

УДК 691.33

Камалова Загиря Абдуловна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru

Сагдиев Руслан Рустемович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Александрова Маргарита Андреевна

помощник главного инженера проекта

E-mail: alexspit@bk.ru

ООО «Вектор»

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Толстого, д. 41, оф. 27

Валиев Алмаз Илсурович

инженер-конструктор

E-mail: almazon050@mail.ru

ООО «МавиКазань»

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 60

Разработка метода прогнозирования долговечности трехслойной кровельной конструкции

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка методики прогнозирования долговечности трехслойных ограждающих конструкций на примере кровельных сэндвич-панелей с наполнителем из пенополистирола.

Результаты. Основные результаты исследования состоят:

- в анализе нормативных предпосылок к вопросу прогнозирования долговечности ограждающих конструкций;
- в изучении существующих методик прогнозирования долговечности ограждающих конструкций;
- в разработке конечно-элементной модели кровельной сэндвич-панели, позволяющей изучить механизм потери эксплуатационных качеств, исследуемых материалов, определить основные факторы, влияющие на их эксплуатационный ресурс;
- в моделировании работы кровельных сэндвич-панелей под нагрузкой при помощи ПК «Лира»;
- в исследовании закономерности разрушения и деформирования кровельных сэндвич-панелей с наполнителем из пенополистирола при вариации заданных постоянных напряжений и температур.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в совершенствовании методов прогнозирования долговечности ограждающих конструкций, позволяющих определить срок службы строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: сэндвич-панель, пенополистирол, конструкции полистовой сборки, панели максимальной заводской готовности, блок-фермы, долговечность, прогнозирование, температурно-временная аналогия.

Введение

ФЗ № 261 «Об энергосбережении» гласит: «Застройщики обязаны обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов путем выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта». Поэтому строительная отрасль нуждается в применении энергоэффективных материалов.

В последние годы на рынке выросла доля производства таких, распространенных в настоящее время, теплоизоляционных конструкций как сэндвич-панели, использование которых позволяет быстро и с минимумом трудозатрат возводить здания различного назначения. Но ни один из производителей не гарантирует тот или иной срок безотказной работы конструкции.

При использовании в строительстве тех или иных ограждающих конструкций ценятся не только сроки строительства и высокие прочностные и теплотехнические свойства, но и долговечность, которая обеспечивала бы экономическую целесообразность. Поэтому для безопасной эксплуатации зданий и сооружений с применением сэндвич-панелей необходима разработка методики прогнозирования безотказного срока службы конструкции.

Сэндвич-панели представляют собой композиционный материал, который состоит из внутреннего слоя теплоизоляционного материала (пенопласта) и двух наружных слоев, выполняющих функцию облицовки.

Как показывает практика, показатели несущей способности, а именно прочность на сдвиг в собранном виде, значительно выше по сравнению с каждым отдельным слоем панели. Наружная поверхность воспринимает нагрузку изгибающего момента вследствие равномерного распределения нагрузки и высокой адгезии соединенных частей панели, что существенно повышает устойчивость к образованию деформаций на поверхности. При этом большая часть момента сдвига принимается более толстой частью внутреннего теплоизоляционного слоя панели, которая в конечном итоге приводит к повышению прочности на сдвиг композиционной системы.

Эксплуатация сэндвич-панелей в климатических условиях России отличается рядом особенностей. Для кровельных панелей, прежде всего, это значительные снеговые нагрузки, действующие длительно в период зимы.

Перепады сезонных температур (от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) и значительная разница между наружной и внутренней температурами помещений также влияют на несущую способность и деформативность панелей. При неправильном выборе расчетных параметров и определении свойств материалов эти факторы могут существенно ограничить срок их эксплуатации.

При эксплуатации сэндвич-панелей в районах с суровыми климатическими условиями в связи с различием коэффициентов линейного расширения материалов в них возникают большие температурные напряжения, вследствие чего происходит разрушение пенопласта вблизи зоны склейки слоёв.

Таким образом, с практической точки зрения, при проектировании строительных конструкций с применением сэндвич-панелей и определении области их применения является возможным моделирование условий эксплуатации, их анализ и трансформация эксплуатационных факторов для надёжного прогнозирования долговечности трехслойных панелей в строительных изделиях и конструкциях [1-11].

Расчет толщины ограждающей конструкции покрытия

Для исследований была выбрана конструкция покрытия сэндвич-панелями с наполнителем из пенополистирола. Район строительства – г. Казань. В качестве объекта исследования рассматриваются трехслойные сэндвич-панели, производимые предприятием ООО Группы компаний «Стройком» в Кукморском районе РТ.

Изначально толщину панели, исходя из каталога выбранного производителя, принимаем:

- толщина металлических обшивок – 0,5 мм;
- толщина слоя пенополистирола – 150 мм;

Теплотехнический расчет принятой конструкции произведен в соответствии с действующими нормативными документами: СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

Исходные данные:

- район строительства: г. Казань;
- относительная влажность воздуха: $\varphi_b=55\%$,

- тип здания или помещения: административные и бытовые;
 - вид ограждающей конструкции: покрытия;
 - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_b=20^\circ\text{C}$;
 - согласно СП 50.13330.2012 базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{0}^{тp}$ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) $=3,66 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.
 - зона влажности – нормальная, влажностный режим помещения – нормальный, (в соответствии с табл. 2 в СП50.13330.2012) теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций приняты как для условий эксплуатации Б.
- Схема ограждающей конструкции показана на рис. 1.

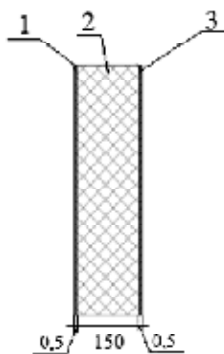


Рис. 1. Схема ограждающей конструкции (иллюстрация авторов)

1. Сталь тонколистовая оцинкованная (ГОСТ Р 52146-2003) с полимерным покрытием, толщина $\delta_1=0,0005$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}=48 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$.

2. Пенополистирол ООО ГК «Стройком», толщина $\delta_2=0,15$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}=0,039 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$.

3. Сталь тонколистовая оцинкованная (ГОСТ Р 52146-2003) с полимерным покрытием, толщина $\delta_3=0,0005$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}=48 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$. Приведенное сопротивление теплопередаче по расчету СП 50.13330.2012: $R_{0}^{тp}=3,68 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. $R_{0}^{тp} > R_{0}^{\text{норм}}$ ($3,68 > 3,66$), следовательно, ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

Моделирование сэндвич-панели проводили в ПК «Лира-САПР», теоретической основой которой является метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в форме перемещений.

Так как покрытие – многослойная конструкция, то при расчете МКЭ сэндвич-панель представляется в виде совокупности конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках, а именно – объемных конечных элементов с оболочками с верхней и нижней стороны.

Для более точного представления результатов, плиту разобьем на конечные элементы размерами $50 \times 50 \times 10$ мм.

По результатам полного расчета смоделированной трехслойной плиты покрытия получены следующие результаты:

- прогиб плиты;
- действующие напряжения по трем осям в каждом конечном элементе плиты.

Средний слой в конструкции панели обеспечивает передачу нагрузки от верхней обшивки на нижнюю. Пенополистирол с клеем обеспечивает целостность конструкции и, как следствие, совместность деформации обшивок.

В результате расчета максимальный прогиб составляет 7,51 мм. При пролете $l=3$ м допустимый относительный прогиб конструкции $l/200$, что составляет 15 мм. По второму предельному состоянию конструкция имеет значительный запас.

Теплоизоляционный слой нагружен слабо, а наиболее нагруженными являются слои, примыкающие к плоской обшивке. Наибольшие напряжения в теплоизоляционном слое возникают у опор от сжатия и равны $\sigma_z=0,175 \text{ кг}/\text{см}^2$.

В пролете напряжения не более $0,03 \text{ кг}/\text{см}^2$.

Однако для дальнейших исследований необходимо учитывать напряжения, возникающие в зоне сдвига утеплителя. Поэтому был найден конечный элемент, в котором возникают наибольшие горизонтальные перемещения, что соответствует сдвигу материала. Сжимающие напряжения, возникающие в ключевом конечном элементе, были сведены в табл. 1 для проведения экспериментальной части исследования.

Таблица 1

Значения сжимающих напряжений в области сдвига

Пролет, [м]	σ_z в зоне сдвига, [кг/см ²]	Прогиб, [мм]	Предельный прогиб, [мм]
2	0,066	3,09	10
3	0,092	7,51	15
4	0,118	13,9	20
5	0,144	22,3	25

В качестве критерия выхода из строя трехслойной кровельной конструкции с наполнителем из теплоизоляционного материала в виде пенополистирола выбрано достижение сэндвич-панелью прогиба предельной величины в результате сдвига материала наполнителя.

По теплотехническому расчету получена кровельная плита, соответствующая требованиям по теплопередаче:

- Сталь тонколистовая оцинкованная толщиной $\delta_1=0,5$ мм;
- Пенополистирол толщиной $\delta_2=150$ мм;
- Сталь тонколистовая оцинкованная толщиной $\delta_1=0,5$ мм.

С помощью ПК «Лири-САПР» была смоделирована кровельная сэндвич-панель требуемых параметров и рассчитана с учетом действия собственного веса и снеговой нагрузки, соответствующей IV снеговому району. В результате получены сжимающие напряжения в зоне сдвига материала наполнителя кровельной конструкции, численные значения которых и были приложены на образцы для дальнейших экспериментальных исследований.

Модуль сдвига среднего слоя является параметром, определяющим поведение трехслойной кровельной конструкции под нагрузкой, а именно достижение сэндвич-панелью прогиба предельной величины в результате сдвига материала наполнителя. Таким образом, в качестве критерия выхода из строя конструкции принято достижение критического модуля сдвига наполнителя трехслойной конструкции.

Модуль сдвига пенополистирола определялся согласно методике, описанной в EN 14509-2009 «Панели самонесущие теплоизоляционные слоистые заводского изготовления. Технические условия».

По данной методике была испытана серия образцов для получения контрольных значений величины модуля сдвига пенополистирола. Оставшиеся образцы были испытаны после климатического старения.

Механические характеристики пенополистирола, как и большинства полимеров, значительно изменяются с течением времени под действием атмосферы, влаги и ультрафиолетового излучения. Их влияние распространяется, прежде всего, на поверхностные слои материала, однако в конструкции трехслойной панели стальные обшивки выполняют и защитные функции, что позволяет практически полностью исключить влияние перечисленных внешних воздействий.

В то же время влияние температуры распространяется на весь объем материала и приводит к его «тепловому старению», что обязательно нужно учитывать при проектировании кровельной конструкции. Поэтому в дальнейшем исследуется тепловое старение трехслойной панели под нагрузкой.

Поскольку процесс тепловой деструкции полимеров достаточно длителен, при прогнозировании изменения свойств пенополистирола предпочтение отдается ускоренным методам старения образцов материала. Режим ускоренных климатических испытаний приведен в табл. 2.

Таблица 2

Режим УКИ

Температура, °С	Нагрузка при старении, кг/см ²	Время старения, час
20	0,092	2000
	0,118	
60	0,092	
	0,118	
80	0,092	
	0,118	

Сущность метода ускоренного теплового старения заключается в выдержке образцов термопластичного материала при повышенной температуре за определенный промежуток времени с последующим испытанием образцов.

Целью испытаний в режиме ускоренного теплового старения является исследование изменения механических характеристик материала с последующим переносом полученных результатов на натуральный объект – трехслойную кровельную конструкцию и прогноз срока службы эксплуатации последнего.

В данном методе проводят испытание при заданном уровне сжимающей нагрузки в течение определенного времени t . При проведении испытаний образец помещается внутрь камеры искусственного климата. За начальную температуру выбирается комнатная температура. Затем выполняются отдельные испытания при таком же уровне растягивающей нагрузки и при различных температурах с интервалом, не превышающем температуру стеклования полимера. При анализе результатов измерений кривые сдвига одного вида образца для разных температур строятся на одном графике в полулогарифмической шкале.

Экспериментально установлено, что для многих материалов оказывается возможным кривые податливости J – $\ln t$, соответствующие различным температурам, совместить с кривой при $T=T^*$ путем их параллельного смещения вдоль оси времени на отрезки, являющиеся функциями температуры.

Так, для совмещения кривой, соответствующей температуре T_1 , с кривой, соответствующей температуре T^* , кривую 1 необходимо сместить на отрезок $\psi_1 = \ln a_t(T_1)$. Очевидно, что $\psi_2 = \ln a_t(T_2)$, $a\psi_2 = \ln a_t(T^*) = 0$. Функцию ψ называют функцией температурного сдвига.

Таким образом, изменение температуры испытания, по своему воздействию на процесс сдвига, эквивалентно смещению кривых податливости вдоль логарифмической оси времени. В этом и состоит сущность принципа температурно-временной аналогии. Этот принцип был сформулирован А.П. Александровым, Ю.С. Лазуркиным и Х. Лидерманом.

Функцию температурного сдвига принимаем в виде:

$$\psi = \ln a_t(T) = -C_1 \cdot (T - T^*) / (C_2 + T - T^*), \quad (1)$$

где C_1 и C_2 – положительные константы, которые находятся экспериментально.

Величину $a_t(T)$ называют коэффициентом смещения.

Кривые податливости при температурах T и T^* совпадут, если кривую, соответствующую температуре T , сместить по оси времени на величину $\ln a_t(T)$, или, другими словами, если для нее ввести время t' соотношением:

$$\ln t' = \ln t - \ln a_t(T). \quad (2)$$

Отсюда

$$t' = t / a_t(T). \quad (3)$$

Так устанавливается связь между физическим t и модифицированным t' временем.

Если температура T изменяется во времени, то выражение (3) может быть применено к бесконечно малым промежуткам времени, т.е.

$$dt' = dt / a_t(T). \quad (4)$$

В этом случае модифицированное время вычисляется следующим образом:

$$t' = \int_t^0 dt / a_t(T). \quad (5)$$

Рассмотренный принцип температурно-временной аналогии дает возможность учесть влияние температуры на реологические процессы в линейных вязкоупругих материалах. При этом параметры материальных функций не меняются при изменении температуры, но физическое время заменяется модифицированным.

Следовательно, если, помимо силового воздействия, конструкция из линейно-вязкоупругого материала подвергается еще и тепловому воздействию, то оно должно быть учтено в определяющих уравнениях введением температурных слагаемых и модифицированного времени.

Тепловое старение образцов осуществлялось при трех уровнях температуры – 20°C, 60°C и 80°C и двух уровнях нагружения – 0,092 кг/см² и 0,118 кг/см². Длительность выдержки образцов при каждой температуре составляла 14, 50 и 80 суток. Таким образом, получилось 18 групп образцов, прошедших различную температурно-временную обработку. Количество образцов в каждой группе равнялось 2.

Температурная обработка образцов при T = 60°C производилась в сушильном шкафу (терморегулятор ТРМ500), а при T = 80°C – в климатической камере ПЛКА. При каждой температуре в термостат закладывалось 12 образцов. Затем, в указанные периоды времени, из каждого термостата извлекалось по 4 образца. Отклонение температуры от заданного значения за весь период выдержки в термостате не превышало ±1°C. Образцы, прошедшие температурно-временную обработку, испытывались спустя сутки после извлечения из термостата.

В результате испытаний образцов спустя 14 суток теплового старения была получена кривая изгиба в осях прогиб-нагрузка при температурах 20°C, 60°C и 80°C.

Аналогичные зависимости были получены для 50 и 80 суток теплового старения при температурах 20°C, 60°C и 80°C.

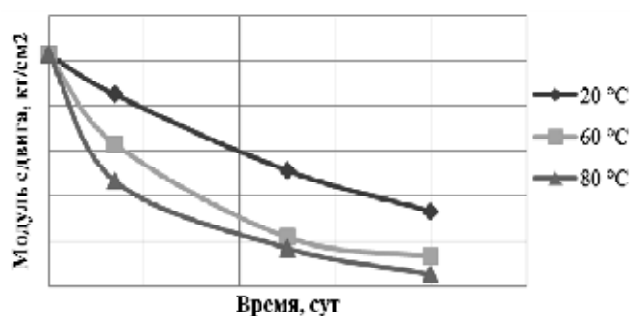
По полученным диаграммам деформирования были определены границы прямых участков для дальнейшего вычисления модуля сдвига материала наполнителя трехслойной конструкции. Исходные данные и результаты вычислений представлены в табл. 3.

Таблица 3

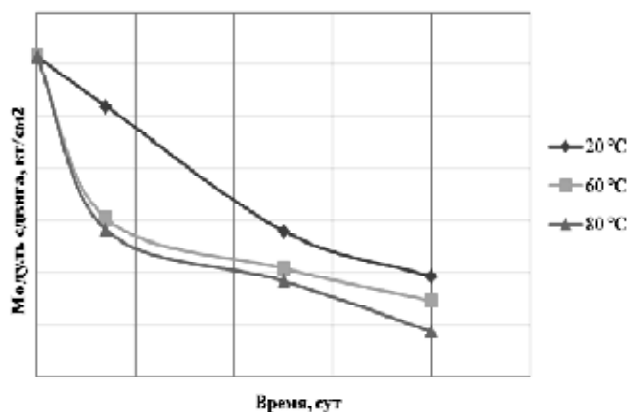
Вычисление модуля сдвига после теплового старения

Критерий	Контр. образец	Температура старения 20°C		Температура старения 60°C		Температура старения 80°C	
		0,092 кг/см ²	0,118 кг/см ²	0,092 кг/см ²	0,118 кг/см ²	0,092 кг/см ²	0,118 кг/см ²
После 14 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	16,5	15	15	15	16	16
Прогиб, мм	4,05	3,8	3,23	3,56	3,67	3,885	3,64
Модуль сдвига, кг/см ²	19,07	18,62	18,6	18,07	17,52	17,66	17,41
После 50 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	16,5	16	15,5	15,5	16	16
Прогиб, мм	4,05	3,98	3,82	3,82	3,9	3,5	3,5
Модуль сдвига, кг/см ²	19,07	17,78	17,4	17,14	17,04	16,92	16,92
После 80 сут. теплового старения							
Нагрузка, кг	18	17,5	16,5	17,5	17,5	18	17,5
Прогиб, мм	4,05	3,79	3,56	4,17	3,83	4,27	4,56
Модуль сдвига, кг/см ²	19,07	17,33	16,96	16,83	16,73	16,63	16,44

На основе полученных данных были построены зависимости модуля сдвига наполнителя панели после теплового старения при постоянной нагрузке (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Графики зависимости модуля сдвига от времени теплового старения при постоянной нагрузке: а) 0,092 кг/см², б) 0,118 кг/см² (иллюстрации авторов)

При тепловом старении в материале происходит усиление узлов и тяжей ячеек, а также рост анизотропии структуры материала. При этом наблюдается следующая закономерность – с увеличением величины нагружения старение материала протекает более интенсивно. Вместе с тем, при нагрузках значительной величины температура практически не оказывает влияния на процесс старения материала. Однако наибольший спад модуля сдвига образца наблюдается в первые сутки старения.

Полученные значения модуля сдвига для каждого температурно-временного режима служат основой для построения кривой длительного старения в координатах $\Delta G - \ln t$, где ΔG – приращение модуля сдвига, %, t – время старения, сут.

Для наглядности представления все величины падения модуля сдвига наполнителя трехслойной конструкции в процентном соотношении были сведены в единую таблицу (табл. 4).

Таблица 4

Снижение показателей модуля сдвига после 14, 50 и 80 суток теплового старения

Температура, °C	Снижение модуля сдвига, %		
	Спустя 14 сут.	Спустя 50 сут.	Спустя 80 сут.
При нагружении 0,092 кг/см ²			
20	2,4	6,8	9,1
60	5,2	10,1	11,7
80	7,4	11,3	12,8
При нагружении 0,181 кг/см ²			
20	2,5	8,8	11,1
60	8,1	10,6	12,3
80	8,7	11,3	13,8

Кривая сдвига, полученная при температуре эксперимента 20°C, берется в качестве исходной. Кривые сдвига, полученные при температурах 60°C и 80 °C, сдвигаются вдоль оси времени. Полученная обобщенная кривая является прогнозируемой долгосрочной кривой сдвига при нормальной температуре (рис. 3, 4).

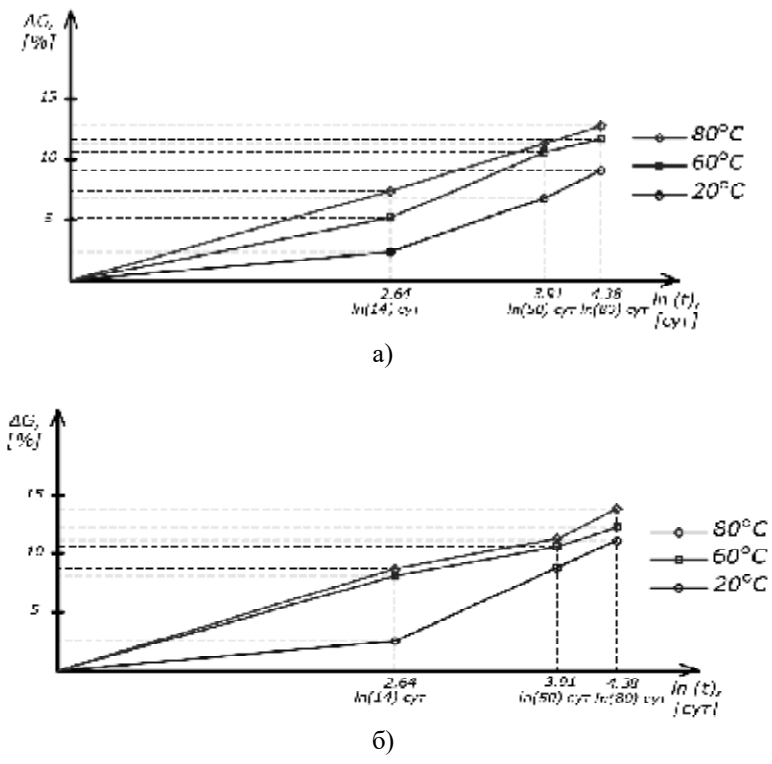


Рис. 3. Кривые изменения сдвига после теплового старения при 20, 60 и 80°C для пролета конструкции: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)

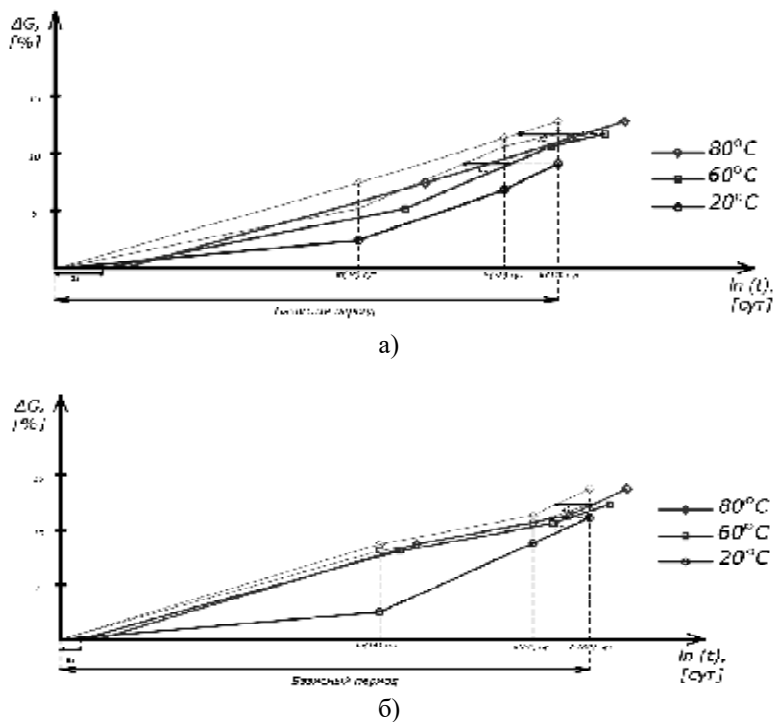


Рис. 4. Построение обобщенной кривой для пролета конструкции: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)

Если известна минимально допустимая при эксплуатации величина модуля сдвига, при которой кровельная конструкция перестает отвечать требованиям по предельному прогибу, то можно определить время эксплуатации конструкции до выхода ее из строя по выбранному критерию предельного состояния (рис. 5).

Для этого на графике проводится горизонтальная кривая $\Delta G = \text{const}$ и отмечается координата $\ln t$ точки пересечения с кривой старения.

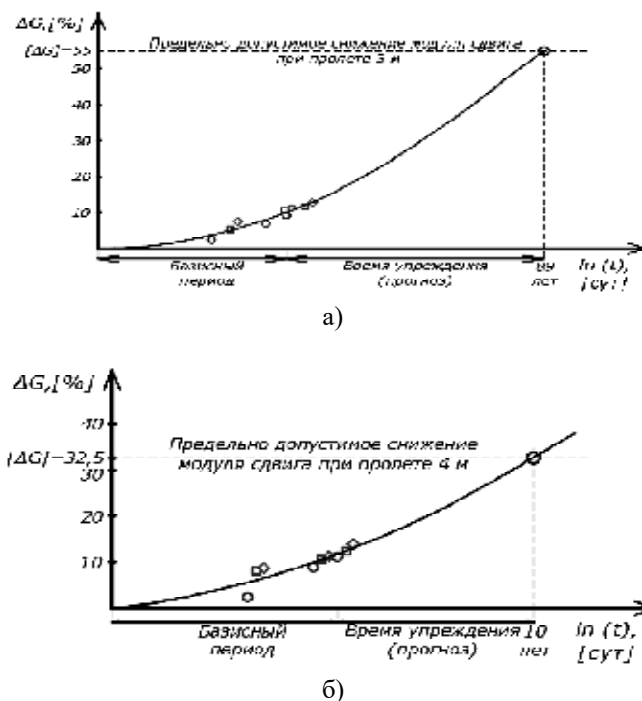


Рис. 5. Обобщенная линия долговечности трехслойной кровельной панели для пролетов: а) 3 м; б) 4 м (иллюстрации авторов)

Согласно проведенным численным исследованиям, в ПК «Лири-САПР» предельный модуль сдвига наполнителя из пенополистирола трехслойной кровельной конструкции пролетом 3 м, соответствующий достижению предельного прогиба $[w]=15$ мм, равен $[G]=0,9$ МПа= 9 кг/см², следовательно, в процентном соотношении предельный спад модуля сдвига равен $[\Delta G] = 55$ %.

Аналогично для трехслойных кровельных конструкций пролетом 4 м предельный модуль сдвига наполнителя из пенополистирола, соответствующий достижению предельного прогиба $[w]=20$ мм, равен $[G]=1,35$ МПа= $13,5$ кг/см², следовательно, в процентном соотношении предельный спад модуля сдвига равен $[\Delta G] = 32,5$ %.

Имея предельные величины снижения модуля сдвига наполнителя, можно спрогнозировать срок службы безотказной работы трехслойной кровельной конструкции разного пролета (рис. 5).

Заключение

По построенным кривым долговечности был определен срок службы кровельной панели:

- для плиты пролетом 3 м – срок службы порядка 90 лет;
- для плиты пролетом 4 м – срок службы 10 лет.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что при прогнозировании долговечности трехслойной кровельной конструкции ключевым фактором является пролет конструкции, т.к. с увеличением его величины значительно возрастают ограничения по предельным значениям характеристик материала наполнителя, а именно, модуля сдвига. Наряду с этим, при малых пролетах (≤ 3 м) долговечность трехслойной кровельной конструкции составляет более 100 лет.

Прогнозирование долговечности пенополистирола производится ускоренным методом старения, сущность которого заключается в выдержке образцов материала при повышенной температуре за определенный промежуток времени с последующим испытанием образцов.

Испытания на сдвиг среднего слоя наполнителя кровельной панели производятся согласно методике, изложенной в EN 14509-2009 «Панели самонесущие теплоизоляционные слоистые заводского изготовления. Технические условия».

По результатам испытаний кривые сдвига одного вида образца для разных температур, согласно температурно-временной аналогии, были обобщены в одну кривую, которая является прогнозируемой долгосрочной кривой при нормальной температуре. Рассчитав предельную величину падения модуля сдвига, при которой кровельная панель перестает отвечать требованиям по прогибу, определен срок службы кровельной панели:

- для плиты пролетом 3 м – срок службы порядка 90 лет;
- для плиты пролетом 4 м – срок службы 10 лет.

Список библиографических ссылок

1. Rogowski B. F. Fire Performance of combustible insulation in masonry cavity walls // Fire Safety. 1986. Vol. 8. P. 119–134.
2. Guyumdzhyan P. P., Kokanin S. V., Tsibakin S. V. Research of process of ageing foam polystyrene in the conditions of ultraviolet and infrared irradiations // Scientific and technical. 2010. № 4. P. 92–96.
3. Khale D., Chaudhary R. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development // J. Mater. Sci. 2007. Vol. 42. P. 729–746.
4. Helbling C., Karbhari V. M. Durability Assessment of Combined Environmental Exposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orleans, Louisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
5. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 10–13.
6. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 с.
7. Уржумцев Ю. С., Максимов Р. Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. Рига : Знание, 1975. 416 с.
8. Солдатов А. А., Бедник В. С., Акобян Г. В., Текеев И. Х. Ограждающие конструкции – сэндвич панели // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1. С. 165–167.
9. Мамонтов С. А., Киселева О. А. Влияние старения на долговечность пенополистирола // Вопросы современной науки и практики. 2012. № 2 (40). С. 39–44.
10. Холопов И. С., Петров С. М. Оптимальное проектирование трехслойных панелей с учетом сдвиговых деформаций среднего слоя // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 36–40.
11. Ярцев В. П., Андрианов К. А., Иванов Д. В. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений. Тамбов : ТГТУ, 2010. 120 с.

Kamalova Zagira Abdulovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru

Sagdiev Ruslan Rustemovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Aleksandrova Margarita Andreevna

assistant of chief engineer of the project

E-mail: alexspit@bk.ru

LLC «Vector»

The organization address: 420015, Russia, Kazan, Tolstoy st., 41, of. 27

Valiev Almaz Ilurovich

engineer-constructor

E-mail: amazon050@mail.ru**LLC «MaviKazan»**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 60

Development of a method for predicting the durability of a three-layer roofing structure**Abstract**

Problem statement. The aim of the research is the development of the method for predicting the durability of three-layer walling using roofing sandwich panels with expanded polystyrene filler as an example.

Results. The main results of the study are:

- The analysis of regulatory prerequisites for the prediction of the durability of building envelopes;
- The study of existing methods for predicting the durability of building envelopes;
- The development of the finite-element model of the roofing sandwich panel, which allows us to study the mechanism of loss of performance, of the materials being studied, to determine the main factors affecting their operational life;
- Modeling the operation of roofing sandwich panels under load using the PC «Lira»;
- The study of the patterns of destruction and deformation of roofing sandwich panels with a filler of expanded polystyrene when varying specified constant stresses and temperatures.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to improve the methods of forecasting the durability of enclosing structures, allowing to determine the service life of building materials and products.

Keywords: sandwich panels, foamed polystyrene, sheet assemble designs, prefabricated panels, block-farms, durability, prognostication, temperature and time analogy.

References

1. Rogowski B. F. Fire Performance of combustible insulation in masonry cavity walls // Fire Safety. 1986. Vol. 8. P. 119–134.
2. Guyumdzhyan P. P., Kokanin S. V., Tsibakin S. V. Research of process of ageing foam polystyrene in the conditions of ultraviolet and infrared irradiations // Scientific and technical. 2010. № 4. P. 92–96.
3. Khale D., Chaudhary R. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development // J. Mater. Sci. 2007. Vol. 42. P. 729–746.
4. Helbling C., Karbhari V. M. Durability Assessment of Combined Environmental Exposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orleans, Louisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
5. Suleymanov A. M. Actual tasks in predicting the durability of polymer building materials // Stroitel'nyye materialy. 2015. № 5. P. 10–13.
6. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of the architectural environment. M. : ASV, 2016. 194 p.
7. Urzhumtsev Yu. S., Maksimov R. D. Forecasting the deformability of polymeric materials. Riga: Znaniye, 1975. 416 p.
8. Soldatov A. A., Bednik V. S., Hakobyan G. V., Tekeev I. Kh. Building envelope – sandwich panels // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 1. P. 165–167.
9. Mamontov S. A., Kiseleva O. A. Effect of aging on the durability of expanded polystyrene // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. 2012. № 2 (40). P. 39–44.
10. Kholopov I. S., Petrov S. M. Optimal design of three-layer panels taking into account shear deformations of the middle layer // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 2. P. 36–40.
11. Yartsev V. P., Andrianov K. A., Ivanov D. V. Physical and mechanical and technological fundamentals of the use of expanded polystyrene with additional insulation of buildings and structures. Tambov: TSTU, 2010. 120 p.