R_{TO}} R_{TO,i} \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (4)$$

где  $\Delta \tau_j$  – продолжительность действия температуры наружного воздуха  $T_{n,j}$ , ч;

$\tau_0 = 8760$  ч – количество часов в году.

Влияние солнечной радиации требует учета большего числа факторов в силу нестационарности воздействия тепловой волны, что видно из рисунка 2б, где представлено распределение температур по сечению теплоизоляционного слоя в течение суток.

Интенсивность солнечной радиации  $S$  и, следовательно, повышение температуры на поверхности ограждения  $T_{всл}$  зависят от времени суток, наличия облачности и ориентации поверхности стены. Ключевыми климатическими параметрами, при этом, являются продолжительность облучения фасада в сутки, месяц, год и изменение интенсивности облучения  $S$  в те же периоды.

На рис. 7 представлен график изменения максимальных температур на поверхности натурного стенда в течение февраля 2014 года. Можно видеть, что даже в феврале месяце при  $T_n = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура поверхности стенда с пенополистиролом и минеральной

ватой превышала 60 °С (22.02.14). В летние месяцы эта температура ежедневно находится в интервале 65-70 °С, что подтверждает сделанный в работе вывод об определяющем воздействии – тепловом старении материалов в наружных стенах.

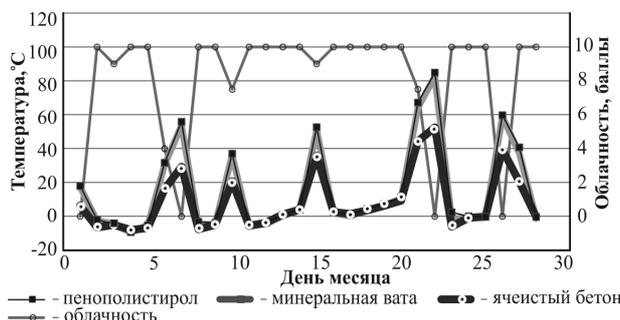


Рис. 3. Изменение максимальной температуры поверхности натурального стенда

Из рис. 3 можно видеть, что при уменьшении облачности (особенно до 0 баллов) резко возрастает температура поверхности ограждения. Однако, оценка степени облачности проводится визуально и является весьма приблизительной, что влияет на точность расчетов. Для увеличения точности расчетов в работе использованы количественные данные по продолжительности солнечного сияния в часах за сутки, месяц и год, представленные в климатических справочниках для различных географических пунктов [7].

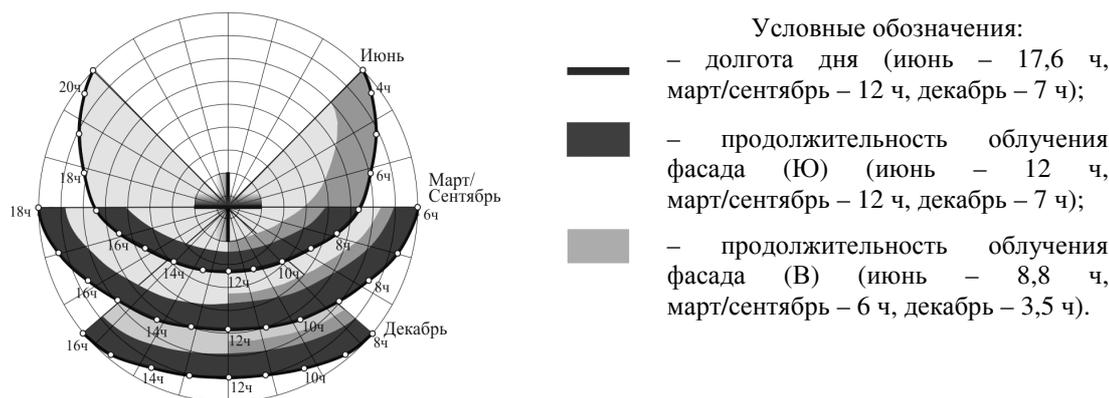


Рис. 4. К определению доли облучения фасадов различной ориентации с использованием солнечной карты для г. Казани (56° с. ш.)

Справочные данные по продолжительности солнечного сияния получены для всего небосвода, в то время как различно ориентированные фасады зданий получают только долю этого облучения. На рис. 4 приведена схема определения доли солнечного облучения южного, восточного и западного фасадов (в качестве примера) с использованием солнечной карты для 56° с. ш. (широта г. Казани). Доля облучения фасада – коэффициент продолжительности облучения  $k_o$  определяется отношением продолжительности облучения фасада  $\tau_{\phi,k}$ , ч, к долготе дня  $\tau_{\partial,\partial,k}$ , ч, (интервалу времени от восхода до захода солнца). В зависимости от ориентации фасада и месяца года возникают ситуации, когда солнечные лучи приходят к плоскости фасада под малыми углами, как бы скользят вдоль плоскости (например, для восточного фасада в 12 ч по рис. 4) и тепловой поток солнечной радиации не приводит к повышению температуры поверхности ограждения. В этом случае следует уменьшать величину  $\tau_{\phi,k}$  на время, определяемое индивидуально для каждой ориентации фасада и месяца года:

$$k_{o,k} = \frac{\tau_{\phi,k}}{\tau_{\partial,\partial,k}}, \quad (5)$$

где  $\tau_{\phi,k}$  – средняя продолжительность облучения фасада с определенной ориентацией по сторонам света в течение дня в  $k$ -ом месяце, ч;

$\tau_{\phi,0,k}$  – средняя долгота дня в  $k$ -ом месяце, ч.

Продолжительность действия солнечной радиации на фасад здания конкретной ориентации в каждом месяце можно определить, как:

$$\Delta\tau_{\text{сиян},k} = \tau_{\text{сиян},k} \cdot k_{o,k}, \quad (6)$$

где  $\tau_{\text{сиян},k}$  – продолжительность солнечного сияния в определенном месяце, ч;

$k_{o,k}$  – коэффициент продолжительности облучения фасада в этом месяце.

Температуру в сечениях теплоизоляционного слоя при воздействии солнечной радиации можно определить с использованием показателя затухания температурных колебаний:

$$t_{\text{усл},i} = \frac{T_{\text{усл}}}{v_i} = \frac{\rho S_k}{\alpha_n v_i}, \quad (7)$$

где  $v_i$  – показатель затухания колебаний в  $i$ -ом слое теплоизоляции, определяемый по расчету конструкции ограждения на теплоустойчивость.

При расчете температур поверхности ограждений следует принимать среднесуточные значения интенсивности солнечной радиации  $S$  за каждый месяц с часовой интенсивностью свыше  $120 \text{ Вт/м}^2$ , то есть той интенсивностью, свыше которой происходит значимое повышение температуры поверхности.

Эквивалентная добавка к температуре для каждого элементарного слоя теплоизоляционного материала от действия солнечной радиации определится как:

$$t_{\text{экв. усл},i} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[ \frac{1}{\tau_{\text{сиян}}} \sum_{k=1}^{12} \Delta\tau_{\text{сиян},k} \cdot \exp \left( -E_a / R \left( \frac{\rho S_k}{\alpha_n v_i} \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (8)$$

где  $\Delta\tau_{\text{сиян},k}$  – продолжительность солнечного сияния в определенном месяце, ч, определяемая по (6);

$\tau_{\text{сиян}}$  – суммарная продолжительность солнечного сияния в течение года, ч.

Тогда согласно (2) эквивалентная температура эксплуатации в слое теплоизоляции определится как:

$$T_{\text{экв.},i} = t_{\text{экв.},i} + t_{\text{экв. усл},i}. \quad (9)$$

Для исследуемых видов ограждения расчетные значения эквивалентных температур в различных сечениях представлены в табл. 2. Расхождение расчетных значений, полученных по справочным климатическим данным (табл. 2) и полученных по экспериментальным данным (табл. 1) находится в пределах 5-15 %, что для справочных климатических данных можно признать допустимым.

Таблица 2

**Эквивалентные температуры эксплуатации по расчетным сечениям (расчет по справочным данным о годовом ходе параметров климата), °С**

Расчетные сечения – расстояние от наружной поверхности, см	Пенополистирол			Минеральная вата			Ячеистый бетон		
	от $t_n$	от $t_{\text{усл}}$	сумм	от $t_n$	от $t_{\text{усл}}$	сумм	от $t_n$	от $t_{\text{усл}}$	сумм
0	12,7	18,2	30,9	12,7	18,3	31,0	12,7	17,0	29,7
2,5	12,9	14,5	27,4	12,9	12,0	24,9	12,9	12,0	24,9
5	13,3	11,2	24,5	13,4	7,7	21,1	13,1	8,3	21,4
10	14,8	5,6	20,4	-	-	-	-	-	-
15	17,5	0,4	17,9	17,7	0,2	17,9	14,9	0,8	15,7

## 2. Сущность метода прогнозирования срока службы наружных стен

Сущность метода заключается в определении времени эксплуатации, за которое сопротивление теплопередаче стены  $R_{TO}$ , уменьшающееся в результате старения, станет меньше требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен  $R_{TO}^{TP}$ .

Критерий теплозащиты имеет вид:

$$R_{TO} < R_{TO}^{TP}. \quad (10)$$

Величина  $R_{TO}^{TP}$  для заданного места строительства определяется нормативным документом – СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Если облицовочные слои наружных стен подвергаются ремонту и восстановлению в процессе эксплуатации здания, а конструктивные слои практически не изменяют теплозащитных свойств, то снижение теплозащитных свойств ограждающих конструкций происходит в результате старения и повышения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  теплоизоляционных слоев.

В этом случае, срок службы наружных стен  $\tau$  определяется как отношение критического изменения (увеличения) коэффициента теплопроводности  $\Delta\lambda_{кр}$  к ежегодному увеличению коэффициента  $\Delta\lambda_{год}$  в процессе старения:

$$\tau = \frac{\Delta\lambda_{кр}}{\Delta\lambda_{год}} = \frac{\lambda_{кр} - \lambda_0}{\Delta\lambda_{год}}, \quad (11)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности, принятый в расчетах (по справочным данным), Вт/м·°С;

$\lambda_{кр}$  – величина коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала, которая определяется снижением теплозащитных свойств наружных стен до критической величины, когда  $R_{TO} < R_{TO}^{TP}$ , Вт/м·°С;

$$\lambda_{кр} = \frac{\delta_{m/у}}{R_{m/у}} = \frac{\delta_{m/у}}{R_{TO}^{mp} - R_{TO,0}}, \quad (12)$$

$R_{TO,0}$  – общее сопротивление теплопередаче конструкции ограждения за вычетом слоя теплоизоляции, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Как установлено ранее, величина эксплуатационной температуры по толщине слоя теплоизоляции не одинакова (она выше в слоях у наружной поверхности), следовательно, тепловое старение по толщине теплоизоляции будет неравномерным, тогда срок службы теплоизоляционного слоя можно определить, как среднее из сроков службы отдельных расчетных слоев  $\tau_i$ :

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}, \quad (13)$$

где  $n$  – количество расчетных слоев в утеплителе.

Срок службы расчетного слоя в соответствии с термофлуктуационной концепцией для ненагруженного материала можно определить по следующему выражению:

$$\tau = \tau_{II} \cdot \exp \left[ \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_{экс}} - \frac{1}{T_{II}} \right) \right], \quad (14)$$

где  $\tau_{II}$  – продолжительность старения материала при температуре изотермических испытаний, лет;

$T_{II}$  – температура при изотермических испытаниях, К;

$T_{экс}$  – эквивалентная температура эксплуатации, К.

Температура изотермических испытаний  $T_{II}$  в формуле (14) должна максимально ускорять процесс старения, но не должна изменять физический процесс теплового старения.

В оценке  $\tau_{II}$  должно найти отражение изменение величины  $\lambda$  при температуре изотермических испытаний. Эти изменения определяются формулой:

$$\lambda_{кр} = K_\lambda \tau_{II} + \lambda_0, \quad (15)$$

где  $K_\lambda$  – показатель долговечности при тепловом старении, Вт/м·°С·год,

$$\tau_{II} = \frac{\lambda_{кр} - \lambda_0}{K_\lambda} = \frac{\Delta\lambda_{кр}}{K_\lambda}. \quad (16)$$

В итоге время до выхода из строя теплоизоляционного слоя, а значит и всей конструкции наружной стены по критерию потери теплозащитных свойств определится как:

$$\tau = \frac{\frac{\Delta\lambda_{кр}}{K_\lambda} \sum_{i=1}^n \exp \left[ \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_{экс,i}} - \frac{1}{T_{II}} \right) \right]}{n}, \quad (17)$$

где  $T_{экв,i}$  – эквивалентная эксплуатационная температура в  $i$ -том слое теплоизоляционного материала, К;

$n$  – количество расчетных слоев в слое теплоизоляционного материала.

Исследование показало, что срок службы теплоизоляционных материалов в значительной мере определяется величиной энергии активации  $E_a$  и показателя долговечности  $K_\lambda$  при тепловом старении материала. На рис. 5 показано изменение срока службы наружной стены с утеплителем из пенополистирола различной толщины при различных  $E_a$  и  $K_\lambda$ . Можно видеть, что срок службы изменяется в несколько раз.

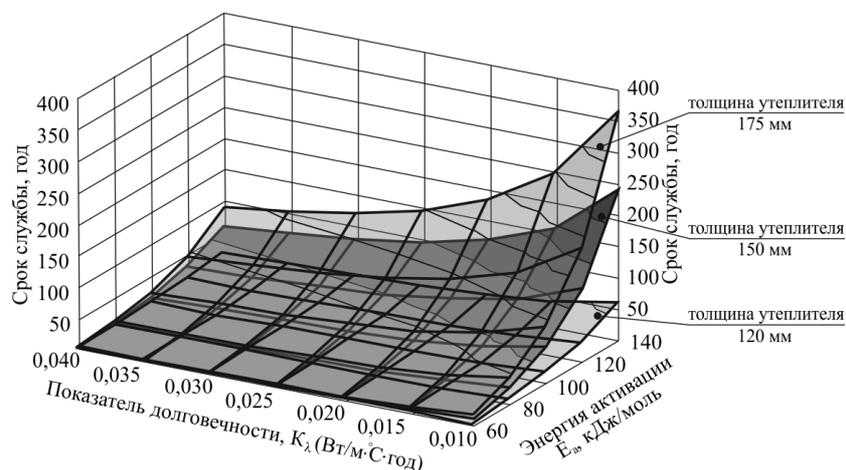


Рис. 5. Зависимость срока службы наружных стен от величины  $E_a$  и  $K_\lambda$  и толщины утеплителя для южного фасада в условиях г. Казани (для конструкции по п. 1 табл. 3)

Из этих данных следует важный вывод о том, что при оценке срока службы наружных стен недостаточно говорить только о виде теплоизоляционного материала. Среди технических характеристик теплоизоляционных материалов заводы-изготовители должны приводить величину энергии активации ( $E_a$ ) и показатель долговечности материала ( $K_\lambda$ ) при тепловом старении.

Для реализации разработанного метода прогнозирования сроков службы наружных стен по критерию теплосащиты была разработана «Программа расчета срока службы наружных стен» с использованием справочных данных по параметрам климата, с учетом конструкции стены и свойств материалов. Для примера с помощью этой программы рассчитаны прогнозируемые сроки службы нескольких наружных стен различного конструктивного исполнения для условий г. Казани с применением теплоизоляционных материалов, исследованных в работе (табл. 3).

Результаты, полученные в работе, позволяют не только оценить срок службы наружных стен с известным утеплителем, но и проектировать наружные стены с заранее заданным сроком службы.

При этом решается задача определения такой толщины теплоизоляционного слоя  $\delta_{m/u}$ , при которой критический прирост его коэффициента теплопроводности  $\Delta\lambda_{кр}$  произойдет через заданное количество лет.

Таблица 3

Прогнозируемый срок службы наружных стен основных ориентаций, год

№ п/п	Вид конструкции	Ориентация фасада				
		Ю	С	В (З)	ЮВ (ЮЗ)	СВ (СЗ)
1	8 мм штукатурка + 120 мм ППС + 380 мм сил.кирпич ( $R_{т0}=3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ )	24,4	45,0	23,1	23,3	28,8
2	8 мм штукатурка + 120 мм м/в + 380 мм сил.кирпич ( $R_{т0}=4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ )	14,7	23,5	14,2	14,2	16,7
3	120 мм кирпич + 120 мм ППС + 250 мм сил.кирпич ( $R_{т0}=3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ )	32,0	47,1	31,8	31,9	36,5

Из выражения (12) с учетом (11) получим:

$$\delta_{m/u} = (R_{TO}^{mp} - R_{TO,0}) \cdot (\lambda_0 + \Delta\lambda_{кр}). \quad (18)$$

Выразив из выражения (17)  $\Delta\lambda_{кр}$  и подставив в формулу (18), получим выражение для расчета толщины утеплителя, которая при известных параметрах долговечности обеспечит заданный срок службы:

$$\delta_{m/u} = (R_{TO}^{TP} - R_{TO,0}) \cdot \left( \lambda_0 + n \tau_{TP} K_\lambda \left( \sum_{i=1}^n \exp \left[ \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_{экв,i}} - \frac{1}{T_H} \right) \right] \right)^{-1} \right). \quad (19)$$

По полученной формуле в качестве примера рассчитана толщина теплоизоляционного слоя для некоторых конструктивных решений, приведенных в табл. 3, при требуемом сроке службы в 60 лет, табл. 4.

Таблица 4

#### Требуемая толщина теплоизоляционных слоев для обеспечения 60-летнего срока службы

Номер конструкции по табл. 3	Вид утеплителя	Характеристика конструкции	Ориентация фасада				
			Ю	С	В (З)	ЮВ (ЮЗ)	СВ (СЗ)
1	ППС	$\delta_{m/u}$ , мм	144	126	146	146	138
		$R_{TO}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	4,32	3,86	4,37	4,37	4,16
2	Минеральная вата	$\delta_{m/u}$ , мм	203	162	208	208	190
		$R_{TO}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	6,43	5,25	6,57	6,57	6,05
3	ППС	$\delta_{m/u}$ , мм	132	124	133	133	129
		$R_{TO}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	3,96	3,76	3,99	3,99	3,89

#### Список библиографических ссылок

1. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. – М.: НИИСФ РААСН, 2003. – 332 с.
2. Ли А.В. Долговечность энергоэффективных полимерсодержащих ограждающих конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Хабаровск, 2003. – 143 с.
3. Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Пискунов А.А. Исследование теплофизических свойств пенополистирола при его старении // Строительство и реконструкция, 2011, № 2. – С. 69-76.
4. Иванцов А.И., Куприянов В.Н. Режим эксплуатации многослойных стеновых ограждающих конструкций как основа прогнозирования их срока службы // Известия КГАСУ, 2014, № 3 (29). – С. 32-40.
5. Иванцов А.И., Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей // Жилищное строительство, 2013, № 7. – С. 29-32.
6. Справочное пособие к СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология». – М.: НИИСФ РААСН, 2006.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 12. Татарская АССР... – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 326 с.

**Ivantsov A.I.** – assistant

E-mail: ivantsov@kgasu.ru

**Kupriyanov V.N.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuprivan@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Predicting the lifetime of the exterior walls of residential buildings by the criterion of the thermal protection

### Resume

The exterior walls are an important part of the buildings, which should provide a comfortable environment in the premises during lifetime of the building. Currently, however, the project does not have a set of methods to evaluate the service life of building envelope, although this information should be included in the design documentation of buildings and structures according to the «Technical regulations on safety of buildings and structures» (2009).

This paper describes a method of prediction the lifetime of the exterior walls of residential buildings, developed by the authors. The method is based on determining the time of operation, for which the total thermal resistance of the external wall will be less than the required resistance to heat transfer by the current Regulations. The operating time is determined on the basis of the kinetic theory of aging of heat insulating layer by using basic parameters of the durability of materials: activation energy and durability indicator under thermal aging.

The article justifies the estimating of the mode of operation in which insulation material is aging in exterior walls, by the equivalent temperatures in sections of insulation material.

**Keywords:** building envelope, the equivalent temperature, the criterion of thermal protection, lifetime, method.

### Reference list

1. Aleksandrovskiy S.V. Longevity of external walls. – M.: NIISF RAASN, 2003. – 332 p.
2. Li A.V. Durability of energy efficient polymer-walling: dis. ... cand. tehn. sciences: 05.23.01. – Khabarovsk, 2003. – 143 p.
3. Guyumdzhyan P.P., Kokanin S.V., Piskunov A.A. Study of thermal properties of polystyrene in its aging // *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*, 2011, № 2. – P. 69-76.
4. Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N. Operating conditions of multilayer external walls as the basis of their service life prediction // *News of the KSUAE*, 2014, № 3 (29). – P. 32-40.
5. Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. Field investigations of operational impacts on the facade systems with different kinds of effective heaters // *Zhilishchnoye stroitelstvo*, 2013, № 7. – P. 29-32.
6. Handbook to SNIP 23-01-99\* «Building Climatology». – M.: NIISF RAASN, 2006.
7. Applied research handbook on climate of the USSR. Series 3. Perennial data. Parts 1-6. Issue 12. Tatar ASSR ... – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 326 p.