

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING (HVAC), LIGHTING SYSTEMS AND GAS NETWORKS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 3. С. 193–207.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (3): 193–207.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-193-207

EDN: UCYDVK

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ УЗЛОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ШКОЛ (НА ПРИМЕРЕ ШКОЛЫ НА 1000 МЕСТ В С. БЕЛЫЙ ЯР АЛТАЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)

Денис Геннадьевич Портнягин, Роман Олегович Иванов

Хакасский технический институт –

филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы повышения теплозащиты цокольного и карнизного теплонапряженных узлов ограждающих конструкций здания школы на 1000 мест в с. Белый Яр Алтайского района Республики Хакасия.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения энергоэффективности зданий и сооружений, а также создания комфортных условий в помещениях.

Цель работы заключается в анализе теплозащиты узлов ограждающих конструкций указанного здания.

Методы. В работе использован комплексный подход, включающий математическое моделирование процессов теплопередачи методом конечных элементов (МКЭ) и аналитический метод.

Результаты. В ходе исследования определены теплотехнические характеристики узлов и построены графики распределения температуры поверхности по контурам узлов.

Выводы. Полученные результаты показали, что дополнительное утепление потолка и утепление пола практически не сокращает теплопотери в окружающую среду. Однако выполнение данных работ позволяет значительно снизить теплопотери в направлении

«помещение – чердак» и в направлении «помещение – подвал», что способствует повышению энергоэффективности здания.

Ключевые слова: ограждающая конструкция, метод конечных элементов, расчет теплопереноса, нестационарный режим, теплопроводность, потери тепла, математическая модель, плотность

Для цитирования: Портнягин Д.Г., Иванов Р.О. Исследование теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий школ (на примере школы на 1000 мест в с. Белый Яр Алтайского района Республики Хакасия) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 3. С. 193–207. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-193-207. EDN: UCYDVK

ORIGINAL ARTICLE

THERMAL PROTECTION OF BUILDING ENCLOSURE (BELY YAR SCHOOL FOR 1000 PLACES, REPUBLIC OF KHAKASSIA)

Denis G. Portnyagin, Roman O. Ivanov

Khakass Technical Institute, Siberian Federal University Affiliate, Abakan, Russia

Abstract. The article considers issues of increasing thermal protection of the base and cornice heat-stressed units of the school building enclosures for 1000 students in the village of Bely Yar, Altai Region, Republic of Khakassia. The relevance of the study is due to the need to ensure the energy efficiency of buildings and create comfortable conditions in the premises.

Purpose: Study of thermal protection of enclosing structures of a school building for 1000 students in the village of Bely Yar Altai region Republic of Khakassia.

Methodology/approach: A comprehensive approach is used, including finite element modeling of heat transfer processes and the analytical method.

Research findings: Thermal protection of the enclosure components of the school building is improved. Thermal engineering characteristics are determined and the surface temperature curves are obtained along the perimeter. The additional insulation of ceiling and floor insulation does not reduce the heat loss to the environment, however, when performing these works, it turns out to significantly reduce them in room–attic and room–basement directions.

Keywords: enclosing structure, finite element method, heat transfer, non-stationary mode, thermal conductivity, heat loss, mathematical model, density

For citation: Portnyagin D.G., Ivanov R.O. Thermal Protection of School Building Enclosure (Bely Yar School for 1000 places, Republic of Khakassia). Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (3): 193–207. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-193-207. EDN: UCYDVK

Введение

Все здания и сооружения в Российской Федерации обязаны выполнять требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям, которые указаны в Федеральном законе № 261 от 2009 г.¹ и СП 50.13330.2024². В техническом регла-

¹ Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 19.07.2024).

² СП 50.13330.2024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306326592> (дата обращения: 19.07.2024).

менте о безопасности зданий и сооружений устанавливаются определенные требования к качеству выполнения строительных работ и проектированию. От свойств теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений зависит не только качество воздуха, но и микроклимат в помещениях [1–7].

На обогрев и охлаждение зданий уходит 44 % тепловой энергии. Основная доля этой энергии (90 %) приходится на эксплуатационный период зданий. Производство стройматериалов и выполнение строительных работ составляют соответственно 8 и 2 % общего энергопотребления [8].

Неэффективные проекты по теплоизоляции ограждающих конструкций зданий могут привести к потерям тепловой энергии в помещениях до 40 % [9]. Кроме того, недостаточное утепление стеновых ограждающих конструкций увеличивает теплотери через так называемые мостики холода.

Результаты проведенных экспериментов [10] подтверждают необходимость утепления узлов примыкания стен к перекрытиям. В связи с этим в настоящей статье рассматриваются два варианта конструктивных решений чердачного и цокольного узлов ограждающих конструкций, направленных на повышение их теплозащитных свойств. Исследуемые узлы относятся к следующему объекту: «Школа на 1000 мест в селе Белый Яр, Алтайский район, Республика Хакасия» (рис. 1).



Рис. 1. Участок строительства школы в с. Белый Яр. Вид со спутника
Fig. 1. School construction site in Bely Yar village. View from satellite

При анализе СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» можно сделать вывод, что теплотехнический расчет ограждающих конструкций имеет недостатки, в частности отсутствуют данные о коэффициентах теплоотдачи внутренних поверхностей полов и потолков.

Особенностью ограждающих конструкций зданий является то, что они содержат множество теплонапряженных элементов, таких как оконные проемы, участки соединения стен с перекрытиями, и другие подобные элементы.

В реальной практике проектирования часто не учитывается воздействие краевых зон ограждающих элементов на тепловую защиту и энергоэффективность зданий.

Постановка задачи

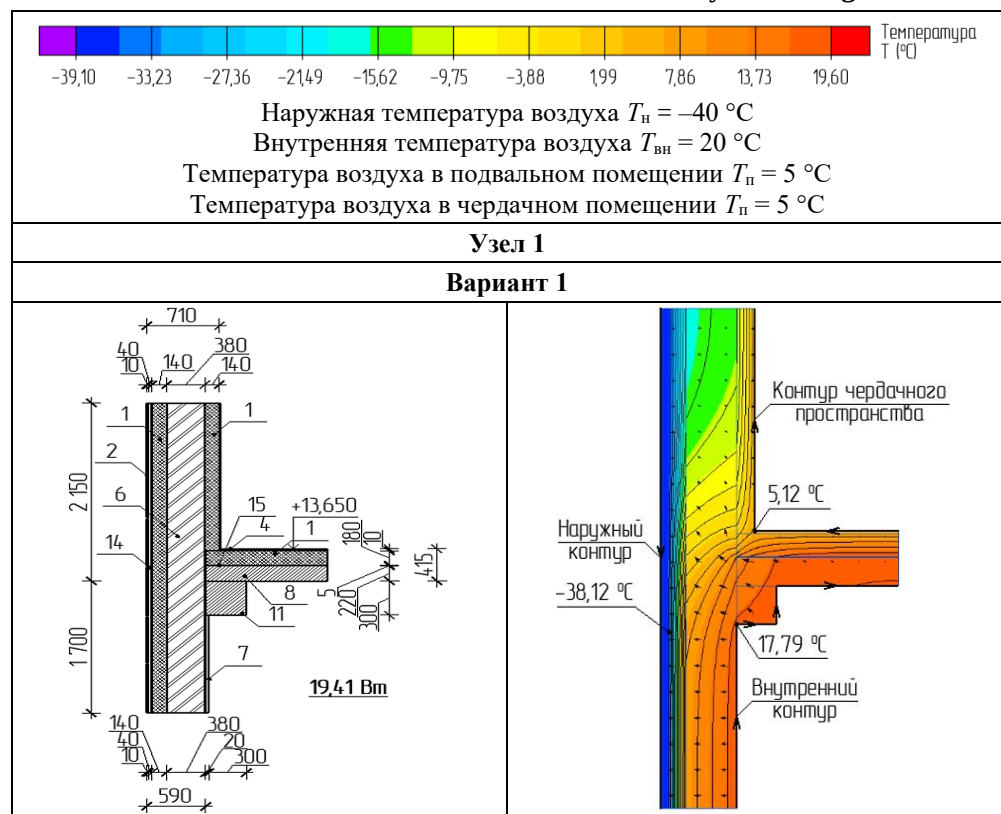
Многослойные ограждающие конструкции применяются для понижения тепловых потерь зданий. Примером такой конструкции может служить многослойная система, включающая кирпичную кладку, теплоизоляционный слой, воздушную прослойку и фасадную керамогранитную плиту (табл. 1).

Таблица 1

Цокольный узел и узел чердачного перекрытия школы на 1000 мест в с. Белый Яр Алтайского района Республики Хакасия

Table 1

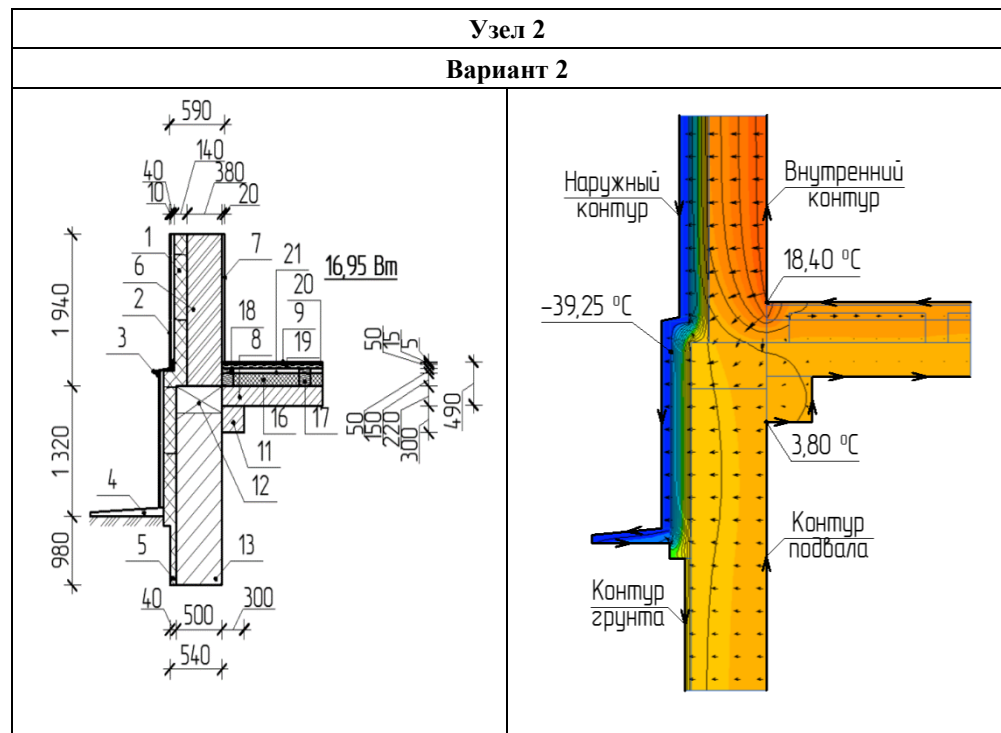
Base and attic floor of 1000-bed school in Bely Yar village



Continuation

Вестник ТГАСУ. 2025. Т. 27. № 3

Окончание табл. 1
End of table 1



Примечание. Расчетные характеристики материалов выбранных узлов здания приведены в табл. 2.

Таблица 2
Расчетные характеристики материалов выбранных узлов здания

Table 2

Design parameters of materials for selected building units

№ п/п	Материал	Толщина слоя, мм	Плотность материала, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
1	Утеплитель минераловатный	140	80	0,042
2	Фасадная керамогранитная плита	10	2800	3,49
3	Металлический фартук	2	2600	221
4	Цементно-песчаный раствор	20	1800	0,90
5	Пенополистирол	40	30	0,038
6	Кладка из керамического кирпича	380	1800	0,56
7	Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	20	1800	0,90
8	Ж/б перекрытие	220	2500	1,69

Окончание табл. 2

End of table 2

№ п/п	Материал	Толщина слоя, мм	Плотность материала, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
9	Напольное покрытие (линолеум)	5	1800	0,35
10	Стяжка цементно-песчаная	15	1800	0,58
11	Ж/б балка	300	2500	1,69
12	Монолитный ж/б пояс	300	2500	1,69
13	Монолитная ж/б стена	500	2500	1,69
14	Воздушная прослойка	40	1,225	10
15	Гидроизоляция битумная	5	1400	0,27
16	Утеплитель минераловатный	150	80	0,042
17	Лаги: брус 150×150 мм	150	500	0,15
18	Контррейка: доска 150×50 мм	50	520	0,15
19	Пол: доска 150×50 мм	50	520	0,15
20	Фанера	15	650	0,15
21	Пароизоляционная пленка	0,22	45	0,035

Определение теплозащитных свойств наружной ограждающей конструкции [11] необходимо для проверки ее соответствия требованиям нормативных документов. Кроме того, нужно определить текущие потери тепловой энергии в реальном времени и изучить возможные способы повышения тепловой изоляции здания. Подобные исследования уже ранее выполнялись [12], но для дальнейшего повышения энергетической эффективности исследуемой конструкции следует изучить вероятность появления мостиков холода и предложить способы их устранения.

Выявление теплопотерь узлов здания

Чтобы оценить энергоэффективность здания, были выбраны цокольный узел и узел чердачного перекрытия школы на 1000 мест в с. Белый Яр Алтайского района Республики Хакасия (табл. 1):

1. Узел 1 – чердачный узел. Отображает сопряжение плиты перекрытия потолка с кирпичной стеной. Состоит из следующих элементов: кирпичная стена, минераловатный утеплитель, воздушная прослойка, фасадная керамогранитная плита, штукатурка ЦПР, ж/б балка, ж/б плита перекрытия, гидроизоляция битумная, цементно-песчаный раствор.

2. Узел 2 – цокольный узел. Отображает сопряжение плиты перекрытия пола с кирпичной стеной. Состоит из следующих элементов: фундаментная монолитная стена, ж/б балка, ж/б плита перекрытия, кирпичная стена, минераловатный утеплитель, воздушная прослойка, пенополистирол, фасадная керамогранитная плита, металлический фартук, штукатурка ЦПР, ЦПС, линолеум.

Определение значений мощности теплового потока для каждого элемента, который проводит тепло, выполнялось при помощи программного комплекса ELCUT.

В данной работе двумерные температурные поля в наиболее теплонапряженных узлах, расположенных в стеновых углах здания, были учтены при помощи математического моделирования процессов теплопередачи методом конечных элементов (МКЭ), который позволяет определить теплотехнические характеристики и построить графики температурного покрытия.

Расчетные значения температуры воздуха и коэффициенты конвективного теплообмена на поверхностях имеют следующие значения:

- 1) температура воздуха внутри помещения $T_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 2) нормируемая расчетная температура наружного воздуха для Республики Хакасия, г. Абакан $T_{\text{н}} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.1 СП 131.13330.2020);
- 3) коэффициент конвективного теплообмена на поверхности стены внутри помещения – $8,7 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$;
- 4) коэффициент конвективного теплообмена на внешней поверхности стены – $23 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$;
- 5) температура воздуха в чердачном помещении $T_{\text{ч}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 6) температура воздуха в подвальном помещении $T_{\text{п}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Данные коэффициенты приняты по СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий».

В результате проведенного расчета были выявлены температурные поля цокольного узла и узла чердачного перекрытия (см. табл. 1). Полученные теплотехнические характеристики для контуров приведены в табл. 3–6.

Таблица 3

Теплотехнические характеристики по внутреннему контуру

Table 3

Thermal properties of the internal circuit

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности $T_{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$
Узел 1				
Вариант 1	19,41	100	–	17,79
Вариант 2	14,24	73,36	26,64	18,36
Узел 2				
Вариант 1	20,76	100	–	17,63
Вариант 2	16,95	81,65	18,35	18,40

Выявлено, что температура поверхности на стыке стены и плиты перекрытия цокольного узла возрастает до значения $18,40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а на стыке стены и плиты перекрытия чердачного узла – до $18,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако, если посмотреть температурные значения по контуру подвала и контуру чердачного помещения, выявляется уменьшение температуры углов до $3,80$ и $4,59 \text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно (см. табл. 1).

Таблица 4

Теплотехнические характеристики по наружному контуру

Table 4

Thermal properties of the external circuit

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности $T_{ср}$, °С
Узел 1				
Вариант 1	11,31	100	–	–38,12
Вариант 2	11,31	100	0	–38,12
Узел 2				
Вариант 1	18,26	100	–	–39,25
Вариант 2	18,26	100	0	–39,25

Таблица 5

Теплотехнические характеристики по контуру чердачного пространства

Table 5

Thermal properties of attic space contour

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности $T_{ср}$, °С
Узел 1				
Вариант 1	4,69	100	–	5,12
Вариант 2	1,74	37,10	62,90	4,59

Таблица 6

Теплотехнические характеристики по контуру подвала

Table 6

Thermal properties of base contour

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности $T_{ср}$, °С
Узел 2				
Вариант 1	9,84	100	–	5,29
Вариант 2	6,17	62,70	37,30	3,80

Также удалось получить температурные значения утеплителя стены по уличной стороне. В цокольном узле значение температуры составляет минус 39,25 °С, а в чердачном узле – минус 38,12 °С. Разница значений для узла чердачного перекрытия составила 1,88 °С, для цокольного узла – 0,75 °С. Это объясняется направлением теплового потока из внутренней части здания к наружной.

Полученные значения тепловых потоков для контуров здания (табл. 3 и 4) имеют различия. Они обусловлены неодинаковыми площадями внутреннего и внешнего контуров здания (см. табл. 1). Кроме того, при расчете теплового потока по наружному контуру учитываются тепловые потери через подвальное и чердачное помещения. Тепловой поток по внутреннему контуру составляет 19,41 Вт для узла чердачного перекрытия и 20,76 Вт – для цокольного узла (табл. 3).

Графики температуры поверхности по контурам представлены на рис. 2–7.

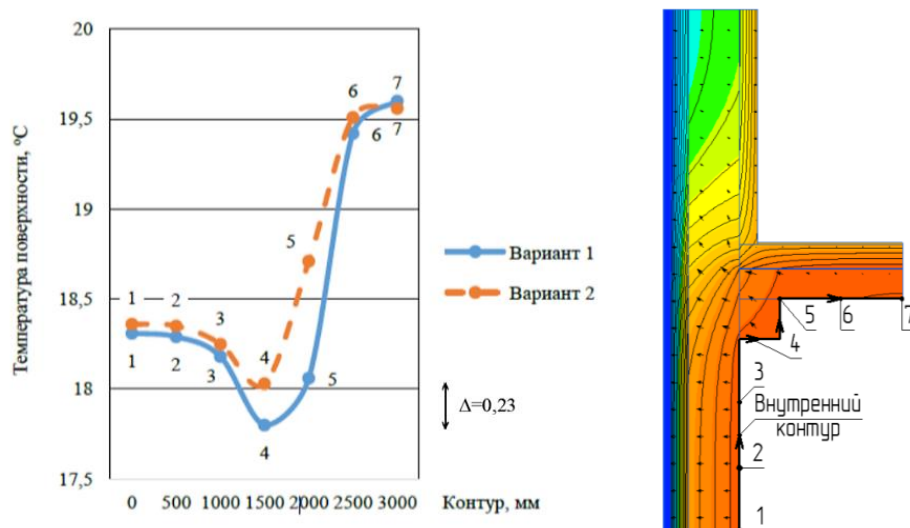


Рис. 2. Узел 1: график температуры поверхности по внутреннему контуру
Fig. 2. Unit 1: surface temperature along the inner contour

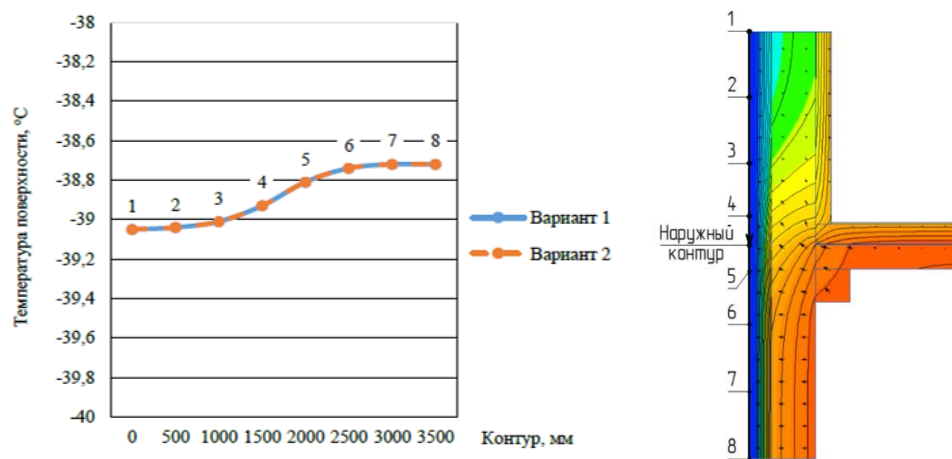


Рис. 3. Узел 1: график температуры поверхности по наружному контуру
Fig. 3. Node 1: surface temperature graph along the outer contour

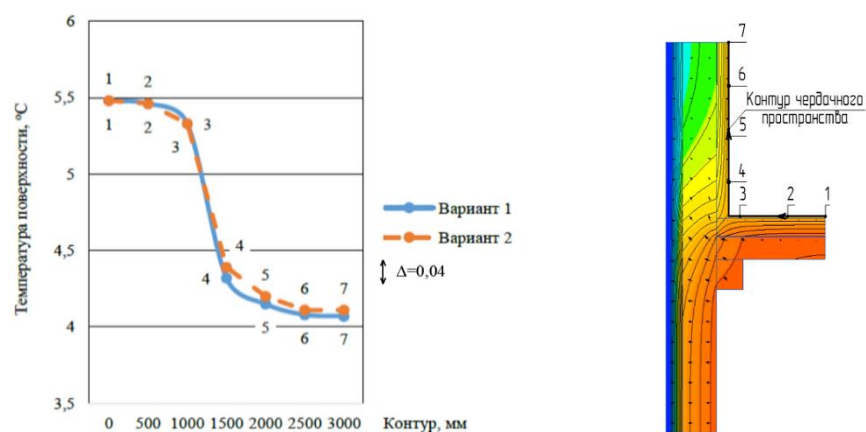


Рис. 4. Узел 1: график температуры поверхности по контуру чердачного пространства
Fig. 4. Unit 1: surface temperature along the attic contour

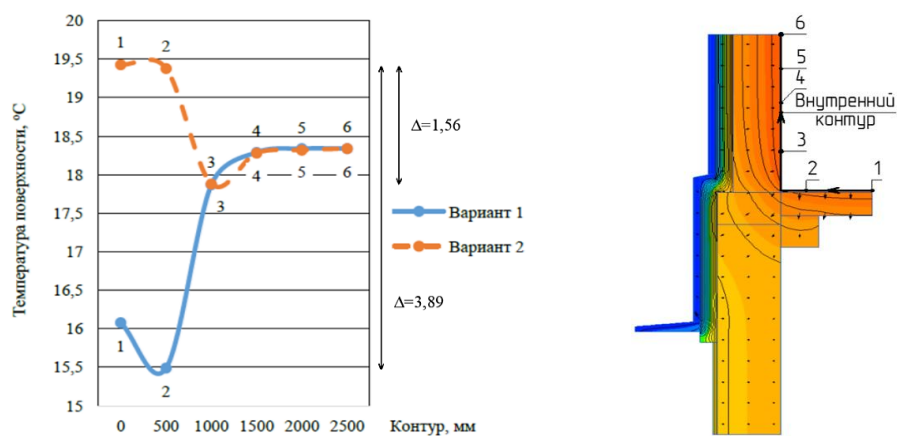


Рис. 5. Узел 2: график температуры поверхности по внутреннему контуру
Fig. 5. Unit 2: surface temperature along the inner contour

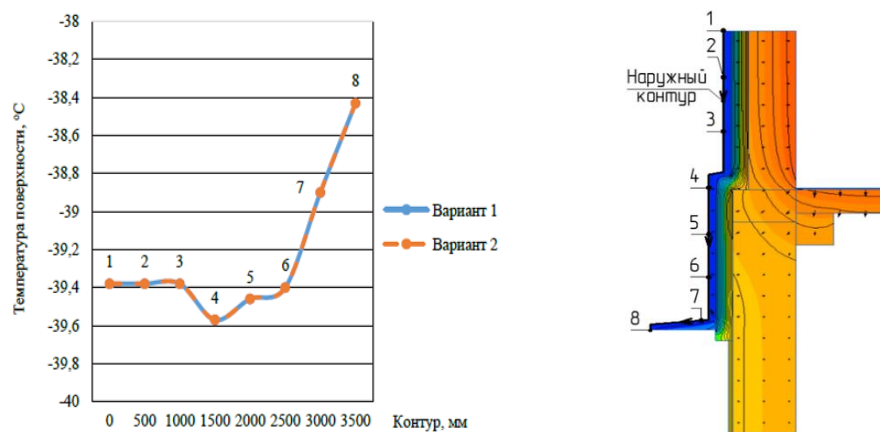


Рис. 6. Узел 2: график температуры поверхности по наружному контуру
Fig. 6. Unit 2: surface temperature along the outer contour

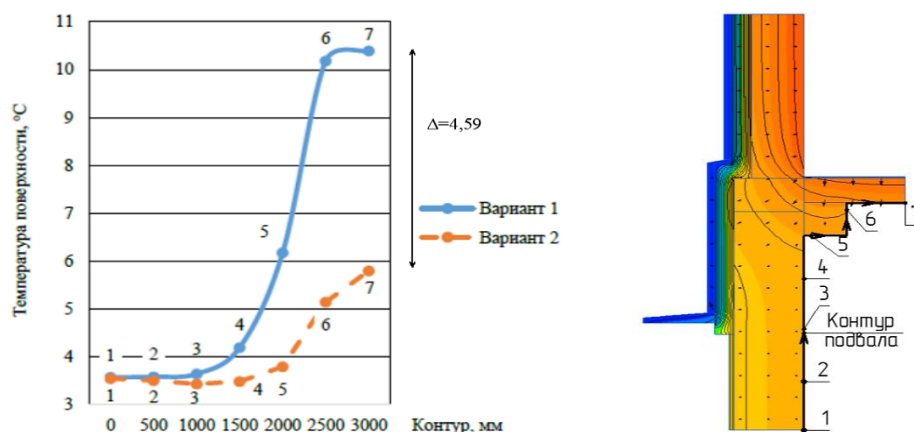


Рис. 7. Узел 2: график температуры поверхности по контуру подвала
Fig. 7. Unit 2: surface temperature along base contour

Результаты

При выполнении дополнительного утепления потолка и пола наблюдается стабильность теплового потока по наружному контуру. Однако в направлениях «помещение – чердак» и «помещение – подвал» происходит значительное снижение теплового потока: до 26,64 % для «помещение – чердак» и 18,35 % для «помещение – подвал» (см. табл. 3). Из этого следует, что дополнительное утепление потолка и пола не оказывает никакого влияния на потери тепла из внутреннего помещения наружу, но способствует их снижению в направлениях «помещение – чердак» и «помещение – подвал». Также выявлено, что внутреннее температурное значение поверхности на стыке стены и плиты перекрытия чердачного узла возрастает с 17,79 до 18,36 °С, в цокольном узле – с 17,63 до 18,40 °С (см. табл. 3). Это подтверждает эффективность теплоизоляции пола, которая позволяет значительно устранить мостики холода. Также снижается тепловой поток от 1-го этажа к подвалу, что приводит к снижению температуры на стыке угла с 5,29 до 3,80 °С (табл. 6). Температура угловой поверхности чердачного пространства снижается с 5,12 до 4,59 °С (см. табл. 5).

При выполнении дополнительного утепления потолка (см. табл. 1, узел 1, вариант 2), согласно данным графика (см. рис. 2), видно, что температура по внутреннему контуру по сравнению с базовым вариантом 1 (табл. 1, узел 1, вариант 1) повышается, что приводит к сокращению тепловых потерь в направлении «помещение – чердак».

График (см. рис. 3) демонстрирует, что выполнение дополнительного утепления потолка (см. табл. 1, узел 1, вариант 2) не оказывает влияния на температуру поверхности по наружному контуру, и тепловой поток остается неизменным.

На графике рис. 4 отмечено незначительное повышение температуры поверхности при выполнении дополнительного утепления потолка (см. табл. 1, узел 1, вариант 2) в месте примыкания потолка к стене по сравнению с базовым вариантом (см. табл. 1, узел 1, вариант 1).

При выполнении утепления пола (см. табл. 1, узел 2, вариант 2) по данным графика (рис. 5) видно, что в отличие от первоначального варианта 1 (см. табл. 1, узел 2, вариант 1) наблюдается значительное повышение температуры на поверхности внутреннего контура. Это способствует уменьшению тепловых потерь в направлении «помещение – подвал».

Согласно графику на рис. 6, можно сделать вывод, что выполнение утепления пола (см. табл. 1, узел 2, вариант 2) не оказывает влияния на температуру поверхности наружного контура, и тепловой поток остается неизменным.

На графике рис. 7 отмечено понижение температуры поверхности по контуру подвала при выполнении утепления пола (см. табл. 1, узел 2, вариант 2) по сравнению с базовым вариантом 1 (см. табл. 1, узел 2, вариант 1). Это свидетельствует о том, что поверхность угла подвала не нагревается тепловыми потоками из помещения.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выполнение дополнительного утепления потолка чердачного узла и пола цокольного узла позволяет сократить теплопотери из помещения на 26,64 и 18,35 % соответственно.
2. В результате выполнения дополнительного утепления удалось добиться снижения теплового потока от внутреннего контура к подвалу, что привело к понижению температуры поверхности угла до 3,80 °С при температуре внутреннего воздуха помещения 20 °С. Также зафиксировано понижение температуры угловой поверхности чердачного пространства до 4,59 °С.
3. При анализе перемещения теплового потока из помещения к облицовочной части здания через поперечное сечение плиты перекрытия выявлена разница температур, которая составляет 1,88 °С для узла чердачного перекрытия и 0,75 °С – для цокольного узла.
4. Для минимизации теплопотерь через пол цокольного узла рекомендуется выполнить утепление плиты перекрытия над подвалом.
5. Отмечено повышение температуры поверхности примыкания потолка к стене с 17,79 до 18,36 °С и примыкания пола к стене с 17,63 до 18,40 °С.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бахмисова М.А., Гоник Е.Г., Сакмарова Л.А. Расчет многослойной ограждающей конструкции стены при воздействии внешних сил и температуры // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2024. № 2 (60). С. 60–70. DOI: 10.37972/chgpu.2024.60.2.005. EDN: BRASJN
2. Бирюкова А.Б., Гридин С.В. Моделирование и прогнозирование потребления тепловой энергии с использованием погодных данных // Информатика и кибернетика. 2024. № 1. С. 5–16. EDN: EDDDVZ
3. Туснина В.М. Численное исследование тепловой эффективности внешних стен с теплопроводящими включениями // Международный журнал по вычислительному гражданскому и строительному проектированию. 2023. № 1. С. 155–167. DOI: 10.22337/2587-9618-2023-19-1-155-167. EDN: JZZWLR

4. Зубарев К.П. Учет влажности для повышения точности расчета теплопотерь здания // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2024. № 1. С. 154–161. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-1-154-161. EDN: JRMBIX
5. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений // Вестник МГСУ. 2019. № 4. С. 484–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.484-495. EDN: ZGXMTR
6. Кокшарова Д.С. Повышение энергоэффективности фасадных стеновых конструкций // Экономика и предпринимательство. 2022. № 2 (139). С. 1144–1148. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.229. EDN: CZTDLK
7. Бардыш Е.А. Повышение эффективности энергоэффективных вентилируемых фасадов // Экономика и предпринимательство. 2022. № 8 (145). С. 1065–1069. DOI: 10.34925/EIP.2022.145.8.218. EDN: HTAQEW
8. Лысов В.И., Циганков А.В., Шилин А.С. Энергопотребление для охлаждения зданий // Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 38–44. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-38-44. EDN: SVVWNO
9. Портнягин Д.Г. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8. С. 56–67. DOI: 10.5862/MCE.60.7. EDN: VBPWEB
10. Чеснокова О.Г., Журбенко М.Д., Торгашина С.Н., Кургузов А.И. Предложения по теплоизоляции пола в помещениях первого этажа, расположенных над холодным подвалом // Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. 2024. № 2 (48). С. 24–28. DOI: 10.52684/2312-3702-2024-48-1-24-28. EDN: IVTIEC
11. Чернухин С.П., Жерлыкина М.Н., Кретов М.А. Анализ теплоизоляционных характеристик стен с помощью термоизображения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2023. № 4 (27). С. 40–52. DOI: 10.36622/VSTU.2023.29.89.004. EDN: HQUQXH
12. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние теплозащиты ограждающих конструкций здания на величину теплопотерь в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 4–14. DOI: 10.5862/MCE.34.1. EDN: PJWLEX

REFERENCES

1. Bakhmisova M.A., Gonik E.G., Makarova L.A. Multilayer Wall Structural Analysis under External Forces and Temperature. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Ya. Yakovleva*. 2024; 2 (60): 60–70. (In Russian)
2. Biryukova A.B., Gridin S.V. Modeling and Prediction of Heat Energy Consumption based on Weather Conditions. *Informatika i kibernetika*. 2024; (1): 5–16. (In Russian)
3. Tusnina V.M. Numerical Investigation of Thermal Efficiency of External Walls with Heat-Conducting Inclusions. *Mezhdunarodnyi zhurnal po vychislitel'nomu grazhdanskomu i stroitel'nomu proektirovaniyu*. 2023; (1): 155–167. (In Russian)
4. Zubarev K.P. Accounting for Humidity for Calculation Accuracy of Heat Loss in Building. *Mezhdunarodnyi zhurnal po vychislitel'nomu grazhdanskomu i stroitel'nomu proektirovaniyu*. 2024; (1): 154–161. (In Russian)
5. Gagarin V.G., Zubarev K.P. Application of Moisture Potential Theory to Non-Stationary Humidity Modeling of Fences. *Vestnik MGSU*. 2019; (4): 484–495. (In Russian)
6. Koksharova D.S. Energy Efficiency Improvement of Facade Wall Structures. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2022; 2 (139): 1144–1148. (In Russian)
7. Berdysh E.A. Efficiency Improvement of Energy-Efficient Ventilated Facades. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2022; 8 (145): 1065–1069. (In Russian)
8. Lysov V.I., Tsygankov A.V., Shilin A.S. Energy Consumption for Cooling Buildings. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019; (3): 38–44. (In Russian)
9. Portnyagin D.G. Increasing Thermal Protection of Building Envelope Units using Foam Glass-Crystalline Material. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2015; (8): 56–67. (In Russian)
10. Chesnokova O.G., Zhurbenko M.D., Torgashina S.N., Kurguzov A.I. Thermal Insulation of First Floor Above Cold Basement. *Astrakhanskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet*. 2024; 2 (48): 24–28. (In Russian)

11. Chernukhin S.P., Zherlykina M.N., Kretov M.A. Analysis of Thermal Insulation Properties of Walls using Thermal Imaging. *Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2023; 4 (27): 40–52. (In Russian)
12. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Influence of Thermal Protection of Building Enclosure on Building Heat Loss. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012; (8): 4–14. (In Russian)

Сведения об авторах

Портнягин Денис Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, my4455@yandex.ru

Иванов Роман Олегович, магистрант, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, romanivanov1998@mail.ru

Authors Details

Denis G. Portnyagin, PhD, A/Professor, Khakass Technical Institute, Siberian Federal University Affiliate, Abakan, Russia, 27, Shchetinkina Str., 655017, Abakan, Russia, my4455@yandex.ru

Roman O. Ivanov, Graduate Student, Khakass Technical Institute, Siberian Federal University Affiliate, Abakan, Russia, 27, Shchetinkina Str., 655017, Abakan, Russia, romanivanov1998@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.02.2025
Одобрена после рецензирования 18.04.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Submitted for publication 27.02.2025
Approved after review 18.04.2025
Accepted for publication 27.05.2025