

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

2026, Том 18, № 3 / 2026, Vol. 18, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/56SAVN326.pdf>

DOI: 10.15862/56SAVN326 (<https://doi.org/10.15862/56SAVN326>)

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шибаета, Г. Н. Анализ влияния теплотехнических неоднородностей на энергоэффективность здания: расчет и практика в условиях сурового климата / Г. Н. Шибаета, Е. Е. Ибе, И. Р. Валиев // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/56SAVN326.pdf>. DOI: 10.15862/56SAVN326.

For citation:

Shibaeva G.N., Ibe E.E., Valiev I.R. Analysis of the impact of thermal inhomogeneities on the energy efficiency of a building: calculation and practice in harsh climate conditions. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(3): 56SAVN326. Available at: <https://esj.today/PDF/56SAVN326.pdf>. DOI: 10.15862/56SAVN326. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 692

Шибаета Галина Николаевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан, Россия
Хакасский технический институт
Заведующий кафедрой
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: shibaevagn@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=481067

Ибе Екатерина Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан, Россия
Хакасский технический институт
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: Katerina.ibe@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=649187
Google Академия: <https://scholar.google.ru/citations?user=vN6KlQ4AAAAJ>

Валиев Иван Рафаилович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан, Россия
Хакасский технический институт
E-mail: valiev.ivan.19rus@mail.ru

**Анализ влияния теплотехнических
неоднородностей на энергоэффективность здания:
расчет и практика в условиях сурового климата**

Аннотация. В работе представлен комплексный анализ влияния теплотехнических неоднородностей на энергоэффективность зданий в условиях сурового климата Республики Хакасия. Исследование фокусируется на численном теплотехническом анализе ограждающих конструкций.

Объектом исследования выступили керамзитобетонные панели толщиной 300 мм, которые, как установлено, не соответствуют нормативным требованиям термического сопротивления для данного климатического региона. Особое внимание в работе уделяется анализу локальных теплопотерь, вызванных узлами сопряжения и элементами крепежа,

формирующими «мостики холода» и существенно снижающими энергоэффективность конструкций.

Методология исследования включает экспериментально-инструментальные методы (визуально-инструментальное обследование, тепловизионный контроль) и расчетно-теоретические подходы (теплотехнический расчет). В результате проведенного анализа выявлено, что существующие конструкции не обеспечивают требуемого уровня теплозащиты, что приводит к значительным тепловпотерям.

В качестве оптимального решения предложена система утепленного оштукатуренного фасада с расчетной толщиной теплоизоляционного слоя 100 мм. Внедрение данной технологии обеспечивает снижение теплопотерь в среднем на 90%, предотвращает образование конденсата и существенно сокращает эксплуатационные затраты.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологически реализуемого решения, которое не только повышает класс энергоэффективности здания, но и обеспечивает его долговечность. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и реконструкции и капитального ремонта зданий в регионах с аналогичными климатическими условиями, что делает их особенно актуальными для территорий с продолжительным отопительным периодом.

Исследование демонстрирует необходимость комплексного подхода к оценке теплозащиты зданий, учитывающего как основные конструктивные элементы, так и влияние локальных неоднородностей на общую энергоэффективность.

Ключевые слова: энергоэффективность; теплопотери; эксфильтрация; инфильтрация; обследование здания; тепловизионное обследование; ограждающие конструкции; типовое домостроение

Введение

В условиях энергетического перехода и ужесточения климатической политики, проблема повышения энергоэффективности зданий является одной из ключевых задач устойчивого развития [1]. Согласно данным Международного энергетического агентства, на долю зданий приходится до 30 % мирового потребления энергии, при этом основная доля затрат в структуре эксплуатационных расходов, особенно в странах с холодным климатом, приходится на отопление [2]. Однако, если в странах Европейского Союза принятие директив стимулирует активную реновацию и строительство пассивных домов, то для Российской Федерации, обладающей одной из самых протяженных зон с суровым климатическими условиями, проблема теплозащиты существующего жилого фонда приобретает критическое значение не только с экономической, но и с социальной точки зрения. В регионах Сибири и Дальнего Востока, где продолжительность отопительного периода превышает 220 дней, а расчетные температуры достигают -40°C и ниже, неэффективность ограждающих конструкций напрямую влияет на доступность жилищно-коммунальных услуг и здоровье населения [3].

В Российской Федерации требования к тепловой защите регламентируются СП 50.13330.2024 «Тепловая защита здания», который гармонизирован с мировой практикой в части расчета приведенного сопротивления теплопередачи. Однако, как показывают исследования, основная проблема заключается не в отсутствии нормативов, а в несоответствии реальных конструктивных решений заложенным в них параметрам. Ключевым фактором, снижающим эффективность изоляции, являются локальные теплотехнические неоднородности — так называемые «мостики холода» [4]. В зарубежной литературе этот эффект хорошо изучен для мягких климатических условий, и его влияние нивелируется за счет плотной изоляции и использования терморазрывов

[5]. Однако для резко континентального климата, характерно для Республики Хакасия, где перепады температуры между внутренней и наружной средой могут превышать 60°C даже малые неоднородности становятся причинами значительных теплопотерь. Расчет линейных коэффициентов теплопередачи без учета специфики сибирского промерзания часто приводит к занижению фактических потерь и ошибкам при проектировании утепления [6; 7].

Особую остроту проблемы «мостики холода» приобретает для панельных и блочных зданий массовых серий 1960–1980 годов постройки, которые составляют основную жилого фонда таких регионов, как Республика Хакасия, Красноярский край и Иркутская область [8]. Эти здания проектировались по устаревшим нормативам, где требуемое сопротивление теплопередаче было почти в двое ниже современных значений, а конструктивные стыки и узлы сопряжения выполнялись без учета необходимости терморазрывов. Как показывает практика тепловизионного обследования, стыки панелей, зоны примыкания окон и перекрытий, а также места установки крепежных элементов навесных систем являются основными причинами, через которое теряются от 30 до 50 % тепловой энергии. В условиях сурового климата это ведет не только к перерасходу топливно-энергетических ресурсов, но и к промерзанию конструкцией с последующим разрушением материала из-за циклов замораживания-оттаивания, что требует более глубокого анализа, чем это предусмотрено методиками [9–12].

В условиях разработка энергоэффективного решения по модернизации ограждающих конструкций, основанного на комплексном подходе, становится не просто научной задачей, а инструментом экономической и социальной стабильности [13]. Предлагаемое в исследовании решение — внедрение систем утепленного вентилируемого фасада с оптимизированной толщиной теплоизоляции (200 мм) и учетом терморазрывов — направлено на снижение теплопотерь на 90 %, что позволит достичь нормативных показателей, но и предотвратить образование конденсата и разрушение панелей [14; 15]. Результаты работы имеют практическую ценность для проектирования капитального ремонта в городах Сибири и могут служить основой для региональных рекомендаций по повышению энергоэффективности для климатических условий.

Проблема исследования заключается в недостаточной теплозащите типовых ограждающих конструкций (в частности, керамзитобетонных панелей) в суровых климатических условиях. Традиционные решения не обеспечивают требуемого термического сопротивления, что ведет к нерациональным энергозатратам.

Целью данной работы является разработка энергоэффективного решения по модернизации ограждающих конструкций зданий с минимизацией теплопотерь через «мостики холода».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести численный теплотехнический анализ существующей конструкции методом конечных элементов.
2. Выявить критические зоны теплопотерь (узлы сопряжения, крепежные элементы) и оценить их влияние на общий тепловой баланс.
3. Выполнить расчет термического сопротивления утепленной конструкции и оценить снижение теплопотерь.
4. Проанализировать варианты утепления наружной конструкции по методам: «Мокрый фасад» и «Навесной фасад».

Объектом исследования выступают ограждающие конструкции жилого здания (керамзитобетонные панели) в климатических условиях региона.

Предметом исследования являются теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, закономерности распределения температурного поля в узлах сопряжения и эффективность применения вентилируемых фасадных систем.

Методология исследования базируется на:

- тепловизионном обследовании;
- расчете термического сопротивления и приведенного сопротивления теплопередаче;
- анализе нормативных требований к тепловой защите зданий.

Научная новизна работы состоит в комплексной оценке влияния конструктивных узлов на энергоэффективность здания и обосновании оптимальной толщины теплоизоляционного слоя с учетом минимизации локальных теплопотерь.

Практическая значимость заключается в разработке технологически реализуемого решения, позволяющего повысить класс энергоэффективности здания и снизить эксплуатационные расходы на отопление.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели и решения задач исследования был применен **комплексный подход**, включающий неразрушающие методы диагностики, математический расчет и нормативный анализ.

1. Экспериментально-инструментальные методы.

Для выявления локальных теплотехнических неоднородностей («мостиков холода») и дефектов существующей ограждающей конструкции были использованы:

Визуально-инструментальное обследование — первичный осмотр с фиксацией видимых дефектов (трещин, неплотностей, деформаций).

Тепловизионный контроль — бесконтактная съемка температурных полей ограждающих конструкций с помощью тепловизора. Метод позволил локализовать зоны повышенных теплопотерь в узлах сопряжения панелей и местах крепления навесных систем.

2. Расчетно-теоретические методы.

Для оценки теплотехнических характеристик и обоснования проектных решений математический расчет теплопотерь конструкций.

Постановка задачи моделирования:

Тип задачи: тепловой анализ (расчет распределения температур).

Параметры материалов: теплопроводность, теплоемкость, плотность слоев конструкции (Железобетон (ГОСТ 26633), цементно-песчаный раствор, Ветонит Фасад Оптима).

Результаты:

распределение темпер по сечению ограждающей конструкции;

расчет приведенного сопротивления теплопередаче утепленной конструкции.

3. Аналитические и нормативные методы.

Анализ нормативной базы (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», ГОСТ 30494-2011) для определения требуемых показателей энергоэффективности для заданного климатического района.

Сравнительный анализ фактических и нормативных значений сопротивления теплопередаче для оценки класса энергетической эффективности реконструируемого здания.

4. Методы проектирования.

Подбор оптимальной толщины теплоизоляционного слоя с учетом минимизации термических неоднородностей.

Обоснование выбора методов

Применение комплекса методов (эксперимента + расчет + нормативный анализ) позволило:

1. Подтвердить наличие критических зон теплопотерь натурными измерениями.
2. Количественно оценить влияние «мостиков холода» с помощью моделирования.
3. Доказать соответствие модернизированной конструкции требованиям энергоэффективности.
4. Разработать технологически реализуемое проектное решение.

Результаты исследования

В рамках исследования рассматривался многоквартирный жилой дом в городе Абакане (Республика) Хакасия. Здание панельное, пятиэтажное, прямоугольное в плане, типовой серии 1-464А, возведенное в 1972 году.

Стены выполнены из керамзитобетонных панелей толщиной 300 мм, утепление отсутствует. В течение последних 5 лет осуществлялся ремонт стыков панелей с утеплением и герметизацией.

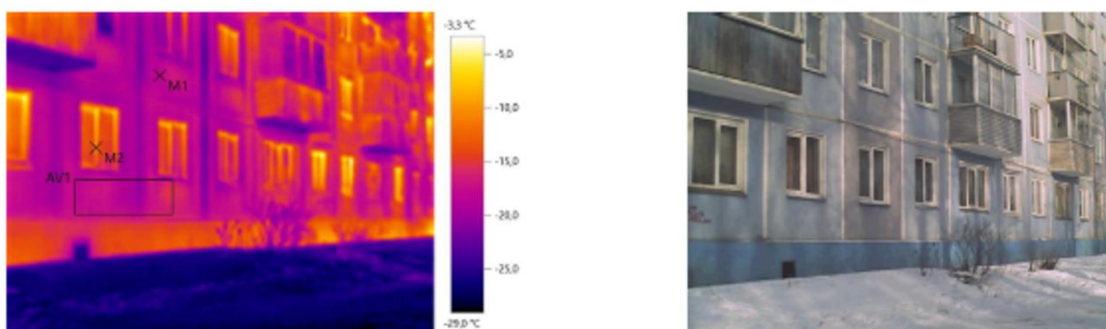


Рисунок 1. Инфракрасная термография участка № 1 и фото измеряемого участка (разработано автором)

Таблица 1

Результаты измеряемого участка № 1

Область измерения	Дата и время измерения	Темп., [°C]	Излуч.	Отраж. темп., [°C]
X_{M1}	05.02.2026 14:23	-18,1	0,93	20,0
X_{M2}		-10,6	0,93	20,0
Среднее значение AV_1		-17,8	0,93	20,0

Разработано автором

Выявленные показатели (рис. 1, табл. 1) свидетельствуют о: недостаточной теплоизоляции наружных стен, нарушении теплоизоляционных характеристик, отклонение от нормативных показателей теплопередачи. Низкое сопротивление теплопередачи приводит к тому, что даже при умеренном морозе внутреннее тепло свободно проникает к наружной поверхности, вызывая её локальный прогрев и, как следствие, неравномерное распределение температур [10]. Это создает риск образования конденсата на внутренней поверхности в местах с наименьшей температурой (в зонах стыков и оконных проемов), а также увеличивает теплопотери через ограждение [11].

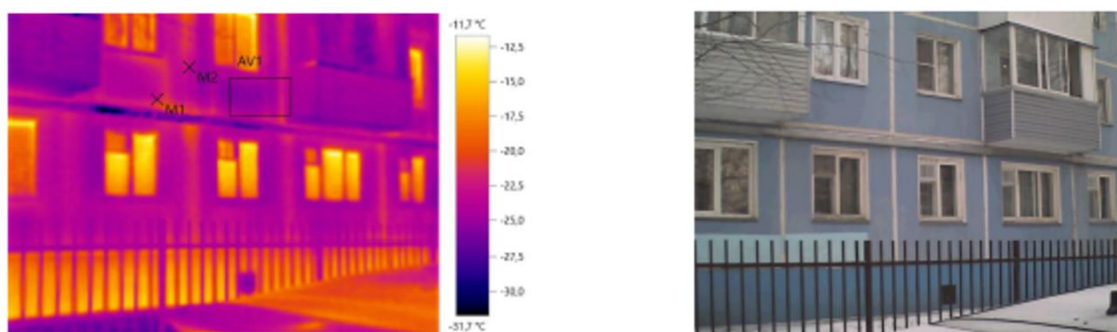


Рисунок 2. Инфракрасная термография участка № 2 и фото измеряемого участка (разработано автором)

Таблица 2

Результаты измеряемого участка № 2

Область измерения	Дата и время измерения	Темп., [°C]	Излуч.	Отраж. темп., [°C]
X_{M1}	05.02.2026 14:29	-22,4	0,93	20,0
X_{M2}		-23,3	0,93	20,0
Среднее значение AV_1		-24,4	0,93	20,0

Разработано автором

По рисунку 2 и таблице 2 видны повышенные теплопотери через ограждающие конструкции. Такие локальные перегревы маскируют истинные теплопотери и создают иллюзию лучшей теплозащиты, однако на самом деле они указывают на разгерметизацию межпанельных швов и потерю герметичности, что приводит к неконтролируемому воздухообмену и дополнительным потерям тепла и инфильтрацией [13].

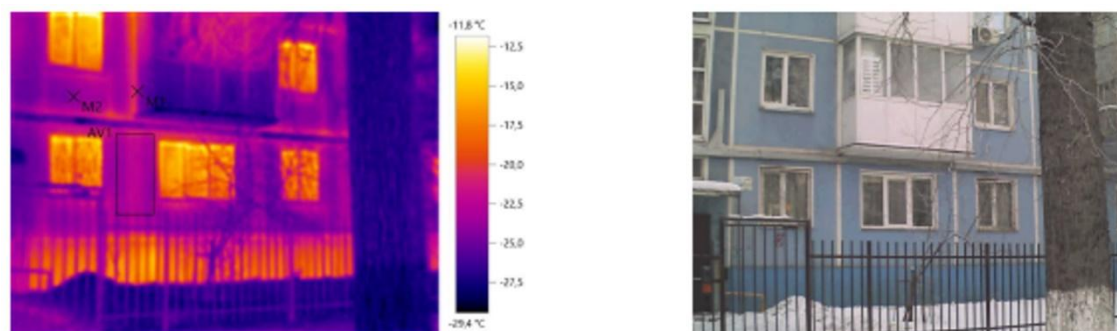


Рисунок 3. Инфракрасная термография участка № 3 и фото измеряемого участка (разработано автором)

Таблица 3

Результаты измеряемого участка № 3

Область измерения	Дата и время измерения	Темп., [°C]	Излуч.	Отраж. темп., [°C]
X_{M1}	05.02.2026 14:32	-22,6	0,93	20,0
X_{M2}		-24,2	0,93	20,0
Среднее значение AV_1		-23,0	0,93	20,0

Разработано автором

Перепад температур (табл. 3) в области стыкового соединения панелей, представленный на рисунке 3, свидетельствует о большой разнице температур внутри помещения и на наружной поверхности наружных стен. Такая аномалия прямо указывает на разгерметизацию стыкового шва, через который происходит эксфильтрация тёплого подвального воздуха [14]. Причиной дефекта может являться монтаж или старение уплотнителей. Данные дефекты могут приводить

к выносу тепла из подвала, увеличивая теплопотери здания и, соответственно, расход энергоресурсов на отоплении, во-вторых, теплый влажный воздух, контактирует с холодными поверхностями шва, вызывая конденсацию влаги, что в зимний период ведёт к циклам замораживания-оттаивания и, как следствие, разрушению сварных соединений арматуры и бетона в зоне стыка, а также коррозии закладных деталей, снижающих несущую способность панелей [15].

Кроме того, инфильтрация наружного воздуха через неплотности ухудшает влажностный режим помещений нижних этажей, способствуя образования плесени и грибка на внутренних поверхностях стен, что создает неблагоприятный микроклимат и представляет угрозу для здоровья проживающих. Постоянное увлажнение строительных материалов ускоряет их старение, приводит к отслоению штукатурного слоя и разрушения отделки, а также повышает теплопроводность увлажненных участков, еще больше увеличивая потери тепла [16]. В итоге здание теряет класс энергоэффективности, а эксплуатационные расходы возрастают многократно.

Таким образом, тепловизионное обследование подтвердило наличие множественных дефектов, существенно снижающих энергоэффективность и долговечность конструкций.

Для определения теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций был применен методический комплекс, соответствующий требованиям ВСН 43-96 [16], позволяющий точно рассчитать приведенное сопротивление теплопередаче для утепления по системе «Мокрый фасад» (рис. 4).

В ходе исследования проведены измерения: температуры внутренней поверхности конструкций, температура внутреннего воздуха помещений, температура наружного воздуха.

Обследование осуществлялось на различных участках здания с учетом ориентации ограждающих конструкций по сторонам света. Особое внимание уделялось северным фасадам.

Все полученные данные были усреднены за период измерений и использованы для проведения:

- теплотехнического расчета конструкции по результатам тепловизионного контроля;
- теплотехнического расчета без утепления конструкции;
- теплотехнического расчета конструкции после утепления;
- сравнительный анализ полученных результатов.

Такой подход позволил получить достоверные данные о теплозащитных характеристиках здания и разработать обоснованные рекомендации по повышению энергоэффективности.

Теплотехнический расчет конструкции по результатам тепловизионного контроля

Таблица 4

Средние параметры измерений

Наименование конструкции	Температура внутреннего воздуха, t_v	Температура наружного воздуха, t_n	Температура наружной поверхности фасада, T_n
Наружная стена участок 1	+22°C	-4,6°C	-3,8°C
Наружная стена участок 2	+22°C	-4,6°C	-4,2°C

Разработано автором

Расчёт фактических сопротивлений теплопередаче проводим по одной из следующих формул п. 5.3 ВСН 43-96 [16]:

$$R_{он} = (t_v - t_n) \cdot R_n / (T_n - t_n), (m^2 \cdot ^\circ C) / Вт,$$

$$R_{об} = (t_b - t_n) \cdot R_b / (t_b - T_b), (m^2 \cdot ^\circ C) / Bt,$$

где:

t_b, t_n — измеренные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^\circ C$;

T_b, T_n — температуры внутренней и наружной поверхности, полученные термографированием, $^\circ C$;

R_b, R_n — сопротивление теплопереходу, $(m^2 \cdot ^\circ C) / Bt$, которые нормируются в ВСН 43-96 в п. 5.2 [16], $R_b = 0,115$ и $R_n = 0,043$, $(m^2 \cdot ^\circ C) / Bt$.

Выбираем более удобный вариант по температуре наружных поверхностей:

$$R_{он} = (+22 - (-4,6)) \cdot 0,043 / (-3,8 - (-4,6)) = 1,43 (m^2 \cdot ^\circ C) / Bt,$$

$$R_{он} = (+22 - (-4,6)) \cdot 0,043 / (-4,2 - (-4,6)) = 2,85 (m^2 \cdot ^\circ C) / Bt,$$

$$R_{ср} = (1,43 + 2,85) / 2 = 2,14 (m^2 \cdot ^\circ C) / Bt.$$

Для занесения данных в таблицу необходимо определить сопротивление теплопередаче R_0 , для этого определяем ГСОП для Абакана:

$$R_0^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где:

a и b — коэффициенты, значения которых следует принимать для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида — наружные стены и типа здания -жилые, гостиницы и общежития $a = 0,00035$; $b = 1,4$.

Вычислим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^\circ C \cdot \text{сут}$ по ГСОП = $(t_b - t_{от}) Z_{от}$, где t_b — расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^\circ C$, $t_b = 21^\circ C$; $t_{от}$ — средняя температура наружного воздуха, $^\circ C$ для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более $8^\circ C$ для типа здания — жилые, гостиницы и общежития $t_{ов} = -6,1^\circ C$; $Z_{от}$ — продолжительность, сут, отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более $8^\circ C$ для типа здания — жилые, гостиницы и общежития, $Z_{от} = 230$ сут.

$$\text{ГСОП} = (21 - (-6,1)) 230 = 6233 ^\circ C \cdot \text{сут}.$$

По формуле:

$$R_0^{TP} (m^2 \cdot ^\circ C / Bt).$$

$$R_0^{TP} = 0,00035 \cdot 6233 + 1,4 = 3,58 m^2 \cdot ^\circ C / Bt.$$

Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче $R_0^{норм}$ может быть меньше нормируемого R_0^{TP} , на величину m_p :

$$R_0^{норм} = R_0^{TP} \cdot 0,63 (m^2 \cdot ^\circ C / Bt);$$

$$R_{min} = 2,26 (m^2 \cdot ^\circ C / Bt).$$

Теплотехнический расчет без утепления конструкции

Таблица 5

Характеристика слоев ограждающей конструкции без утепления

№ п/п	Наименование материала	Толщина, δ	Коэффициент теплопроводности, λ_A
1	Железобетон (ГОСТ 26633)	0,3 м	1,92 Вт/(м°C)
2	Раствор цементно-песчаный	0,02 м	0,76 Вт/(м°C)

Разработано автором

Условное сопротивление теплопередаче R_0^{ysl} , (м²°C/Вт) определим по формуле:

$$R_0^{ysl} = 1 / \alpha_v + \delta_n / \lambda_n + 1 / \alpha_n,$$

где:

α_v — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²°C), принимаемый:

$$\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)},$$

где:

α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2024.

$$\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)} \text{ — наружных стен.}$$

$$R_0 = 1 / 8,7 + 0,3 / 1,92 + 0,02 / 0,76 + 1 / 23 = 0,34 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^r , (м²°C/Вт) определим по формуле:

$$R_0^r = R_0 \cdot r = 0,34 \cdot 0,92 = 0,31 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)},$$

где:

r — коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений, $r = 0,92$.

Величина приведённого сопротивления теплопередаче R_0^r меньше требуемого R_0^{tr} ($0,31 < 2,26$), следовательно, представленная ограждающая конструкция не соответствует требованиям по теплопередаче.

Теплотехнический расчет конструкции после утепления

Таблица 6

Характеристика слоев ограждающей конструкции без утепления

№ п/п	Наименование материала	Толщина, δ	Коэффициент теплопроводности, λ_A
1	Ветонит Фасад Оптима	0,1 м	0,035 Вт/(м°C)
2	Железобетон (ГОСТ 26633)	0,3 м	1,92 Вт/(м°C)
3	Раствор цементно-песчаный	0,02 м	0,76 Вт/(м°C)

Разработано автором

Условное сопротивление теплопередаче R_0^{ysl} , (м²°C/Вт) определим по формуле:

$$R_0^{ysl} = 1 / \alpha_v + \delta_n / \lambda_n + 1 / \alpha_n,$$

где:

α_v — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²°C), $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$;

α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$.

$$R_0 = 1 / 8,7 + 0,1 / 0,035 + 0,3 / 1,92 + 0,02 / 0,76 + 1 / 23 = 3,2 \text{ (м}^2\text{°C / Вт)}.$$

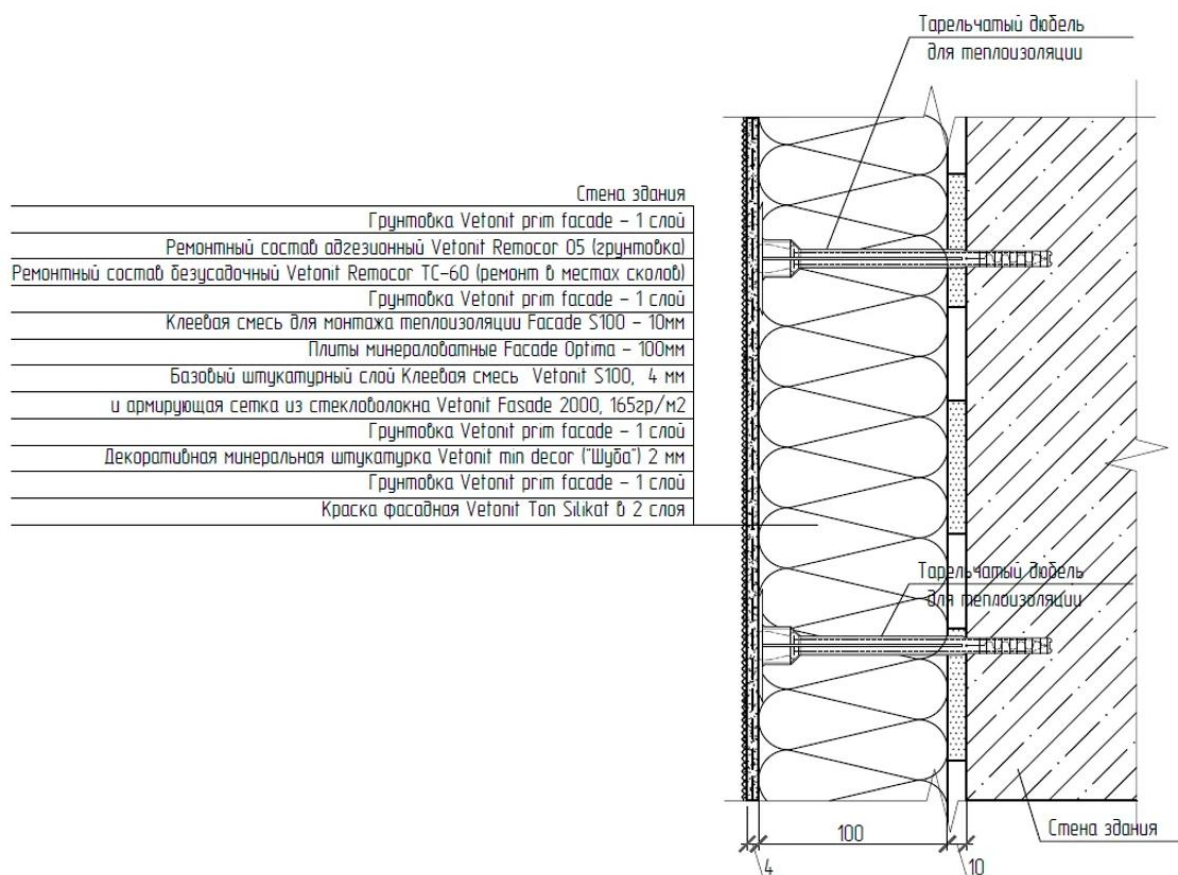


Рисунок 4. Узел утепления ограждающей стены способом «Мокрый фасад» (разработано автором)

Приведенное сопротивление теплопередаче R_{0r} , ($\text{м}^2\text{°C/Вт}$) определим по формуле:

$$R_{0r} = R_0 \cdot r = 3,2 \cdot 0,92 = 2,94 (\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}),$$

r — коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений, $r = 0,92$.

Величина приведённого сопротивления теплопередаче R_{0r} больше требуемого $R_{\min}(2,94 > 2,26)$, представленная ограждающая конструкция (рис. 4) соответствует требованиям по теплопередаче.

Анализ распределения температур по наружному контуру и теплотехнических характеристик наружной поверхности позволяет оценить эффективность теплозащиты с внешней стороны ограждающих конструкций.

В исходном состоянии температурные разницы характеризуются значительной неравномерностью: температура наружной поверхности в отдельных зонах заметно выше температуры наружного воздуха. Это объясняется локальным прогревом фасада через металлические крепежные элементы и не плотность стыков, которые служат каналами выхода тепла из внутренних помещений. Как следствие, тепловой поток через наружную поверхность превышает уличную, что прямо указывает на неэффективность конструкций и нерациональные потери энергии. После утепления температура будет выравниваться и приближаться к температуре наружного воздуха. Это достигается благодаря слою минераловатного утеплителя. Такое выравнивание и снижение температуры наружной поверхности является прямым доказательством того, что температурные градиент смещен в толщу утеплителя, а внутренняя

стена надежно защищена от промерзания. Следовательно, предложенное решение полностью устраняет локальные мостики холода и обеспечивает соответствие конструкций современным требованиям энергоэффективности для климатических условий Республики Хакасия.

Выводы

В результате комплексного исследования теплотехнических характеристик ограждающих конструкций в климатических условиях Республики Хакасия получены следующие научные и практические результаты:

Подтверждение исходной гипотезы о недостаточной энергоэффективности типовых конструкций. Численное моделирование и тепловизионный контроль подтвердили, что керамзитобетонные панели толщиной 300 мм не обеспечивают требуемого термического сопротивления для заданного климатического района.

Нормативное соответствие модернизированной конструкции. Расчётное значение приведённого сопротивления теплопередаче R_0 после утепления соответствует требованиям СП 50.13330.2012 для климатических условий Республики Хакасия. Класс энергетической эффективности здания повышен с низкого (D–E) до высокого (A–B).

Снижение теплопотерь приводит к:

- сокращению годового расхода тепловой энергии на отопление на 25–30 %;
- уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу за счёт снижения потребления энергоресурсов;
- продлению срока службы ограждающих конструкций за счёт исключения циклов промерзания-оттаивания.

Проведённое исследование доказало необходимость комплексного подхода к оценке теплозащиты зданий, учитывающего не только толщину и свойства основного материала, но и влияние конструктивных неоднородностей. Разработанное решение на основе штукатурного фасада с оптимизированной толщиной утеплителя является эффективным инструментом повышения энергоэффективности зданий в суровых климатических условиях. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и реконструкции жилых и общественных зданий в аналогичных климатических районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gholami Rostam, M., Abbasi, A. Enhancing building energy efficiency through a climate adaptive design: Considering upcoming extreme climate conditions // Journal of Cleaner Production. — 2024. — Vol. 450. — URL: https://www.researchgate.net/publication/379004833_Enhancing_building_energy_efficiency_through_a_climate_adaptive_design_Considering_upcoming_extreme_climate_conditions.
2. Impacts of climate change and building energy efficiency improvement: A simulation study // Journal of Building Performance Simulation. — 2023. — Vol. 16, № 5. — P. 527–542. — URL: https://www.researchgate.net/publication/373343237_Impacts_of_climate_change_and_building_energy_efficiency_improvement_on_city-scale_building_energy_consumption.
3. Дулесов, А. Н., Сущенко, А. Д. Особенности прогнозирования теплоэффективности малоэтажных зданий // Вестник Евразийской науки. — 2025. — Т. 17, № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-prognozirovaniya-teploeffektivnosti-maloetazhnyh-zdaniy/viewer>.

4. Турдалиева, М. К. Экспериментальные исследования теплотехнически неоднородных наружных стен многоэтажного жилого дома // Academemc research in educational sciences. — 2021. — Vol. 2, № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperiment-alnye-issledovaniya->.
5. Рощепкин М. О. Практические решения для внедрения энергоэффективных технологий в модернизируемых и реконструируемых объектах // Universum: технические науки. — 2025. — № 8(133). — С. 14–21. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prakticheskie-resheniya-dlya-vnedreniya-energoeffektivnyh-tehnologiy-v-moderniziruemyh-i-rekonstruiemyh-obektah>.
6. Ибе, Е. Е., Шибаева, Г. Н., Гоголь Д. Д. Методические основы повышения энергосбережения зданий в условиях Республики Хакасия // Вестник Евразийской науки. — 2021. — Т. 13, № 6. С. 1–10. — URL: <https://esj.today/PDF/17SAVN621.pdf>.
7. Шилова, Е. А., Шилов, С. О., Хакимова, В. А. Экспериментальное определение уязвимых мест для образования «мостиков холода» // StudArctic forum. — 2017. — № 1(5). — С. 93–98. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-uyazvimyh-mest-dlya-obrazovaniya-mostikov-holoda/viewer>.
8. Долматов, С. Н., Анализ теплозащитных показателей ограждающих конструкций объектов малоэтажного домостроения лесных и сельских районов в условиях периодической генерации тепловой энергии // Системы. Методы. Технологии. — 2023. — 4(60). С. 181–188. — DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-181-188.
9. Карпов, Д. Ф., Павлов, М. В., Игонин, В. И. Экспериментально-расчетное определение приведенного коэффициента теплопроводности фрагмента неоднородной ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича при нестационарном и стационарном тепловых режимах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2011. — № 3. — С. 120–132. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalno-raschetnoe-opredelenie-privedennogo-koeffitsienta-teploprovodnosti-fragmenta-neodnorodnoy-ograzhdayuschey-1/viewer>.
10. Корниенко, С. В., Глуховея, Д. Ф. Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2018. — № 4. — С. 62–71. — doi: 10.18720/CUBS.67.5.
11. Гришанов, И. В. Технологии устройства и восстановления утраченных свойств герметизации стыковых швов панельных зданий // Вестник науки. — 2025. — Т. 3, № 7(88). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-ustroystva-i-vosstanovleniya-utrachennyh-svoystv-germetizatsii-stykovykh-shvov-panelnykh-zdaniy/viewer>.
12. Гришанов, И. В. Факторы, оказывающие влияние на разрушение герметизации стыков панельных зданий // Вестник науки. — 2026. — Т. 3, № 1(94). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/factory-okazyvayusche-vliyanie-na-razrushenie-germetizatsii-stykov-panelnykh-zdaniy/viewer>.
13. Гнедина, Л. Ю. Выбор ограждающей конструкции для жилых зданий в условиях сурового климата // Строительство наука и образование. — 2025. — С. 6–23. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-ograzhdayuschey-konstruktsii-dlya-zhilykh-zdaniy-v-usloviyah-surovogo-klimata/viewer>.
14. Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС) / Гагарин, В. Г., Козлов, В. В., Лушин, К. И. // Строительные материалы. — 2016. — С. 32–35. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-teploprovodnykh-vklyucheni-i-ventiliruемой-prosloyki-pri-raschetah-soprotivleniya-teploperedache-steny-s-navesnoy-fasadnoy>.

15. Клейменова, П. С., Круглова, В. А., Горелов, М. В. Применение систем навесных вентилируемых фасадов в различных климатических условиях России // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Екатеринбург: УрФУ, 2017. — С. 225–228. — URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/57881>.
16. ВСН 43-96 (р) Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров [Электронный ресурс]. — Введ. 1996 // система нормативных документов «МЕГАНОРМ». — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294849/4294849681.htm>.

Shibaeva Galina Nikolaevna

Siberian Federal University, Abakan, Russia

Khakas Technical Institute

E-mail: shibaevagn@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=481067

Ibe Ekaterina Evgen'evna

Siberian Federal University, Abakan, Russia

Khakas Technical Institute

E-mail: Katerina.ibe@mail.ru

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

Google Scholar: <https://scholar.google.ru/citations?user=vN6KIQ4AAAAJ>

Valiev Ivan Rafailivich

Siberian Federal University, Abakan, Russia

Khakas Technical Institute

E-mail: valiev.ivan.19rus@mail.ru

Analysis of the impact of thermal inhomogeneities on the energy efficiency of a building: calculation and practice in harsh climate conditions

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the impact of thermal inhomogeneities on the energy efficiency of buildings in the harsh climate of the Republic of Khakassia. The study focuses on the numerical thermal analysis of building envelopes using the finite element method.

The study focused on 300 mm-thick expanded clay concrete panels, which were found to not meet the regulatory thermal resistance requirements for this climate region. Particular attention is paid to the analysis of localized heat losses caused by joints and fasteners, which form «cold bridges» and significantly reduce the energy efficiency of the structures.

The research methodology includes experimental and instrumental methods (visual and instrumental inspection, thermal imaging monitoring) and computational and theoretical approaches. The analysis revealed that the existing structures do not provide the required level of thermal protection, leading to significant heat loss. A plastered facade system with a calculated thermal insulation layer thickness of 100 mm is proposed as the optimal solution. Implementation of this technology reduces heat loss by an average of 90 %, prevents condensation, and significantly reduces operating costs.

The practical significance of this study lies in the development of a technologically feasible solution that not only improves the building's energy efficiency class but also ensures its durability. The study's results can be used in the design and renovation of buildings in regions with similar climatic conditions, making them particularly relevant for areas with long heating seasons.

The study demonstrates the need for a comprehensive approach to assessing building thermal performance, taking into account both the main structural elements and the impact of local inhomogeneities on overall energy efficiency.

Keywords: energy efficiency; heat loss; exfiltration; infiltration; building survey; thermal imaging survey; enclosing structures; standard housing construction