



УДК 691.175

Камалова Загиря Абдулловна

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

Валиев Алмаз Илсурович

инженер-конструктор

E-mail: almaz050@mail.ru

ООО «МавиКазань»

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

Нургалиева Лилия Расиловна

библиотекарь

E-mail: lili6595@icloud.com

МБОУ «Поисевская средняя общеобразовательная школа»

Адрес организации: 423730, Россия, Актанышский р-он, с. Поисево, ул. Советская, д. 21

Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение долговечности трехслойных сэндвич-панелей из пенополиуретана в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в анализе нормативной предпосылок к вопросу прогнозирования долговечности ограждающих конструкций; выборе показателя работоспособности, в зависимости от назначения конструкции; определении долговечности сэндвич-панели для ограждающих конструкции в зависимости от условий эксплуатации; разработке конечно-элементарной модели кровельной сэндвич-панели, позволяющая исследовать характер влияния модуля сдвига и модуля упругости на эксплуатационные свойства; установлении зависимости долговечности кровельного покрытия от параметров сэндвич-панели.

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, пенополиуретан, панели максимальной заводской готовности, долговечность, прогнозирование.

Для цитирования: Камалова З. А., Сагдиев Р. Р., Валиев А. И., Нургалиева Л. Р. Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 27–38.

1. 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 для соблюдения условий повышенного внимания к вопросам энергосбережения при проектировании трехслойных сэндвич-панелей должны учитываться расчетные методы по оценке срока эксплуатации.

В настоящее время возросло производство трехслойных сэндвич-панелей, которые позволяют быстро возводить здания и сооружения.

По функциональному назначению согласно ГОСТ 32603-2012 выделяют стеновые и кровельные сэндвич-панели.

Стеновые сэндвич-панели применяются при возведении наружных стен. При разработке и производстве работ по возведению используются вертикальная, горизонтальная, а также наклонная сборка изделий. Реже стеновые сэндвич-панели являются ограждением настила полов и межэтажных перекрытий, используются при реконструкции.

Кровельные сэндвич-панели используются при сооружении кровель.

Сэндвич-панели используются при строительстве быстровозводимых зданий и сооружений широкого назначения: ангары, гаражи, сельскохозяйственные комплексы, торговые, административные, производственные, складские, в некоторых случаях при возведении малоэтажных жилых домов и холодильных.

В ограждающих конструкциях ветровые нагрузки воспринимают несущие элементы, а стеновые сэндвич-панели в основном определяют только теплозащитные свойства, кровельные сэндвич-панели воспринимают нагрузки от кровли, временные сезонные нагрузки и нагрузки малой площади согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Поверхность панели воспринимает нагрузку изгибающего момента. Большая часть момента сдвига воспринимается внутренним теплоизоляционным слоем, которая повышает прочность на сдвиг.

Перепады температур влияют на несущую способность и деформативность сэндвич-панелей. Большие температурные напряжения приводят к разрушению внутреннего теплоизоляционного слоя вблизи склейки слоев.

При проектировании конструкций трехслойных сэндвич-панелей предусматривается некоторый запас по теплозащите, связанный с ограниченным типоразмерным рядом теплоизоляционных материалов. Эффективная эксплуатация конструкции определяется учетом условий эксплуатации [1-5].

2. Материалы и методы

Оценка срока службы наружных стен из стеновых сэндвич-панелей по критерию теплозащиты

Для оценки срока службы наружной стены по критерию теплозащиты необходимо сформулировать конструкцию стены согласно действующих нормативных документов.

К основным характеристикам материальных слоев, необходимых для расчета срока службы относятся:

- теплопроводность материала;
- теплоусвоение материала;
- коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции;
- энергия активации термического разрушения материала теплоизоляции с полимерной основой;
- показатель долговечности материала теплоизоляции.

Для повышения долговечности расчета слой теплоизоляции разделяется на равные дополнительные расчетные слои, расчетными сечениями, для которых являются середины дополнительных слоев.

Тепловое старение материала в ограждающих конструкциях происходит не при постоянной температуре T_x , а при температурах, изменяющихся в течение года в зависимости от климатических условий. Для применимости формулы необходимо использовать понятие эквивалентной температуры $T_{экв,x}$.

Выражение для определения эквивалентных температур эксплуатации в расчетных сечениях от действия температуры наружного воздуха:

$$t_{экв,x} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[\frac{1}{\tau_{год}} \sum_{f=1}^N \Delta \phi_f \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(T_{\theta} - \frac{T_{\theta} - T_{n,j}}{R_{To}} R_{To,x} \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где $t_{\text{экв},x}$ – эквивалентная температура в расчетном сечении x от действия температуры наружного воздуха, К;

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

$\tau_{\text{год}} = 8760$ ч – количество часов в году.

Воздействие солнечной радиации на здание или сооружение вызывает повышение температуры поверхности наружной части стены тем самым вызывая повышение температуры в слоях ограждения [6-10].

Температурные изменения и влияние солнечной радиации рассматриваются раздельно друг от друга. В этом случае температуры эксплуатации в сечениях теплоизоляционного материала можно рассматривать как воздействие температуры воздуха и солнечной радиации.

Для оценки воздействия солнечной радиации на температуру стены в течение года необходимо определить действие солнечной радиации и ее продолжительность.

При этом эквивалентная температура определяется по формуле:

$$t_{\text{экв,усл},x} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[\frac{1}{\tau_{\text{сиян}}} \sum_{k=1}^{12} \Delta\tau_{\text{сиян},k} \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(\frac{\rho S_k}{\alpha_{n,k} v_x} + 273,15 \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (2)$$

Суммарная эквивалентная температура эксплуатации в слое теплоизоляции определяется по формуле:

$$T_{\text{экв},x} = t_{\text{экв},x} + t_{\text{экв,усл},x}. \quad (3)$$

Таким образом:

- тепловое старение материала в ограждающих конструкциях происходит не при постоянной температуре, а при температурах, изменяющихся в течение года в зависимости от климатических условий;

- распределение температуры по сечениям теплоизоляционного материала в отсутствии воздействия солнечной радиации носит линейный характер;

- солнечной радиации воздействует на фасад здания и вызывает повышение температуры в слоях ограждения [11-15].

Формула прогноза срока службы по критерию теплозащиты:

$$\tau = \frac{\frac{\Delta\lambda_{\text{кр}}}{K_\lambda} \sum_{x=1}^n \exp \left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{экв},x}} - \frac{1}{T_u} \right) \right]}{n}, \quad (4)$$

где $\Delta\lambda_{\text{кр}}$ – критическое приращение коэффициента теплопроводности материала теплоизоляционного слоя, Вт/(м·°С);

K_λ – показатель долговечности при тепловом старении, Вт/м·°С·год;

T_u – температура при изотермических испытаниях, К;

$T_{\text{экв},x}$ – эквивалентная эксплуатационная температура в x -м слое теплоизоляционного материала, К;

n – количество расчетных слоев в слое теплоизоляционного материала;

E_a – энергия активации процесса разрушения, Дж/моль;

$R = 8,314$ Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная.

Оценка срока службы кровельных сэндвич-панелей по критерию теплозащиты и деформирования твердых тел

Сэндвич-панели, эксплуатирующиеся в конструкциях кровли воспринимают нагрузки от слоев кровельного пирога, сезонные и местные нагрузки.

В зависимости от температурного района толщину теплоизоляционного слоя определяют согласно СП 50.13330.2012. Вычислив требуемую толщину теплоизоляционного слоя возможно моделирование приближенных к реальности условий эксплуатации в расчетных программах, что позволяет определить напряженно-деформированное состояние кровельных сэндвич-панелей и в последующем определить ее долговечность. Поэтому для оценки срока службы кровельных сэндвич-панелей для 8 температурных районов была подсчитана толщина утеплителя в кровельных сэндвич-панелях, построена расчетная схема на программном комплексе.

Длины пролетов предусмотрены по 1 м, 3 м, 5 м, а рабочая ширина кровельной панели принята 1 м.

С течением времени характеристики материалов ухудшаются. А именно средней слой теряет свои качества: он становится более жестким (воздействие высоких температур эксплуатации, влияние солнечной радиации), меняется структура ячеек.

Самыми чувствительными характеристиками являются: модуль упругости E и модуль сдвига G .

Для расчета кровельной сэндвич-панели на программном комплексе были составлены 4 варианта сочетания модуля упругости E и модуля сдвига G :

1 вариант: $E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа;

2 вариант: $E = 1,754$ МПа, $G = 3$ МПа;

3 вариант: $E = 1,831$ МПа, $G = 2$ МПа;

4 вариант: $E = 1,879$ МПа, $G = 1$ МПа.

Прогнозируемый срок службы кровельных сэндвич-панелей определяем по прогибам панели. Согласно СП 20.13330.2016 в приложении Д указаны предельные прогибы для элементов конструкции:

1 м пролета – $1/120=8,3$ мм;

3 м пролета – $3/150=20$ мм;

5 м пролета – $5/150=33$ мм.

Во время старения, при увеличении прогиба происходит увеличение касательных напряжений и уменьшение напряжения в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели.

3. Результаты

Оценка срока службы наружных стен из стеновых сэндвич-панелей по критерию теплозащиты

Воздействие солнечной радиации существенно влияет на прогнозируемую долговечность стеновых сэндвич-панелей.

Ориентация фасада так же влияет на долговечность ограждающей конструкции. Если сравнить южный фасад с северным, разница составляет в среднем 2.6 раза. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Прогнозируемый срок службы сэндвич-панелей, в годах

Температурный район (город)	Ю	В (З)	ЮВ (ЮЗ)	СВ (СЗ)	С
I (Краснодар)	28,2	43,7	26,8	60,0	80,3
II (Астрахань)	22,3	41,1	25,3	55,6	76,4
III (Казань)	28,7	27,6	28,1	33,9	52,3
IV (Барнаул)	24,8	53,7	28,4	68,6	82,4
V (Владивосток)	28,8	73,8	37,2	50,6	86,1
VI (Благовещенск)	29,2	31,2	61,8	56,2	58,5
VII (Якутск)	34,3	76,5	43,4	74,3	81,7
VIII (Томпо)	32,7	71,6	37,8	78,3	81,3

Оценка срока службы кровельных сэндвич-панелей по критерию теплозащиты и деформирования твердых тел

Согласно действующих нормативных материалов для кровельных сэндвич-панелей определены рекомендуемые толщины слоя утеплителя (на примере пенополиуретана). Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Для оценки несущей способности конструкции кровли была смоделирована расчетная схема на программном комплексе. Длины пролетов приняты согласно техническим характеристикам выпускаемых изделий.

Внутренний слой обшивки сэндвич-панели создана в виде пластины размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,05$, $S=0,0004$ м².

Средний слой сэндвич-панели создана в виде объемного элемента размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,085$ м, $V=4e-006$ м³.

Наружный слой сэндвич-панели создана в виде пластины размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,085$ м, $V=4e-006$ м³. Характеристики материала как у внутреннего слоя. Наружный слой от внутреннего отличается только наличием ребер.

Для определения величин прогибов в расчете учитывались собственный вес и снеговая нагрузка.

Таблица 2

Температурный район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха,	2,5	-0,8	-4,8	-7,5	-4,3	-10,7	-20,9	-23,3
$z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут,	145	164	208	213	198	210	252	269
ГСОП, °С·сут	2537,5	3411,2	5158,4	5857,5	4811,4	6447,0	10306,8	11647,7
Требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отпр}$	2,62	2,96	3,66	3,94	3,52	4,18	5,72	6,26
Условное сопротивление теплопередаче $R_{отпр}^{усл}$	3,02	3,25	4,06	4,33	3,96	4,56	6,11	6,86
Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{отпр}$, (м ² °С/Вт)	2,78	2,99	3,74	3,98	3,64	4,20	5,62	6,31
Толщина утеплителя, мм	120	130	150	170	190	220	250	330

По результатам расчета получены следующие результаты:

- прогиб плиты;
- напряжения.

Для составленных вариантов в расчетной программе для 3 типов размеров в 4 вариантах найдены прогибы кровельных сэндвич-панелей. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

С увеличением длины прогона возрастают и прогибы:

- для г. Краснодара максимальный прогиб составляет 14,1 мм, минимальный 0,068 мм;
- для г. Астрахани максимальный прогиб составляет 12,0 мм, минимальный 0,064 мм;
- для г. Казани максимальный прогиб составляет 47,7 мм, минимальный 0,505 мм;
- для г. Барнаула максимальный прогиб составляет 37,4 мм, минимальный 0,585 мм;
- для г. Владивостока максимальный прогиб составляет 27,4 мм, минимальный 0,422 мм;
- для г. Благовещенска максимальный прогиб составляет 14,4 мм, минимальный 0,09 мм;
- для г. Якутска максимальный прогиб составляет 25,3 мм, минимальный 0,481 мм;
- для г. Томпо максимальный прогиб составляет 18,7 мм, минимальный 0,601 мм;

Во время старения, при увеличении прогиба происходит увеличение касательных напряжений и уменьшение напряжения в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели.

На рис. 1а в нижнем слое во втором объемном элементе изначальное напряжение N_z составляет 0,007 т/м², а на рис. 1б в нижнем слое во втором и на третьем элементе – по 0,00035 т/м².

На рис. 2а в нижнем слое в первом объемном элементе изначальное напряжение τ_{yz} меньше по сравнению с рис. 2б.

Зависимости долговечности кровельного покрытия от параметров сэндвич – панели представлены на рис. 3-4.

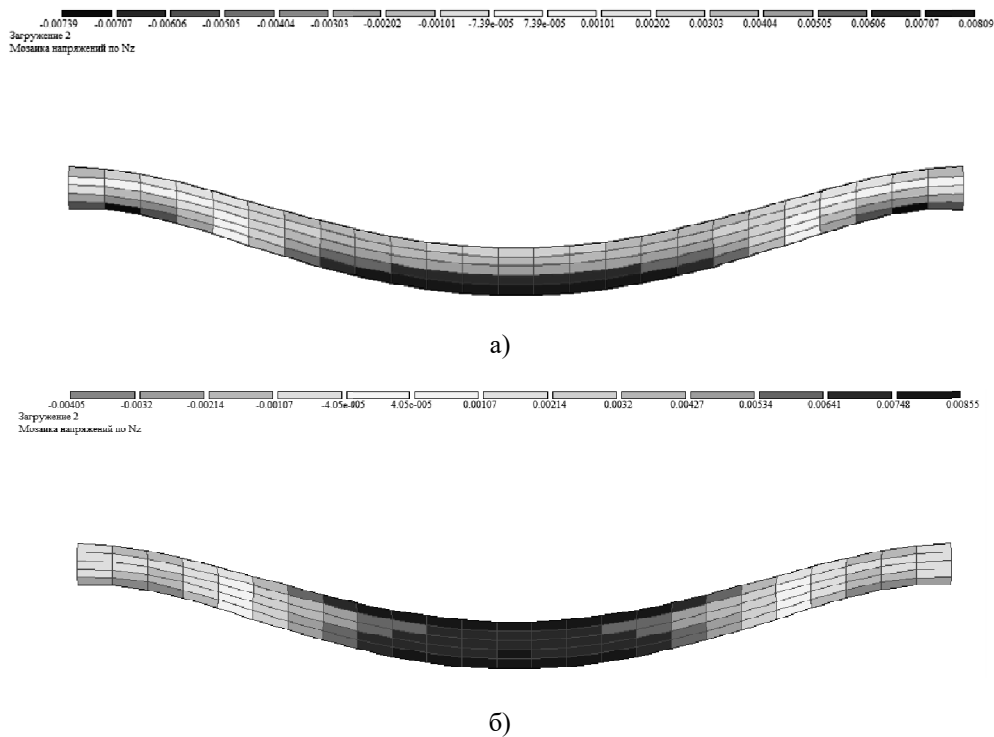


Рис. 1. Напряжения N_z кровельной сэндвич – панели (иллюстрация авторов):
а) при варианте 1 ($E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа); б) при варианте 4 ($E = 1,831$ МПа, $G = 1$ МПа)

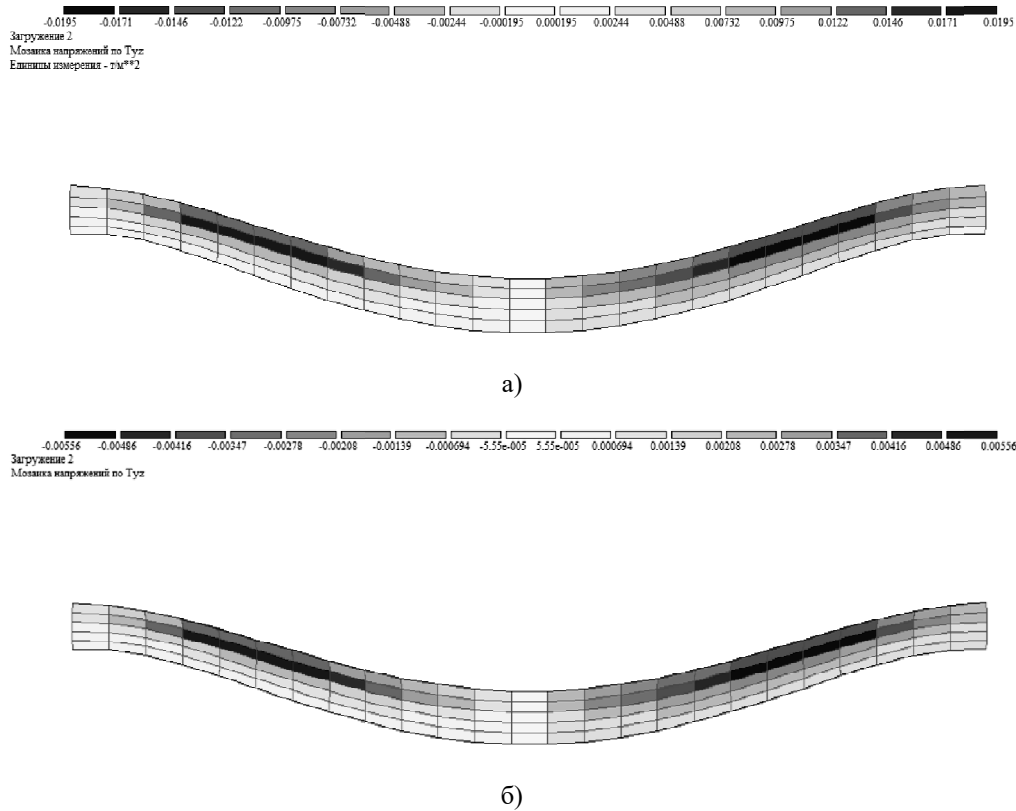


Рис. 2. Напряжения τ_{yz} кровельной сэндвич – панели (иллюстрация авторов):
а) при варианте 1 ($E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа); б) при варианте 4 ($E = 1,831$ МПа, $G = 1$ МПа)

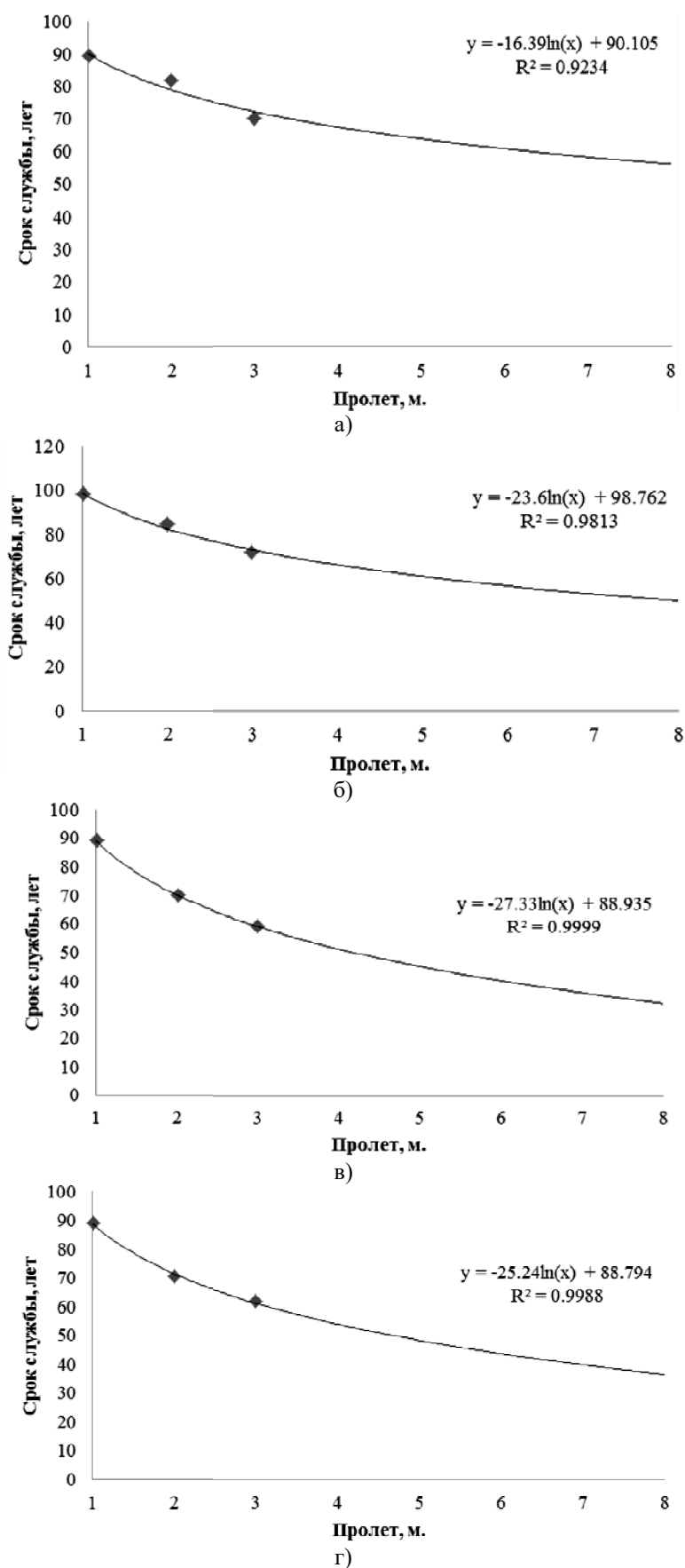


Рис. 3 Графики срока службы кровельных сэндвич-панелей для I-IV температурного района (иллюстрация авторов): а) г. Краснодар; б) г. Астрахань; в) г. Казань; г) г. Барнаул

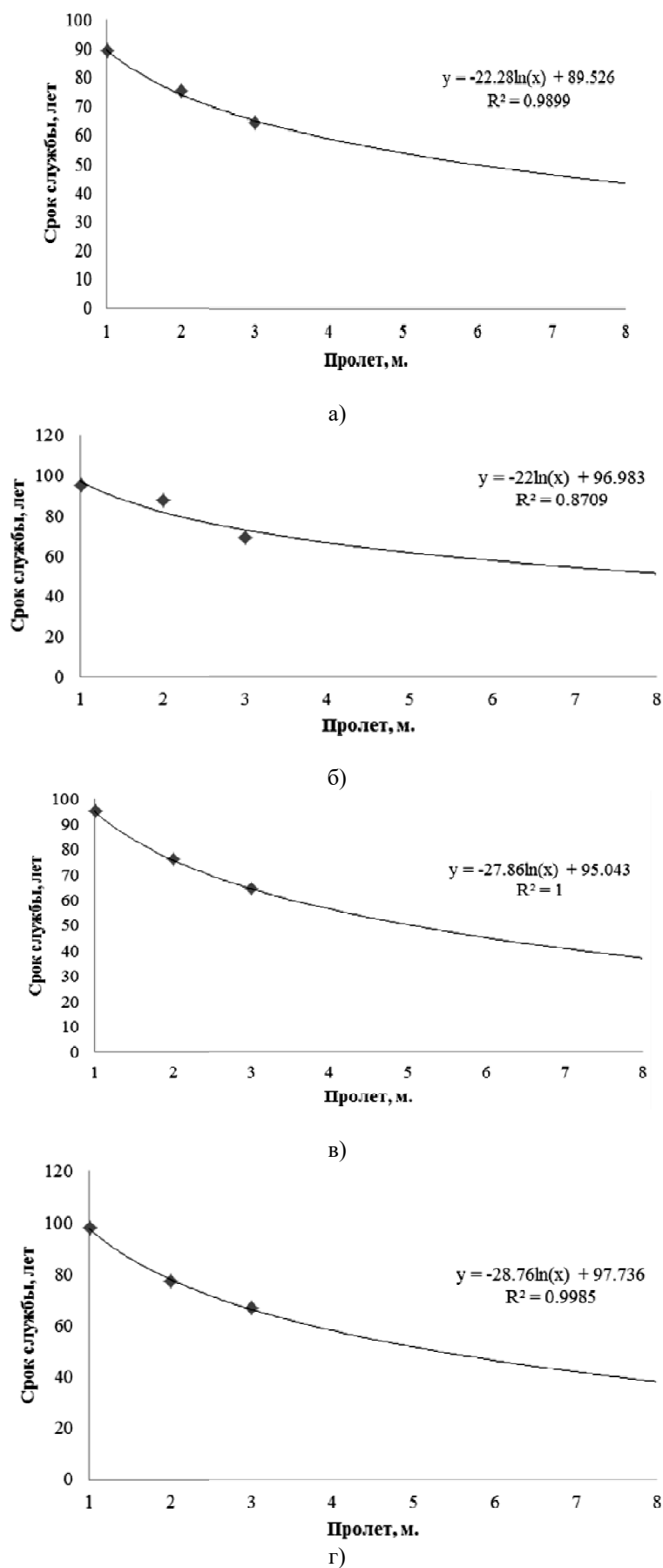


Рис. 4 Графики срока службы кровельных сэндвич-панелей для V-VIII температурного района (иллюстрация авторов): а) г. Владивосток; б) г. Благовещенск; в) г. Якутск; г) г. Томпо

Таблица 3

Пролет	Прогибы для г. Краснодара, мм			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
1 м	0,068	0,072	0,078	0,08
3 м	1,59	1,95	2,54	3,70
5 м	4,88	6,18	8,54	14,1
Прогибы для г. Астрахани, мм				
1 м	0,064	0,07	0,077	0,08
3 м	1,22	1,49	1,94	2,86
5 м	4,09	5,19	7,2	12,0
Прогибы для г. Казани, мм				
1 м	0,505	0,533	0,56	0,621
3 м	5,45	6,49	8,15	11,4
5 м	17,5	21,8	29,5	47,7
Прогибы для г. Барнаула, мм				
1 м	0,585	0,622	0,673	0,759
3 м	4,55	5,43	6,91	10,1
5 м	13,1	16,4	22,4	37,4
Прогибы для г. Владивостока, мм				
1 м	0,422	0,488	0,487	0,553
3 м	3,02	3,6	4,58	6,74
5 м	8,63	11,2	14,9	27,4
Прогибы для г. Благовещенска, мм				
1 м	0,09	0,097	0,108	0,13
3 м	0,627	0,775	1,23	1,61
5 м	4,54	5,81	8,19	14,4
Прогибы для г. Якутска, мм				
1 м	0,481	0,505	0,549	0,634
3 м	2,86	3,17	4,35	6,32
5 м	7,5	11,6	15,4	25,3
Прогибы для г. Томпо, мм				
1 м	0,601	0,652	0,698	0,723
3 м	2,82	3,15	4,26	6,03
5 м	6,88	8,17	14,9	18,7

4. Обсуждение

Точность оценки срока службы материалов при расчетах или экспериментальных исследованиях в значительной степени определяется наиболее полным учетом и составлением модели реальных эксплуатационных воздействий на ограждающие конструкции. Для оценки общего срока службы конструкций ограждения необходимо оценить срок службы каждого функционального слоя по соответствующему ему критерию. Так как на сегодняшний день такого всеобъемлющего метода не существует, в данной работе оценен срок службы наружной стены по одному критерию – потере теплозащитных функций теплоизоляционного слоя.

Анализируя полученные данные по оценке срока службы кровельных сэндвич-панелей нужно отметить, что на сегодня при проектировании конструкций возможно моделирование условий эксплуатации для точного прогноза долговечности сэндвич-панелей.

В расчетной программе для 3 типов размеров в 4 вариантах найдены соответствующие прогибы кровельной сэндвич-панели. В г. Казань, Барнаул при 5м пролета конструкция кровельной сэндвич-панели не соответствует требованиям по СП 20.13330.2016.

Данные результаты можно использовать при проектировании кровельных сэндвич-панелей, исходя из срока службы конструкции.

5. Заключение

1. Определение долговечности сэндвич-панелей целесообразно производить по внутреннему теплоизоляционному слою. Так при оценке долговечности теплозащитных материалов необходимы:

а) учет условий эксплуатации теплозащитных материалов с целью выявления агрессивных факторов еще на стадии проектирования;

б) учет условий работы в утепляемых конструкциях с целью выбора правильной методики оценки долговечности:

- утеплитель работает только под собственным весом (теплозащитные материалы ограждающих конструкций), расчет следует вести по критерию теплозащиты.

- теплозащитные материалы, которые работают под вышележащей нагрузкой (теплозащитные материалы на кровле), необходимо применять термофлуктуационную концепцию разрушения и деформирования твердых тел;

2. На долговечность стеновых сэндвич-панелей существенно влияет воздействие солнечной радиации. Прогнозируя долговечность стеновых сэндвич-панелей необходимо ориентироваться на ориентацию фасада. Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

- максимальный срок службы составляет 86,1 лет в V температурном районе, ориентация фасада северная;

- минимальный срок службы равен 22,3 г во II температурном районе, ориентация фасада южная;

- в среднем, если сравнить южный фасад с северным по всем температурным районам, разница составляет 2,6 раза.

3. Анализируя полученные данные по оценке долговечности кровельных сэндвич-панелей можно сделать вывод, что при прогнозировании долговечности кровельных сэндвич-панелей важным фактором является пролет конструкции. С увеличением пролета происходит увеличение касательных напряжений, уменьшение напряжений в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели, поэтому на долговечность кровельных сэндвич панелей положительно сказывается уменьшение длины прогона, что положительно сказывается и на экономическую сторону строительства.

Список библиографических ссылок

1. Куприянов В. Н., Седова Ф. Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // Жилищное строительство. 2015. № 5. С. 83–87.
2. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.
3. Pozorska J., Pozorski Z. Analysis of the failure mechanism of the sandwich panel at the supports // Procedia Engineering. 2017. № 177. P. 168–174. DOI: 10.1016/2017.02.213.
4. Studzinski R., Ciesieczyk K. Connection stiffness between thin-walled beam and sandwich panel // Sandwich Structures and Materials. 2019. V. 21. № 6. P. 2042–2056. DOI: 10.1177/1099636217750539.
5. Helbling C., Karbhari V.M. Durability Assesment of Combined Environmental Eposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orlean, Loisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
6. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 10–13.
7. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 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. 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.
10. Ильдияров Е. В., Холопов И. С. Экспериментально-теоретическое исследование долговечности трехслойных панелей со средним слоем из базальтовой ваты // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 31–36.

11. Каюмов Р. А., Шакирзянов Р. А., Шакирзянов Ф. Р., Каримова Г. Г. Расчет трехслойной панели со складчатым заполнителем. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : сб. мат. XXIV международного симпозиума имени А.Г. Горшкова / ООО «ТРП». М., 2018. С. 124–126.
12. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // MATEC Web of conferences. 2017. V. 106. № 01015. DOI: 10.1051/201710601015.
13. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // Light & Engineering. 2015. T. 23. № 3. P. 24.
14. Ciesielczyk K., Studzinski R. Experimental and numerical investigation of stabilization of thin-walled Z-beams by sandwich panels // Constr Steel Res. 2017. № 133. P. 77–83. DOI: 10.1016/2017.02.016.
15. Куприянов В. Н. К оценке теплового комфорта помещений облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть 1. Расчет энергии солнечной радиации, приходящей к наружной поверхности оконного блока // Вестник ПТО РААСН. 2019. Вып. 22. С. 97–104.

Kamalova Zagira Abdullova

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

Valiev Almaz Ilisurovich

engineer-constructor

E-mail: almazon050@mail.ru

LLC «MaviKazan»

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

Nurgalieva Lilia Rasilovna

librarian

E-mail: lili6595@icloud.com

MBEI «Poisevo secondary school»

The organization address: 423730, Russia, Aktanysh region, Poisevo, Sovetskaya st., 21

Determining the durability of sandwich panels depending on the purpose, conditions and areas of operation

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine the durability of three-layer sandwich panels made of polyurethane foam, depending on the purpose, condition, and areas of operation.

Results. The main results of the research consist in the analysis of normative prerequisites for the issue of prediction of the durability of enclosing structures; the selection of performance indicators, depending on the purpose of construction; the development of the finite-elementary model of roof sandwich panels to investigate the nature of the influence of the shear modulus and elastic modulus on the performance characteristics; the establishment of dependence of durability of roofing from the parameters of the sandwich panel; determining the durability of sandwich panels for walling, depending on the condition of operation.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists of improving methods for predicting the durability of enclosing structures, which allow determining the service life of building materials and products.

Keywords: sandwich panels, foamed polystyrene, durability, prognostication.

For citation: Kamalova Z. A., Sagdiev R. R., Valiev A. I., Nurgalieva L. R. Determining the durability of sandwich panels depending on the purpose, conditions and areas of operation // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 27–38.

References

1. Kupriyanov V. N., Sedova F. R. Justification and development of the energy method of calculating the insolation of residential premises // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. № 5. P. 83–87.
2. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.
3. Pozorska J., Pozorski Z. Analysis of the failure mechanism of the sandwich panel at the supports // *Procedia Engineering*. 2017. №177. P. 168–174. DOI: 10.1016/2017.02.213.
4. Studzinski R., Ciesielczyk K. Connection stiffness between thin-walled beam and sandwich panel // *Sandwich Structures and Materials*. 2019. V. 21. № 6. P. 2042–2056. DOI: 10.1177/1099636217750539.
5. 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.
6. Suleymanov A. M. Actual problems in durability prediction polymeric building materials // *Stroitelnye materialy*. 2015. № 5. P. 10–13.
7. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of architectural space. M. : ASV, 2016. 194 p.
8. Soldatov A. A., Budnik V. S., Hakobyan G. V., Tekeev I. H. Enclosing structures-sandwich panels // *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2016. № 1. P. 165–167.
9. 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.
10. Ildiyarov E. V., Kholopov I. S. Experimental and theoretical study of the durability of three-layer panels with a middle layer of basalt wool // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. № 9. P. 31–36.
11. Kayumov R. A., Shakirzyanov R. A., Shakirzyanov F. R., Karimova G. G. Calculation of a three-layer panel with folded filler. Dynamic and technological problems of structural mechanics and continuous environment : mat. of the XXIV International Symposium named after A.G. Gorshkov / LLC TRP. M., 2018. P. 124–126.
12. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // *MATEC Web of conferences*. 2017. V. 106. № 01015. DOI: 10.1051/201710601015.
13. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // *Light & Engineering*. 2015. T. 23. № 3. P. 24.
14. Ciesielczyk K., Studzinski R. Experimental and numerical investigation of stabilization of thin-walled Z-beams by sandwich panels // *Constr Steel Res*. 2017. № 133. P. 77–83. DOI: 10.1016/2017.02.016.
15. Kupriyanov V. N. To the assessment of thermal comfort of rooms irradiated by solar radiation through light openings. Part 1. Calculation of solar radiation energy coming to the outer surface of the window block // *Vestnik PTO RAACS*. 2019. V. 22. P. 97–104.