

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/07SAVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ибе Е.Е., Шibaева Г.Н., Гоголь Д.Д., Крещук А.А., Никитин А.Д. Комплексный анализ нормативного регулирования тепловой защиты зданий с позиции теплотехнических неоднородностей // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/07SAVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Ibe E.E., Shibaeva G.N., Gogol D.D., Khreshchuk A.A., Nikitin A.D. (2021). Analysis of the regulation of thermal protection of buildings from the perspective of heat engineering heterogeneities. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/07SAVN321.pdf> (in Russian)

УДК 697.14

ГРНТИ 67.03.05

Ибе Екатерина Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: Katerina.ibe@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=649187

Google Академия: <https://scholar.google.ru/citations?user=vN6KIQ4AAAAJ&hl=ru>

Шibaева Галина Николаевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Доцент, заведующая кафедрой «Строительство»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: shibaevagn@mail.ru

Гоголь Доброслав Дмитриевич

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Студент, гр. 38-2
E-mail: boss.dobroslav@mail.ru

Крещук Александр Александрович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Студент, гр. 38-2
E-mail: kreschuc@gmail.com

Никитин Александр Дмитриевич

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Студент, гр. 38-2
E-mail: sasha010520@gmail.com

**Комплексный анализ нормативного
регулирования тепловой защиты зданий с позиции
теплотехнических неоднородностей**

Аннотация. На сегодняшний день панельные здания массовых серий не соответствуют современным стандартам, имеют дефекты и повреждения, которые непосредственным образом влияют на тепловую защиту зданий. В связи с этим возникает необходимость исследования вопроса о повышении энергоэффективности и тепловой защиты зданий, а также улучшения методов её проектирования.

В данном исследовании была проведена оценка панельных домов различных поколений на предмет тепловых потерь. Произведен визуальный осмотр объектов исследования с помощью тепловизионной съемки с целью выявления характерных мест возникновения тепловых потоков, а также дефектов, влияющих на тепловую защиту. Были выявлены проблемы конструкции таких зданий.

Был проведен расчет структурных узлов, исследованы причины образования неравномерного температурного поля в этих узлах, и, как следствие, появления температурного потока через мостики холода, приводящего к возникновению больших тепловых потерь. Для расчета температурных полей в ходе исследования применялся программный комплекс ElCut.

В ходе исследования был проведен анализ компонентов, характеризующих энергоэффективность здания. Был произведен расчет такого наиболее важного компонента, как приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции, путем вычисления тепловых потерь через плоские элементы фасада, а также линейные неоднородности. Было установлено, что на величину тепловых потерь площадь остекления влияет в большей степени, чем линейные теплопроводные включения. Проведенное исследование выявило несовершенство нормативной базы по проектированию тепловой защиты, и поставило во внимание вопрос о пересмотре и корректировке нормативных показателей и методик расчета ограждающих конструкций.

Ключевые слова: тепловые потери; тепловые мосты; температурное поле; ограждающие конструкции; панельные здания; энергоэффективность; нормативная база

Введение

Энергопотребление и энергоэффективность на сегодняшний день являются важным аспектом при проектировании зданий. Большое количество энергии расходуется на отопление и кондиционирование зданий [1; 2]. Оценка этих показателей для жилых домов панельного типа – задача, которая требует комплексного подхода к ее решению.

Особенно важным этот вопрос является для регионов, находящихся в холодной климатической зоне, где значительная доля застройки представлена панельными домами массовых серий.

Панельные дома первых поколений имеют самый низкий уровень тепловой защиты среди всех многоквартирных жилых домов [3]. Это можно объяснить тем, что в типовых проектах подобных зданий предусмотрено большое количество монтажных узлов, которые представляют собой теплопроводные включения (конструкции стыков панелей, окон, наружных дверей, балконов, деталей крепления теплоизоляции, антисейсмических поясов) [4–7]. В результате образования мостов холода в данных стыках образуются значительные эксфильтрационные и инфильтрационные тепловые потоки, что приводит к увеличению тепловых потерь здания [8–10]. В результате образуется гетерогенное температурное поле наружной оболочки, обладающее разной степенью тепловой защиты, что формирует плоскости и точки конденсации влаги внутри ограждения [11], что очень негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках здания. Это характерно и для многих жилых домов, строящихся в настоящее время по современным проектам.

Существует большое количество методов, алгоритмов, а также программных комплексов и программного обеспечения для онлайн симуляций, технологий 3D-моделирования [12] для выявления и устранения этой проблемы [13–15]. Это можно сделать на этапе проектирования, а также на этапе эксплуатации уже построенного здания. В таком случае можно использовать другие методы, такие как натурная съемка с помощью тепловизора [16; 17].

Одним из приоритетных направлений энергосбережения в настоящее время является разработка способов повышения уровня энергоэффективности зданий, однако следует обратить внимание на то, что сама методика расчета энергетических показателей на данный момент имеет определенную погрешность, что неоднократно отмечалось во многих работах.

Целью данной работы является анализ нормативной базы по тепловой защите зданий, оценка конструктивного решения типовых панельных домов на предмет тепловых потерь при эксплуатации зданий в условиях холодного климата Республики Хакасия.

В ходе данного исследования была проведена тепловизионная съемка панельных домов массовых серий, был произведен расчет температурных полей для узлов примыкания панелей здания друг к другу, были определены причины низких показателей энергоэффективности панельных домов.

Методы проведения исследований

Исследование параметров тепловой защиты ограждающих конструкций здания состоит из трех этапов.

Первая часть – это визуальный осмотр с помощью тепловизора FlirB200 для выявления дефектов конструкции, трещин, мест возникновения тепловых потерь и мест образования биологической коррозии.

Вторая часть – это расчет структурных узлов с использованием программного пакета ELCUT для изучения температурного поля внешней ограждающей конструкции, а также сравнение результатов расчета узлов в зависимости от конструкции панельных домов типовых серий.

Третья часть заключается в анализе составляющих компонентов характеристики энергоэффективности здания.

Выполнено математическое моделирование теплового режима конструкции в холодное время года. Расчет выполняется при следующих граничных условиях:

- температура воздуха в помещении $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (ГОСТ 30494-2011);
- температуры наружного воздуха $t_{ext} = -37 \text{ }^\circ\text{C}$ (СП 50.13330.2012);
- коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности оболочки $\alpha_{si} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C})$ (СП 50.13330.2012);
- коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности оболочки $\alpha_{se} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C})$ (СП 50.13330.2012).

Результаты

В ходе исследования была проведена тепловизионная съемка для обнаружения дефектов конструкции, а также тепловых потерь здания (рис. 1, 2). В качестве объекта исследования

использовался панельный дом в городе Абакане серии 97-028. Съемка проводилась в январе 2021 года.

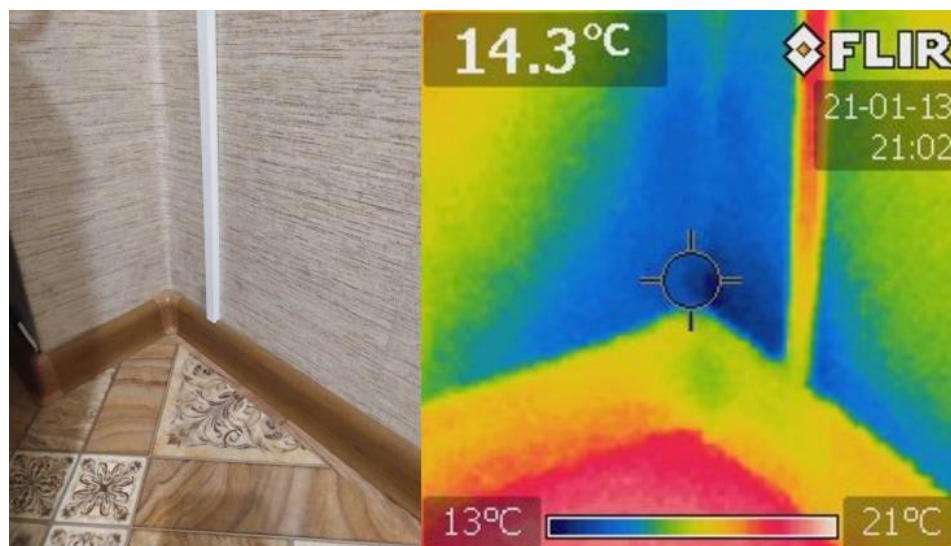


Рисунок 1. Термограмма стыка наружной стены и межэтажного перекрытия панельного дома (фото авторов)

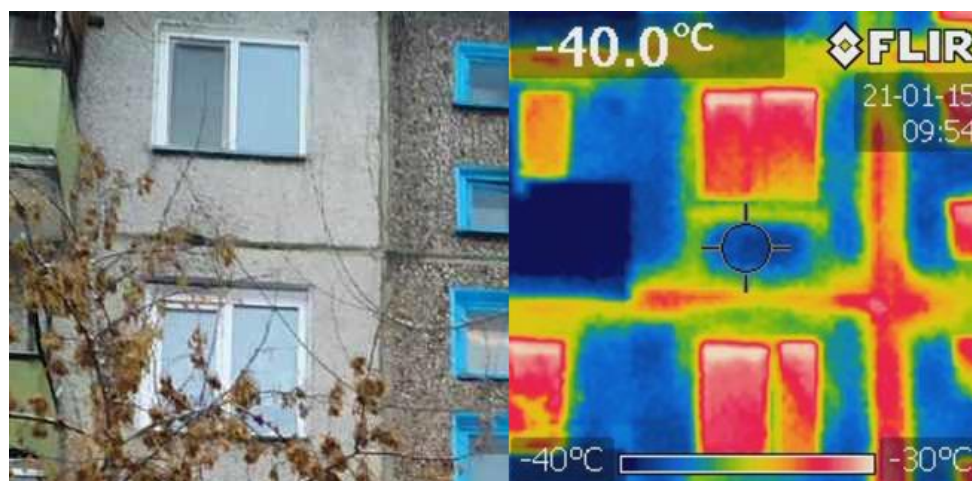


Рисунок 2. Термограмма фасада жилого дома (фото авторов)

На рис. 1 представлено фото узла стыка плиты перекрытия и внешней ограждающей конструкции (наружный угол здания). На изображении можно увидеть, что в данной области образуется гетерогенное температурное поле, температура в углу значительно меньше, чем в помещении. Температура на внутренней поверхности стыка составляет 14,3 °С.

На рисунке 2 изображен фрагмент фасада жилого панельного дома и его термограмма. По результатам съемки можно заключить, что швы между панелями, а также остекленные части фасада являются причиной больших тепловых потерь из здания. Температура их поверхностей значительно отличается от температуры поверхностей панелей здания.

Расчет структурных узлов

Чтобы изучить процесс образования тепловых потоков в узлах конструкции здания, необходим анализ температурного поля для данных структурных элементов. По результатам расчета были получены температурные поля для каждого из этих узлов.

В качестве объектов исследования были использованы следующие узлы:

1. монтажный узел закрытого стыка с замоноличенными связями на стальных скобах типового панельного дома с большим шагом поперечных несущих стен (рис. 3);
2. трехслойная железобетонная панель типового панельного дома с малым шагом поперечных несущих стен, где в качестве утеплителя используются полужесткие плиты из минеральной ваты (рис. 4).

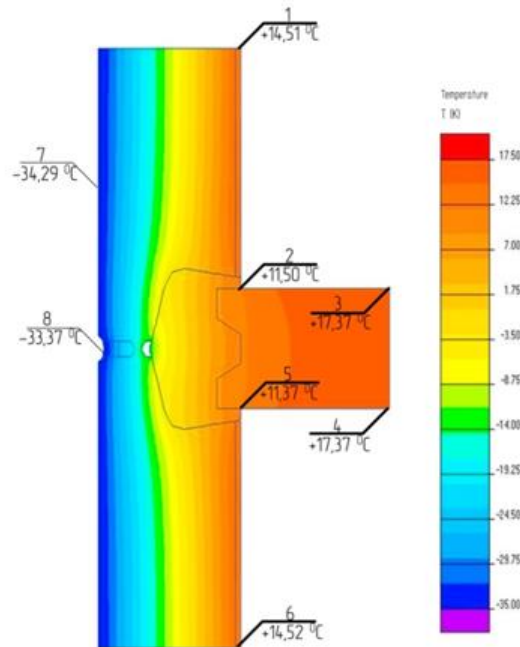


Рисунок 3. Температурное поле узла примыкания внутренней стены к наружной ограждающей конструкции (рисунок авторов)

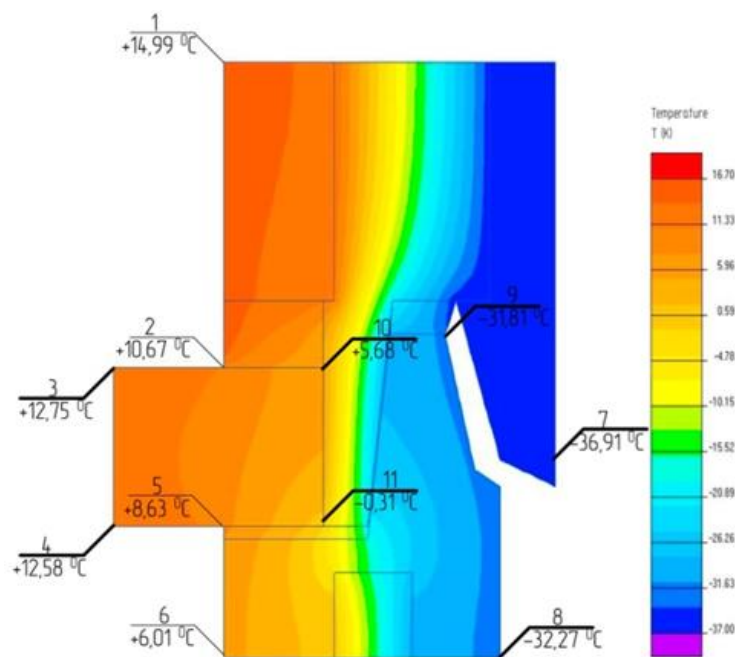


Рисунок 4. Температурное поле узла примыкания плиты перекрытия к наружной трехслойной стене (рисунок авторов)

По результатам исследования моделей конструктивных узлов было выявлено, что на внутренних поверхностях стены наблюдается значительное понижение температуры до $+11,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (расчетная точка 2, рис. 3) и до $+10,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ (расчетная точка 2, рис. 4), что не соответствует минимальной температуре в месте стыка наружной стены и плиты перекрытия согласно ГОСТ Р 59242-2020.

Очевидно, что конструкция узла формирует интенсивный тепловой поток через стену, что вызывает искажение температурного поля в этой области. Таким образом, это приводит к появлению промерзаний, конденсата и развитию грибковых образований в период эксплуатации здания.

Анализ полученных моделей показывает, что низкая энергетическая эффективность панельных зданий типовых серий заключается как в самом проектном решении узлов (рис. 3), так и в результате дефектов на этапе строительства – нет клина с утеплителем (рис. 4).

Анализ характеристик энергетической эффективности здания

На сегодняшний день класс энергосбережения жилых и общественных зданий зависит от удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий. Отклонение расчетного значения этого показателя от нормируемой (базовой) величины определяет класс энергосбережения от «Е» до «А++» согласно СП 50.13330.2012, где «Е» – низкий класс, а «А++» – очень высокий.

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий рассчитывается по формуле 1. Каждое составляющее этой формулы зависит от определенных характеристик здания.

$$q_{\text{от}}^{\text{п}} = k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - \beta_{\text{КПИ}}(k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}), \quad (1)$$

где:

$k_{\text{об}}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Зависит от приведенного сопротивления теплопередаче, отапливаемого объема здания, теплозащитной оболочки здания и его компактности;

$k_{\text{вент}}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Зависит от времени работы вентиляции, а также от теплоемкости, плотности и количества воздуха;

$k_{\text{быт}}$ – удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Зависит от бытовых тепловыделений, расчетной площади, а также от температуры внутреннего и наружного воздуха;

$k_{\text{рад}}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Зависит от теплопоступлений через окна и фонари, средней высоты этажа здания, а также от суммы площадей этажей здания;

$\beta_{\text{КПИ}}$ – коэффициент полезного использования теплопоступлений. Зависит от эффективности регулирования подачи теплоты и воздухообмена здания.

Наиболее значимой составляющей этих коэффициентов является приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции. Данный параметр рассчитывается по формуле 2:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (2)$$

где:

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, шт./ м^2 ;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$;

a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент -го вида), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Наибольший интерес в этой формуле представляют первые два слагаемых знаменателя. Они характеризуют тепловые потери через плоские элементы тепловой оболочки здания, а также через линейные неоднородности ограждающей конструкции.

В ходе данного исследования был проведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче. В качестве исходных данных был принят фрагмент фасада панельного дома, рассмотренного выше. Фрагмент состоял из четырех панелей размером $3,0 \times 2,7 \text{ м}$, в каждой из которых было окно размером $1,5 \times 1,5 \text{ м}$.

В табл. 1 приведены вычисленные значения расчетных величин.

Таблица 1

Результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче

Величина	Обозначение	Значение
Термическое сопротивление окон	$R_{0,1}^{\text{ycl}}$	$0,980 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт}$
Термическое сопротивление ограждающей конструкции	$R_{0,2}^{\text{ycl}}$	$1,944 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт}$
Величина теплотеря через плоские фрагменты теплозащитной оболочки здания	$\sum a_i U_i$	$0,620 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Величина теплотеря через линейные неоднородности теплозащитной оболочки здания	$\sum l_j \psi_j$	$0,050 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Приведенное сопротивление теплопередаче	R_0^{tp}	$1,479 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт}$

Составлена авторами

Исходя из расчета, можно увидеть, что термическое сопротивление окон в два раза меньше аналогичного показателя для ограждающей конструкции, что свидетельствует о том, что окна являются причиной потери большого количества тепла. На сегодняшний день данный показатель для окон является очень низким, однако это не является дефектом, поскольку нормативной базой закреплено допустимое низкое сопротивление теплопередаче.

Анализ результатов показал, что на величину тепловых потерь площадь остекления влияет в большей степени, чем линейные теплопроводные включения. Компенсирует данный эффект лишь установка радиаторов под окнами или использование современных стеклопакетов с нанесением энергосберегающих покрытий.

В связи с эти актуальным становится вопрос о пересмотре и корректировке нормативной базы по тепловой защите, истоки которой уходят в середину XX века.

Энергосберегающие окна

Радиационные потери через оконное стекло составляют около 60 % от общих тепловых потерь в стандартном окне. Одно из экономически эффективных решений этой проблемы – применение покрытий с низким коэффициентом излучения (Low-E).

Используемая технология покрытия заключается в нанесении на поверхность обычного полированного стекла, многослойного композита из тонкого слоя цветных металлов и полупроводниковых оксидов металлов. Кроме того, в пространство между стеклами закачивают инертные газы Аргон (Ar) или Криптон (Kr) – имеющих большую плотность, чем у воздуха. Это свойство позволяет инертным газам выступать лучшим изолятором в стеклопакетах. Работа всей оконной системы заключается в блокировании значительного количества лучистой теплопередачи, тем самым уменьшая входящий тепловой поток через окно. Сравнительная характеристика энергосберегающих окон по сравнению с другими окнами представлена в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика окон [18]

Конструкция окна	Коэффициент теплопередачи (U), Вт/м ² ×К	Коэффициент теплового сопротивления (R), м ² ×К/Вт	Изменение R, %	Цена, %
Одно прозрачное стекло	5,4	0,19	100	100
Однокамерный стеклопакет с воздушным зазором 12 мм	2,8	0,36	189	160
Двухкамерный стеклопакет шириной 28 мм	1,1	0,91	479	210
Двухкамерный стеклопакет с шириной 52 мм, с нанесением низкоэмиссионного покрытия (Low-E) и заполнением аргоном	0,75	1,33	700	270

Составлена авторами

В среднем срок окупаемости подобных окон составляет 3–4 года за счет уменьшения затрат на отопление, а также охлаждения помещений в летний период. Срок службы данных окон составляет 20–25 лет. Таким образом, применение энергосберегающих окон способствует повышению класса энергоэффективности здания.

Анализ нормативной базы в области тепловой защиты

На сегодняшний день в европейских странах действует ряд документов, каждый из которых нормирует методики и расчеты показателей тепловой защиты ограждающих конструкций, такие как: методы расчета динамических термических характеристик, детальные расчеты тепловых мостов и потоков, расчеты теплопередачи окон и дверей и другие. Примеры этих документов представлены в таблице 3.

Анализ отечественной нормативной базы в области тепловой защиты показал, что подход к нормированию показателей в РФ и европейских странах отличается. По своей сути отечественные нормы – это эволюция одного документа, которая начинается еще с 60-х годов прошлого века. Сейчас действующими являются: один СНиП и два актуализированных СП на его основе, очень схожих друг с другом.

Таблица 3

Нормативная база по тепловой защите стран Евросоюза и России

Европейские нормативы [19]	Россия и СССР
- EN ISO 13786:2007 Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods - EN ISO 13789:2007 Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method - EN ISO 14683:2007 Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values - EN ISO 10211:2007 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations - EN ISO 10077 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance Part 1:2012 General part, Part 2:2007 Numerical methods	1. СНиП II-В.3 Строительная теплотехника 2.1 СНиП II-А.7-62* «Строительная теплотехника. Нормы проектирования» 2.2 СНиП II-В.6-62 «Ограждающие конструкции. Нормы проектирования» 3. СНиП II-А.7-71 Строительная теплотехника. Нормы проектирования 4. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника 5. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий 5.1 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий 5.2 СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий

Составлена авторами

В европейских странах сейчас заинтересованы в строительстве не только энергоэффективных зданий, но и домов нулевого энергопотребления, чего нельзя встретить в нашей стране. Это можно объяснить тем, что во многих передовых странах развитие энергоэффективности зданий с использованием возобновляемых источников энергии стало государственной программой особой важности [20].

Выводы

Из проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Нормативная база в области тепловой защиты зданий имеет заведомо заниженные показатели. На сегодняшний день существует необходимость пересмотра и корректировки нормативных показателей.
2. Было выявлено, что тепловой поток через узлы примыкания и опорные конструкции негативно влияет на энергоэффективность здания, значительно снижая класс энергетической эффективности здания.
3. Полученные результаты позволяют оценить дефекты тепловой оболочки здания. Они являются основанием для пересмотра конструктивного решения монтажных узлов.
4. Выполнение теплового расчета при проектировании зданий необходимо выполнять не только для прямолинейных участков стен, но и для узлов примыкания конструкций, линейных и точечных неоднородностей, а также для плоских элементов внешней ограждающей конструкции. Это позволит получить оптимальные показатели энергоэффективности.
5. При проектировании наружной тепловой оболочки необходимо всестороннее рассмотрение потенциальных дефектов, которые неизбежно возникнут во время эксплуатации здания. Необходимо избегать появления подобных недостатков, или максимально минимизировать последствия из возникновения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maltseva I., Elokhov A., Tkachuk K., Maltceva K. Design without thermal bridges // Matec Web Of Conferences 146. 2018. P. 1–6.
2. Mirel Florin Delia. Impact of Thermal Bridges in Low Energy Buildings – DOI: 10.1007/978-3-030-57418-5_5 // Environmental and Human Impact of Buildings. – 2021. P. 107–147. – URL: https://www.researchgate.net/publication/349557158_Impact_of_Thermal_Bridges_in_Low_Energy_Buildings (дата обращения: 04.03.2021).
3. Filonenko O., Yurin O., Olga Kodak O. Thermal Modernization of the Panel Buildings External Walls // International Journal of Engineering & Technology. 2018. P. 116–122.
4. Ignatova E. Search for Cold Bridges Based on the Building Information Model Collisions Analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 1–5.
5. W.P. Brown, A.G. Wilson. Thermal Bridges in Buildings // 2010. – URL: https://www.researchgate.net/publication/44049172_Thermal_Bridges_in_Buildings (дата обращения: 05.03.2021).
6. Шибаева Г.Н., Ибе Е.Е., Баев М.В., Редина Е.В. Анализ тепловой защиты зданий, построенных с применением вентилируемых фасадных систем // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №5 (10). – URL: <https://esj.today/PDF/46SAVN518.pdf>.
7. Халимов О.З., Шибаева Г.Н., Ибе Е.Е., Портнягин Д.Г. Совершенствование антисейсмических поясов бескаркасных зданий для повышения энергоэффективности // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №2 (10). – URL: <https://esj.today/PDF/92SAVN218.pdf>.
8. Kim H., Yeo M. Thermal Bridge Modeling and a Dynamic Analysis Method Using the Analogy of a Steady-State Thermal Bridge Analysis and System Identification Process for Building Energy Simulation: Methodology and Validation // Journal: Energies. 2020. P. 1–22.
9. Mavlyuberdinov A., Mukminov R. Research on problems of panel buildings // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. P. 1–6.
10. Alexander Zhivov, Ruediger Lohse Thermal Bridges / – DOI: 10.1007/978-3-030-30679-3_8 // Deep Energy Retrofit. – 2020. – pp. 63–76. – URL: https://www.researchgate.net/publication/342913787_Thermal_Bridges (дата обращения: 02.03.2021).
11. Gaši M., Milovanović B., Bagarić M. Numerical Model Of Point Thermal Bridges // The Tenth Internal Conference "Engineering Computational Technology 2018". 2018. P. 1–22.
12. Rastislav Ingeli. Detection of thermal bridges in the building Thermal Bridges // Design and realization of intelligent building. – 2018. – URL: https://www.researchgate.net/publication/329916338_Detection_of_thermal_bridges_in_the_building (дата обращения: 05.03.2021).
13. Moga L., Moga I. Evaluation of Thermal Bridges Using Online Simulation Software // E3S Web of Conferences 172. 2020. P. 1–8.

14. Plomets S., Kalamees T. Evaluation of the criticality of thermal bridges // Journal of Building Pathology and Rehabilitation. 2016. P. 2–14.
15. Stefano Piraccini. Designing the Thermal Bridges – DOI: 10.1007/978-3-319-69938-7_7 // Building a Passive House. – 2018. P. 163–201. – URL: https://www.researchgate.net/publication/321011658_Designing_the_Thermal_Bridges (дата обращения: 04.03.2021).
16. Preda A., Scurtu I. Thermal image building inspection for heat loss diagnosis // 5th International Scientific Conference SEA-CONF 2019. 2019. P. 1–6.
17. Egemen Kaymaz. Monitoring Thermal Bridges by Infrared Thermography – DOI: 10.1007/978-3-030-10856-4_11 // Advanced Studies in Energy Efficiency and Built Environment for Developing Countries. – 2019. P. 107–115. – URL: https://www.researchgate.net/publication/333302529_Monitoring_Thermal_Bridges_by_Infrared_Thermography (дата обращения: 05.03.2021).
18. Лобовко А.В. Энергосберегающие оконные системы: состояние, тенденции и перспективы // сб. статей XX Межд. науч.-практич. конф. 30 апреля 2018 г. Пенза: Изд-во Наука и Просвещение. – 2018. – №1. – стр. 278–285. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32881700&selid=32881970> (дата обращения: 06.03.2021).
19. Agis M.P. Forty years of regulations on the thermal performance of the building envelope in Europe: Achievements, perspectives and challenges // Energy and Buildings 127. – 2016. – P. 942–952. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816305400?via=ihub> (дата обращения: 06.03.2021).
20. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Симонов В.А. Тенденции развития норм по тепловой защите зданий в России // Вестник ИШ ДВФУ. – 2012. – №2 (11). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-norm-po-teplovoy-zaschite-zdaniy-v-rossii> (дата обращения: 05.03.2021).

Ibe Ekaterina Evgenievna

Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: Katerina.ibe@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=649187

Google Академия: <https://scholar.google.ru/citations?user=vN6KIQ4AAAAAJ&hl=ru>

Shibaeva Galina Nikolaevna

Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: shibaevagn@mail.ru

Gogol Dobroslav Dmitrievich

Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: boss.dobroslav@mail.ru

Khreshchuk Alexander Alexandrovich

Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: kreschuc@gmail.com

Nikitin Alexander Dmitrievich

Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: sasha010520@gmail.com

Analysis of the regulation of thermal protection of buildings from the perspective of heat engineering heterogeneities

Abstract. Panel buildings of mass series do not meet modern standards, they have defects and damage that directly affect the thermal protection of buildings. In this regard, it becomes necessary to study the issue of improving energy efficiency and thermal protection of buildings, as well as improving methods of its design.

In this study, panel residential buildings were assessed for heat loss. A visual inspection of the objects of study was carried out using thermal imaging in order to identify the characteristic places of occurrence of heat flows, as well as defects that affect thermal protection. Problems in the construction of such buildings have been identified.

The calculation of structural joints was carried out, the reasons for the formation of the heterogeneity temperature field in these joints were investigated, and, as a consequence, the appearance of a temperature flow through the cold bridges, leading to the occurrence of large heat losses. The ElCut software package was used to calculate the temperature fields during the study.

In the course of the study, an analysis of the components that characterize the energy efficiency of the building was carried out. The calculation of such the most important component as the reduced thermal resistance of the enclosing structure was made by calculating heat losses through the flat elements of the facade, as well as linear heterogeneities. It was found that the glazing area affects the amount of heat loss to a greater extent than linear heat-conducting inclusions. The study revealed the imperfection of the regulatory framework for the design of thermal protection, and raised the issue of revising and adjusting the standard indicators and methods for calculating the enclosing structures.

Keywords: heat losses; thermal bridges; temperature field; enclosing structures; panel buildings; energy efficiency; regulatory framework