

doi: 10.5862/MCE.60.7

Повышение теплозащиты узлов
ограждающих конструкций зданий
с применением пеностеклокристаллического материала
Improving the thermal performance of the building envelopes
with the use of foam glass-ceramics

*Канд. техн. наук, доцент Д.Г. Портнягин,
Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный
университет», г. Абакан, Россия*

*D.G. Portnyagin,
Khakass Technical Institute – branch of Siberian
Federal University, Abakan, Russia*

Ключевые слова: энергоэффективность;
тепловые потери; ограждающая конструкция;
пеностеклокристаллический материал

Key words: energy performance; heat loss;
building envelope; foam glass; foam glass-
ceramics

Аннотация. В статье предложены рекомендации по устранению дефектов теплозащиты на основе ранее проведенного тепловизионного обследования. Предложены конструктивные решения ограждающих конструкций с учетом расчета тепловых полей в программе Elcut. Типовым решением теплоизоляции цокольного узла является устройство наружной теплоизоляции стены подвала до уровня низа облицовочной версты. Для данного решения характерен значительный мостик холода в направлении к облицовочной версте, проходящий через забутовку и поперечное сечение плиты перекрытия под теплоизоляцией стены. Исследуется способ устранения мостика холода заменой керамического или силикатного кирпича теплоизоляционным кирпичом из пеностеклокристаллического материала. Рассматривается узел примыкания кровли к парапету. Приводятся результаты расчета тепловых потерь при замене верхнего ряда забутовки выше уровня покрытия на теплоизоляционный кирпич из пеностеклокристаллического материала.

Abstract. Recommendations on eliminating the defects of thermal insulation on the basis of the previously carried out thermal imaging surveys were given. Constructive solutions of building envelopes were proposed with regard to modeling thermal fields in ELCUT. A typical solution of thermal insulation of the basement joint is the unit exterior insulation of the basement wall to the level of the facing course bottom. This constructive solution is characterized by a significant thermal bridge, in the direction through the cross-section of the floor slab under the insulation of the wall. The article presents the results of eliminating the thermal bridge by substituting of ceramic or silica bricks for thermal insulation bricks of foamglass. We discussed the roof and parapet joint. The paper also presents the results of heat loss calculation when replacing of the top line of backfills above the level of the coating by the brick thermal insulation made of foamglass.

Введение

Необходимость решения задач энергетической эффективности и ресурсосбережения регламентируется Законом РФ «О техническом регулировании». Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, также имеющим статус закона РФ, предусмотрены требования к проектным решениям и к качеству строительства зданий и сооружений, обеспечивающие безопасные условия проживания и пребывания людей в части экологических, санитарно-гигиенических и других норм. К ним относятся качество воздуха и микроклимат помещений, обеспечиваемый, в первую очередь, качеством теплозащитных свойств ограждающих конструкций [1–5], решением их воздухо- и паропроницаемости, рациональным подбором слоев ограждающих конструкций (стен, перекрытий) [6].

Энергоэффективное строительство с каждым годом приобретает все большую актуальность и стремительно развивается [7]. Появляются новые здания и сооружения, построенные по современным технологиям, с повышенными требованиями к теплозащите и улучшенными характеристиками энергопотребления [8, 9]. Реализация этих условий невозможна без использования эффективных теплоизоляционных материалов [10–13] и анализа процессов переноса тепла через ограждающие конструкции [14, 15]. Изучены факторы, оказывающие влияние на изменение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала [16].

Отечественными и зарубежными специалистами проведены исследования по влиянию градиентов температуры на перенос влаги через материалы [17, 18], что позволяет делать прогнозы появления мостиков холода в связи с изменением влажностного режима наружных ограждающих конструкций [19, 20].

При этом для достижения высокой энергоэффективности строительной продукции необходимо учитывать факторы на всех стадиях жизненного цикла строительного объекта. Так, на стадии проектирования необходимо рационально выбрать тип теплоизоляционного материала с учетом его теплотехнических и физико-механических характеристик (в том числе с учетом долговечности); конструктивную схему здания; способы устройства эффективной теплоизоляции ограждающих конструкций с исключением мостиков холода и возможности накопления влаги внутри утеплителя. На стадии строительства от качества выполнения работ напрямую зависят теплозащитные свойства ограждающих конструкций, их надежность и долговечность. При эксплуатации здания или сооружения необходимо обеспечивать те условия работы, на которые были рассчитаны ограждающие конструкции, в частности, микроклимат помещения.

Только при комплексном решении вопросов энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла объекта, начиная от производства теплоизоляционного материала и включая период эксплуатации здания, можно значительно снизить затраты на тепло- и энергоресурсы.

С введением повышенных норм теплозащиты наружных ограждающих конструкций появилась необходимость увеличения сопротивления теплопередаче в средней полосе России в 3.5 раза. При этом для каменных стен начиная с 90-х годов прошлого века стали применять наружные слоистые конструкции теплозащиты, в которых используются минераловатные плиты, пластмассы, а в наружных слоях – полимерный и металлический сайдинг, асбестоцементные листы и другие материалы. Недостатком этих решений является несоответствие долговечности каменных стен (100 и более лет) и конструкций дополнительной теплозащиты (25–30 лет).

Известно, что на энергопотребление зданий используется 44 % тепловой энергии, из них 90 % – при эксплуатации, 8 % – на производство стройматериалов, 2 % – в процессе строительства [21]. При эксплуатации традиционного многоэтажного жилого здания через стены теряется до 40 % тепла. Формальным утеплением ограждающих конструкций нельзя добиться значительного уменьшения теплопотерь, поскольку их существенная доля приходится на мостики холода, то есть участки интенсивного теплообмена с окружающей средой. Такие участки чаще всего образуются в области межэтажного перекрытия, цокольной части здания при отсутствии теплоизоляции фундамента или стены подвала, а также в карнизной части здания через массив стены.

В исследованиях [22, 23] были изучены вопросы утепления узлов сопряжения стен с железобетонным монолитным перекрытием, в связи с этим предложены варианты конструктивных решений по утеплению наружной стены здания. В работе [24] предложено конструктивное решение узла опирания облицовки из кирпича в многослойных наружных стенах монолитных зданий с учетом требований безопасной и длительной эксплуатации. Особенностью конструктивного решения является устройство термовкладышей и температурных компенсационных швов в области межэтажных перекрытий, что повышает теплоэффективность и надежность узла.

При анализе повреждений в кирпичной облицовке наружных многослойных стен жилых зданий в работах [25, 26] выделяются механические дефекты и повреждения. Однако при этом не уделяется должного внимания потенциальным мостикам холода в цокольной и карнизной частях здания.

В качестве потенциальных мостиков холода отмечаются лишь растворные швы каменной кладки. Так, в работе [21] в качестве варианта повышения тепловой эффективности ограждающей конструкции предлагается замена наполнителя в строительных растворах на гранулированное пеностекло, что в некоторой степени повышает теплозащитные свойства ограждающей конструкции.

Постановка задачи

Относительно небольшой срок эксплуатации (15–20 лет) уже показывает, что слоистые ограждающие конструкции имеют нарушения полимерного сайдинга, асбестоцементных листов, ветрозащитной пленки и самих минераловатных плит и пенопласта. Совершенно очевидной является необходимость применения в каменных стенах теплоизоляционных материалов с надежностью и долговечностью, соответствующими основному материалу стен – кирпичной кладке или бетону. К числу таких материалов относится пеностекло и пеностеклокристаллические материалы (ПСКМ) [10–13]. Кроме того, если учесть, что за период эксплуатации существующую систему теплозащиты с применением волокнистых или полимерных теплоизоляционных материалов необходимо будет заменить три–четыре раза, то с учетом надежности и долговечности ПСКМ является одним из самых недорогих материалов. Кроме того, ПСКМ в гранулированном виде может применяться в ненагруженных слоях теплоизоляции с минимально низкой насыпной плотностью ($100\text{--}150\text{ кг/м}^3$) и низким коэффициентом теплопроводности ($0.05\text{--}0.06\text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) в качестве насыпной теплоизоляции, что позволяет ему конкурировать с такими материалами как минераловатные плиты и пенопласты. При этом он может применяться не только в слоистых наружных конструкциях, но и в качестве внутренних теплоизоляционных прослоек в каменных стенах аналогично системе «Besser» (США, Канада).

В целях снижения теплопотерь здания и удовлетворения требований нормативных документов широко применяются многослойные ограждающие конструкции, в том числе с размещением внутри конструкции слоя тепловой изоляции. Одним из основных типов ограждающих конструкций зданий является каменная кладка, облицованная кирпичом, с устройством теплоизоляции между слоями (табл. 1).

Важной задачей в этом направлении является определение теплозащитных качеств ограждающих конструкций [27, 28]. Ее решение позволяет оценить соответствие строительных конструкций нормативным требованиям, установить реальные потери тепла, разработать меры по повышению тепловой защиты зданий. В работах [29–31] проведены подобные исследования, однако для обеспечения энергоэффективности ограждающей конструкции требуется проанализировать возможность образования мостиков холода и разработать рекомендации по их устранению.

Целью исследования является разработка рекомендаций по повышению теплозащиты и долговечности узлов ограждающих конструкций зданий стеновой конструктивной схемы с применением пеностеклокристаллического материала. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- расчет и анализ тепловых полей узлов ограждающих конструкций на примерах цокольного узла с теплоизоляцией стены подвала и узла примыкания кровли к парапету;
- выявление потенциальных мостиков холода в рассматриваемых узлах и разработка рекомендаций по их устранению/минимизации с позиции повышения долговечности слоистой ограждающей конструкции.

Определение тепловых потерь ограждающих конструкций

Для проверки энергоэффективности ограждающей конструкции выбран цокольный узел с устройством наружной теплоизоляции стены подвала. Рассмотрено четыре варианта его исполнения (табл. 1):

- 1) устройство теплоизоляции стены подвала до уровня низа облицовочной версты;
- 2) устройство теплоизоляции стены подвала до уровня низа облицовочной версты, при этом нижний ряд массива стены заменен на теплоизоляционный кирпич ПСКМ;
- 3) устройство теплоизоляции стены подвала на высоте 65 мм выше уровня низа облицовочной версты, при этом нижний ряд массива стены заменен на теплоизоляционный кирпич ПСКМ;
- 4) устройство теплоизоляции стены подвала на высоте 130 мм выше уровня низа облицовочной версты, при этом нижний ряд массива стены заменен на теплоизоляционный кирпич ПСКМ.

Мощности потоков теплоты через каждое теплопроводное включение определяются с помощью расчета температурных полей в программе Elcut.

Расчетные характеристики материалов стеновой конструкции приведены в таблице 2.

Портнягин Д.В. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала

Заданы граничные условия:

- 1) температуры внутреннего и окружающего воздуха: $T_B = 20\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_H = -35\text{ }^\circ\text{C}$;
- 2) коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающих конструкций соответственно: 8.7 и $23\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

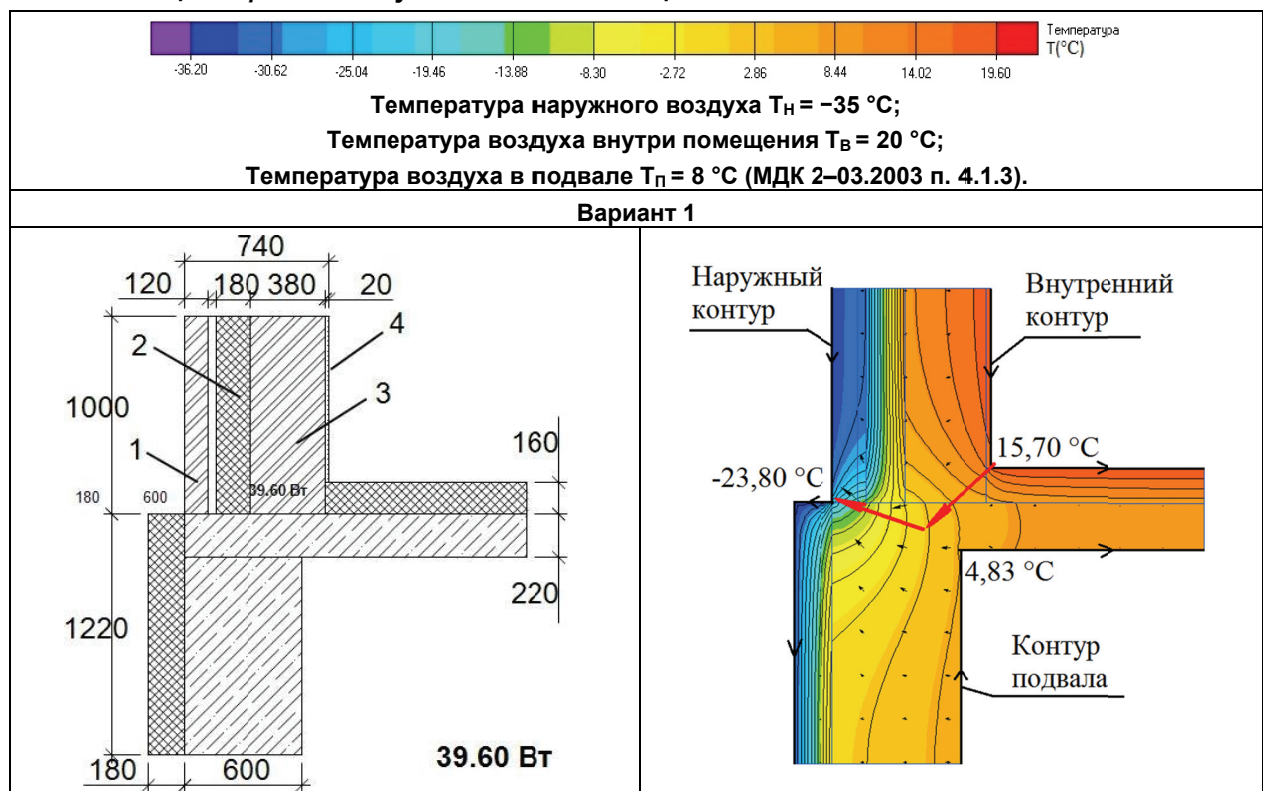
В таблице 1 представлены температурные поля цокольного узла с теплоизоляцией стены подвала, выполненного по вариантам 1–4. Теплотехнические характеристики по внутреннему, наружному контурам и контуру подвала приведены в таблицах 3–5.

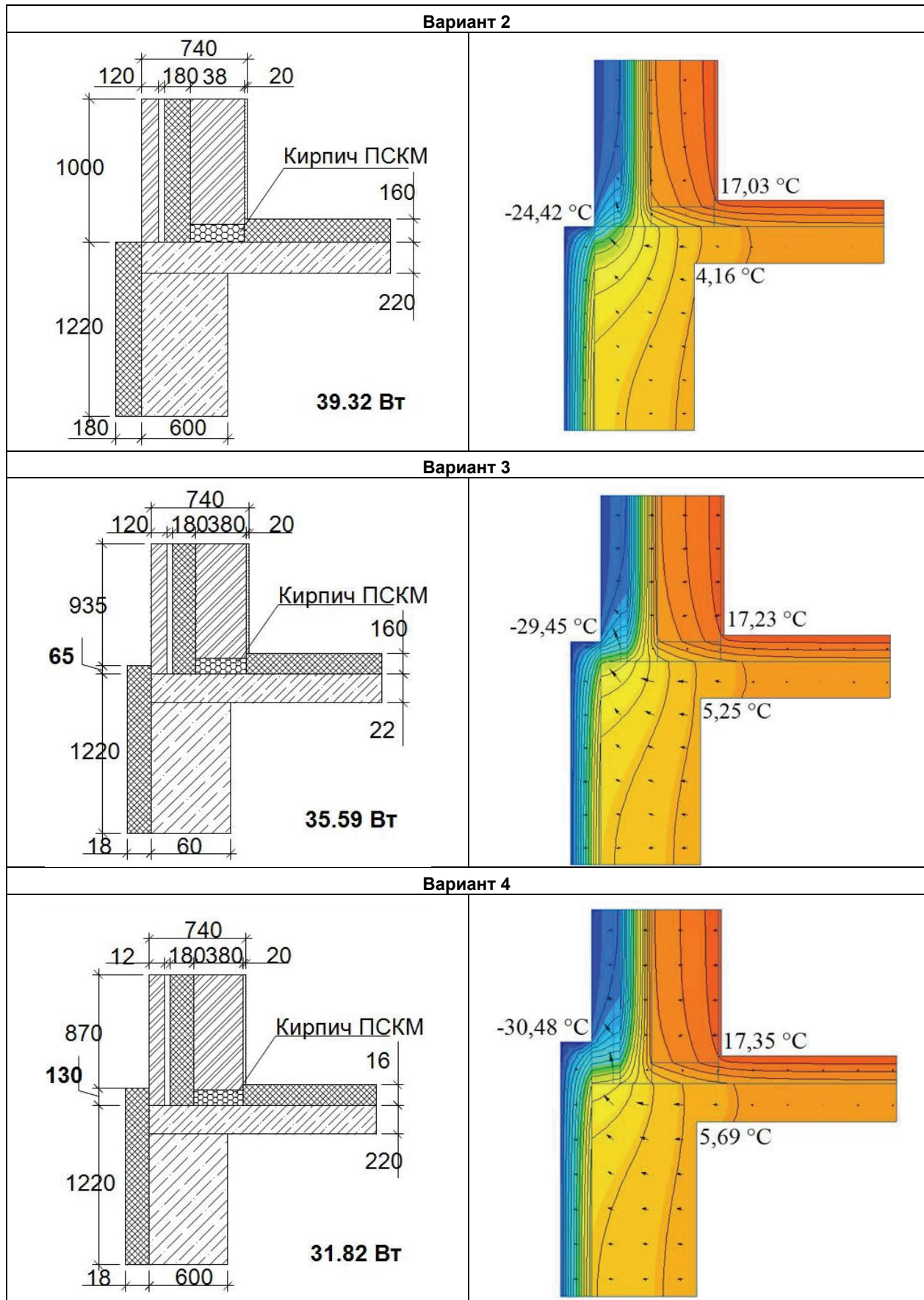
Типовым решением теплоизоляции цокольного узла является устройство наружной теплоизоляции стены подвала до уровня низа облицовочной версты (табл. 1, вариант 1). При температуре наружного воздуха $-35\text{ }^\circ\text{C}$ температура в стыке теплоизоляции стены подвала с облицовочным кирпичом составляет $-23.80\text{ }^\circ\text{C}$. Разница между значениями температур наружного воздуха и наружной поверхности облицовочного кирпича – $11.20\text{ }^\circ\text{C}$. Это объясняется тем, что тепловой поток проходит в направлении из помещения к облицовочной версте через поперечное сечение плиты перекрытия под теплоизоляцией стены и тем самым «прогревает» наружную поверхность облицовочного кирпича. В результате формируется мостик холода.

Тем самым, судя по направлению векторов тепловых потоков, основные теплотери происходят в направлении от внутреннего контура в область плиты перекрытия (табл. 1). Этим объясняется понижение температуры поверхности угла помещения ($15.70\text{ }^\circ\text{C}$), а также поверхности угла контура подвала ($4.83\text{ }^\circ\text{C}$) при температуре внутреннего воздуха $20\text{ }^\circ\text{C}$ и $8\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно (табл. 1, вариант 1).

Анализ значений тепловых потоков, полученных по внутреннему и наружному контурам здания (табл. 3–4), показывает их расхождение. Объясняется это тем, что при их расчете учитываются площади внутреннего и наружного контуров здания, которые отличаются между собой (табл. 1, вариант 1). Так, при расчете теплового потока по наружному контуру учитываются тепловые потери из подвала здания. Для сравнения степени энергоэффективности вариантов конструктивного исполнения цокольного узла выбран тепловой поток по наружному контуру, характеризующий тепловые потери как из помещения, так и из подвала здания в рамках исследуемого цокольного узла. Численное значение теплового потока по наружному контуру данного конструктивного решения составляет 39.60 Вт (табл. 4). Тем не менее, несмотря на значительную величину тепловых потерь, отсутствуют условия для образования точки росы (рис. 1–6).

Таблица 1. Цокольный узел с теплоизоляцией стены подвала





Портнягин Д.В. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала

Таблица 2. Расчетные характеристики материалов ограждающей конструкции

№ поз.*	Слой, материал	Толщина слоя, м	Плотность материала, кг/м ³	Расчётный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Кладка из керамического кирпича	120	1800	0.67
2	ПСКМ	180	300	0.06
3	Кладка из керамического кирпича	380	1800	0.67
4	Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	20	1800	0.90

* № поз. смотреть совместно с табл. 1 (вариант 1)

Таблица 3. Теплотехнические характеристики по внутреннему контуру ($T_B = 20\text{ °C}$)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	22.43	100	–	18.59
Вариант 2	18.83	83.95	16.05	18.82
Вариант 3	18.22	81.23	18.77	18.86
Вариант 4	17.76	79.17	20.83	18.89

Таблица 4. Теплотехнические характеристики по наружному контуру ($T_H = -35\text{ °C}$)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	39.60	100	–	-34.20
Вариант 2	39.32	99.29	0.71	-34.18
Вариант 3	35.59	89.87	10.13	-34.30
Вариант 4	31.82	80.35	19.65	-34.37

Таблица 5. Теплотехнические характеристики по контуру подвала ($T_P = 8\text{ °C}$)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	24.43	100	–	6.66
Вариант 2	27.47	124	-24.00	6.49
Вариант 3	20.84	85.30	14.7	6.86
Вариант 4	17.76	72.69	27.31	7.03

При использовании кирпича ПСКМ (вариант 2) тепловой поток по наружному контуру снижается по сравнению с базовым вариантом 1 только на 0.71 % (табл. 4). Однако сокращение теплопотерь из помещения составляет 16.05 % (табл. 3). Таким образом, можно сделать вывод, что применение термовкладыша (кирпича ПСКМ) практически не сокращает теплопотери в окружающую среду, однако его применение позволяет значительно снизить их в направлении помещение–подвал. При этом отмечается повышение температуры поверхности примыкания пола к стене до 17.03 °С (против 15.70 °С). Тем не менее температура поверхности угла подвала снижается на 0.67 °С (табл. 1, вариант 2). Это также является подтверждением того, что теплоизоляционный кирпич ПСКМ в нижнем ряду массива стены устраняет мостик холода в направлении помещение–подвал, в результате поверхность угла подвала не нагревается тепловыми потоками из помещения. При этом наблюдаются значительные тепловые потоки из подвала в направлении к облицовочной версте, из-за чего при температуре внутреннего воздуха подвала 8 °С температура поверхности угла составляет 4.16 °С.

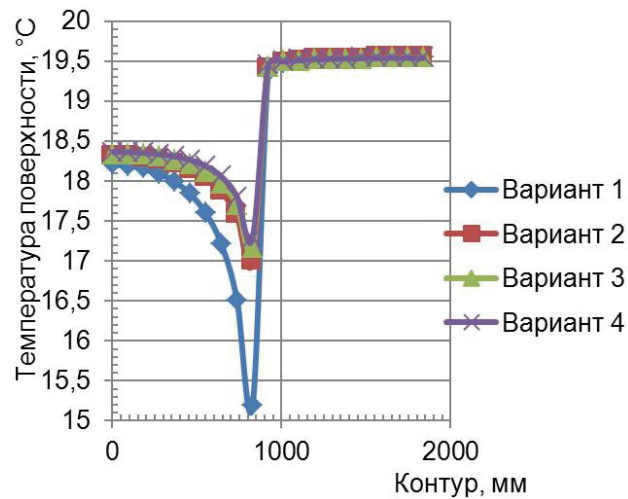


Рисунок 1. График температуры поверхности по внутреннему контуру

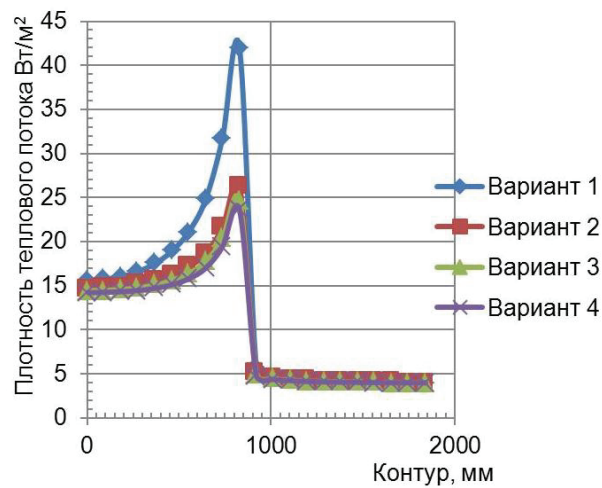


Рисунок 2. График плотности теплового потока по внутреннему контуру

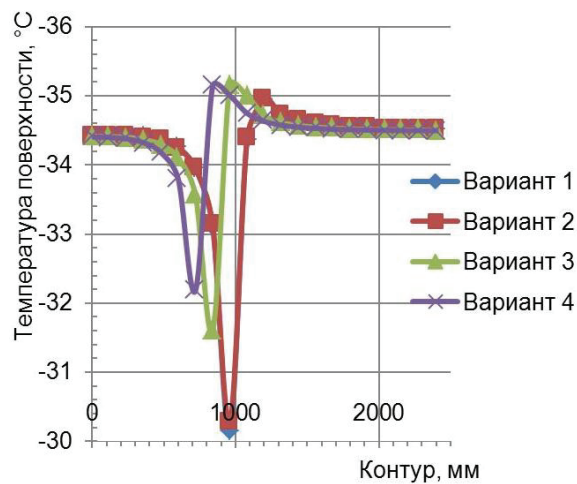


Рисунок 3. График температуры поверхности по наружному контуру

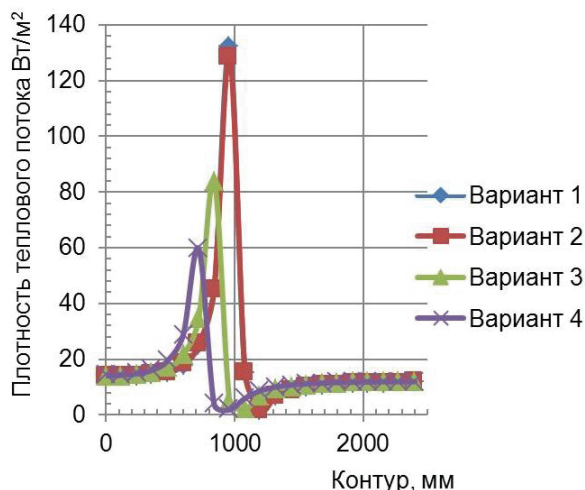


Рисунок 4. График плотности теплового потока по наружному контуру

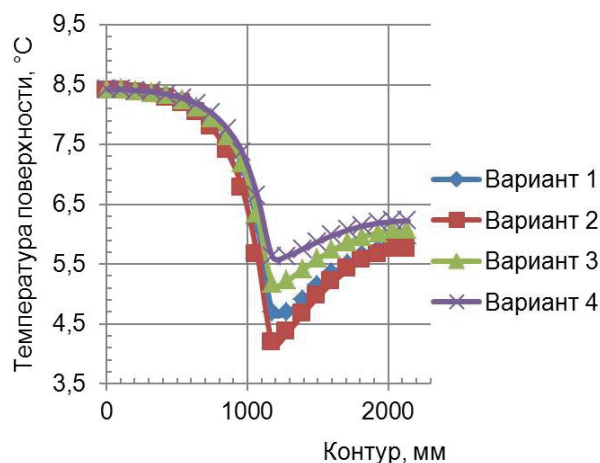


Рисунок 5. График температуры поверхности по контуру подвала

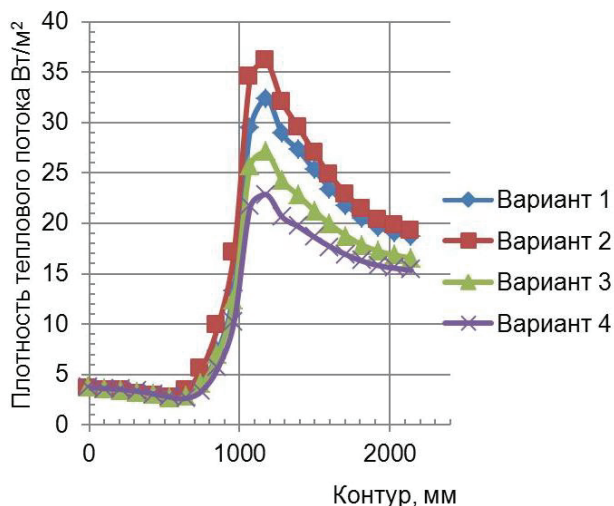


Рисунок 6. График плотности теплового потока по контуру подвала

Для устранения мостика холода через стык наружной теплоизоляции стены подвала и облицовочной версты предложены варианты 3 и 4 конструктивного исполнения узла (табл. 1, вариант 3 и 4). Устройство наружной теплоизоляции стены подвала на высоту 65 мм и 130 мм выше уровня низа облицовочной версты повышают энергоэффективность узла на 10.13 и 19.65 % соответственно (табл. 4). Благодаря этому повышается тепловой комфорт помещения, заключающийся в отклонении значений температуры на поверхности стены не более чем на 2 °С и минимальных перепадах теплового потока по исследуемым контурам (рис. 1–6) в сравнении с вариантом 1.

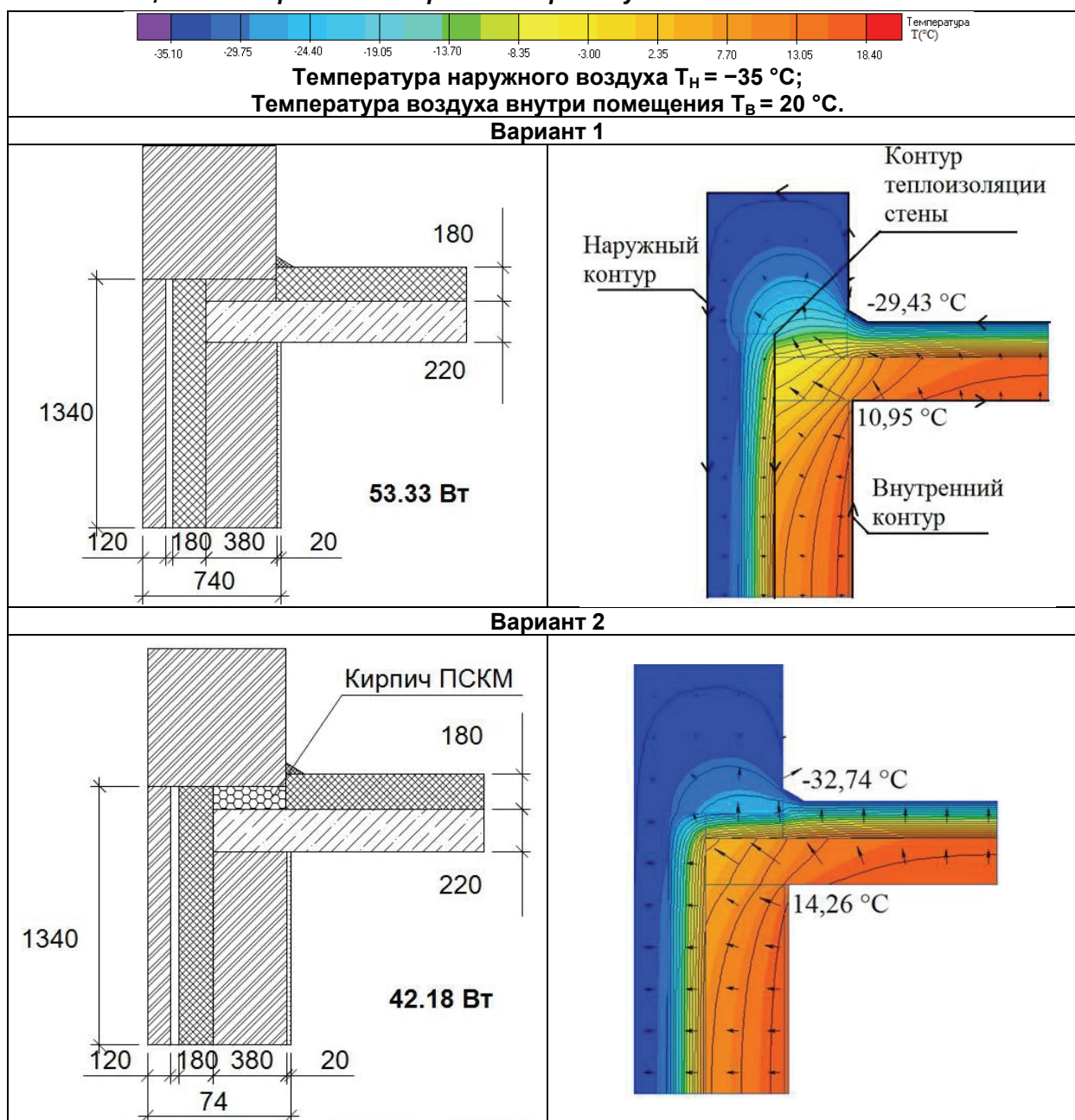
Portnyagin D.V. Improving the thermal performance of the building envelopes with the use of foam glass-ceramics

Таким образом, с точки зрения энергоэффективности наиболее рациональным вариантом является вариант 4: устройство теплоизоляции стены подвала на высоту 130 мм выше уровня низа облицовочной версты, при этом нижний ряд забутовки заменен на теплоизоляционный кирпич ПСКМ, что позволяет снизить теплототери помещения через узел на 19.65 %.

С точки зрения значительных теплототерь «уязвимым» является узел примыкания кровли к парапету (табл. 6) или узел карниза скатной крыши. Парапет крыши – стандартный атрибут плоских кровель, в том числе инверсионных, но может устанавливаться и на скатных конструкциях. Рассмотрено два варианта его исполнения (табл. 6):

- 1) типовое решение каменной кладки, облицованной кирпичом, с устройством теплоизоляции между слоями; наружная теплоизоляция покрытия;
- 2) конструктивное решение аналогично варианту 1, но верхний ряд массива стены выше уровня покрытия заменен на теплоизоляционный кирпич ПСКМ.

Таблица 6. Узел примыкания кровли к парапету



Расчетные характеристики материалов стеновой конструкции приведены в таблице 2. Теплотехнические характеристики по внутреннему, наружному контурам и контуру внутренней грани теплоизоляции приведены в таблицах 7–9.

Тепловой поток типового конструктивного решения узла примыкания кровли к парапету составляет 53.33 Вт. Векторы тепловых потоков указывают на значительные мостики холода через торец покрытия в направлении парапета (табл. 6, вариант 1). Из-за этого температура поверхности верха стены внутри помещения составляет 10.95 °С. Таким образом, возможно образование точки росы.

При замене верхнего ряда забутовки выше уровня покрытия на теплоизоляционный кирпич ПСКМ температура поверхности угла помещения увеличивается до 14.26 °С (табл. 6, вариант 2). При этом теплотери по наружному контуру снижаются на 20.91 % (табл. 7).

Таблица 7. Теплотехнические характеристики по наружному контуру ($T_n = -35$ °С)

Модель (узел)	Тепловой поток, Вт	Соотношение, %	Экономия тепла, %	Средняя температура поверхности T_s , °С
Вариант 1	53.33	100	–	–34.46
Вариант 2	42.18	79.09	20.91	–34.59

Заклучение

Таким образом, при разработке конструктивных решений ограждающих конструкций снижение теплотери может достигать 20 % и более только за счет устранения мостиков холода, что наглядно демонстрирует программа Elcut. Выяснено, что замена нижнего ряда массива стены кирпичом ПСКМ повышает энергоэффективность цокольного узла с точки зрения устранения мостика холода в направлении помещение–подвал на 16.05 %. Однако для повышения энергоэффективности по наружному контуру узла требуется заведение теплоизоляционного слоя стены подвала на высоту выше уровня торца плиты перекрытия, что позволяет сократить общие теплотери на 19.65 %.

При замене верхнего ряда массива стены выше уровня покрытия на теплоизоляционный кирпич ПСКМ теплотери по наружному контуру снижаются на 20.91 %, что также свидетельствует о высокой эффективности применения ПСКМ.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что предлагаемые конструктивные решения позволяют обеспечить условия комфортного проживания в гражданских зданиях. Рациональный выбор вида теплоизоляционного материала и способа его применения не только снижает теплотери и повышает тепловой комфорт помещения, но и увеличивает срок службы ограждающей конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15–48–04378 р_сибирь_а.

Литература

1. Карауш С.А., Лысак И.А., Анисимов М.В. Математическое моделирование теплового состояния подвального помещения // Вестник ТГАСУ. 2006. №2. С. 133–141.
2. Лысак И. А. Решение уравнения теплопроводности для некоторых задач стройиндустрии // Ползуновский альманах. 2011. №1. С. 41–46.
3. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий // АВОК. 2009. №1. С. 4–10.
4. Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 43–49.
5. Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // Energy

References

1. Karaush S.A., Lysak I.A., Anisimov M.V. Matematicheskoye modelirovaniye teplovogo sostoyaniya podvalnogo pomeshcheniya [Mathematical modeling of the thermal state of the basement]. *Vestnik TSUAB*. Tomsk. 2006. No.2. Pp. 133–141. (rus)
2. Lysak I.A. Resheniye uravneniya teploprovodnosti dlya nekotorykh zadach stroyindustrii [The solution of the heat equation for some problems in the construction industry]. *Polzunovsky almanac*. 2011. No.1. Pp. 41–46. (rus)
3. Malyavina Ye.G. Stroitel'naya teplofizika i problemy uteplyeniya sovremennykh zdaniy [Building Thermophysics and problems of insulation of modern buildings]. *AVOK*. 2009. No.1. Pp. 4–10. (rus)
4. Korniyenko S.V. Kompleksnaya otsenka teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy obolochki zdaniya [Comprehensive assessment of thermal protection of enclosing structures of the building envelop]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.7. Pp. 43–49. (rus)

Portnyagin D.V. Improving the thermal performance of the building envelopes with the use of foam glass-ceramics

- and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp. 196–203.
6. Румянцев Б.М., Жуков А.Д., Смирнова Т.В. Энергетическая эффективность и методология создания теплоизоляционных материалов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 4(35). Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>.
 7. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3 (30). С. 7–37.
 8. Крайнов Д.В., Сафин И.Ш., Любимцев А.С. Расчет дополнительных тепловых потерь через теплопроводные включения ограждающих конструкций (на примере узла оконного откоса) // Инженерно-строительный журнал. 2010. №6(16). С. 17–22.
 9. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Крышов С.И., Пономарев О.И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // АВОК. 2009. №5. С. 46–60.
 10. Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Портнягин Д.Г. Применение поризованных материалов в конструкциях теплоизоляции // Строительные материалы. 2010. №2. С. 25–26.
 11. Портнягин Д.Г., Селиванов Ю.В., Селиванов В.М., Шильцина А.Д. Составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8. С. 25–28.
 12. Блажнова О.В., Портнягин Д.Г., Селиванов Ю.В. Оценка возможности применения высококальциевого шлака ТЭЦ для получения пеностеклокристаллических материалов по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. №6. С. 103–107.
 13. Портнягин Д.Г., Селиванов Ю.В., Селиванов В.М. Возможности получения закристаллизованного пеностекла // Материалы международ. науч. техн. конф. «Инновационные методы в архитектуре и градостроительстве». Саратов, 2009. С. 95–97.
 14. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2014. №8(52). С. 38–48.
 15. Корниенко С.В. Многофакторная оценка теплового режима в элементах оболочки здания // Инженерно-строительный журнал. 2014. №8(52). С. 25–37.
 16. Hugo H. Applied Building Physics. Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2011. 308 p.
 17. Trabelsi A., Belarbi R., Abahri K., Qin M. Assessment of temperature gradient effects on moisture transfer through thermogradient coefficient. Building Simulation. 2012. №3. Pp. 107–115.
 18. Ruut P. Moisture Dynamics in Building Envelopes. PhD Thesis Report R-071. 2003. 239 p.
 19. Janssen H. A comment to "Assessment of temperature gradient effects on moisture transfer through thermogradient coefficient" // Building Simulation. 2013. №6. Pp. 103–108.
 20. Janssen H. Thermal Diffusion of Water Vapour in Porous Materials: a Critical Review. International Conference on Durability of Building Materials and Components [Online resource]. Porto, Portugal, April 12–15, 2011. URL: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22318.pdf>. (accessed: January 28, 2015).
 21. Балмасов Г.Ф., Скворцов А.Е., Мешков П.И. Теплоизоляционные штукатурки с пеностеклом // Строительные материалы. 2009. №1. С. 32–34.
 5. Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp. 196–203.
 6. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D., Smirnova T.V. Energeticheskaya effektivnost i metodologiya sozdaniya teploizolyatsionnykh materialov [Energy efficiency and methodology for the creation of thermal insulation materials]. Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2014. No.4(35) (rus)
 7. Gorshkov A.S., Livchak V.I. Istoriya, evolyutsiya i razvitiye normativnykh trebovaniy k ograzhdayushchim konstruksiyam [History, evolution and development of regulatory requirements for protecting designs] Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 3(30). Pp. 7–37. (rus)
 8. Kraynov D.V., Safin I.Sh., Lyubimtsev A.S. Raschet dopolnitelnykh teplopoter cherez teploprovodnyye vklyucheniya ograzhdayushchikh konstruksiy [Calculation of additional heat loss through heat-conducting inclusions walling]. Magazine of Civil Engineering. 2010. No.6. Pp. 17–22. (rus)
 9. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Kryshov S.I., Ponomarev O.I. Teplozashchita naruzhnykh sten zdaniy s oblitovkoy iz kirpichnoy kladki [Thermal protection of external walls of buildings with brick lining]. AVOK. 2009. No.5. Pp. 46–60. (rus)
 10. Selivanov Yu.V., Shil'tsina A.D., Selivanov V.M., Loginova E.V., Portnyagin D.G. Primeniye porizovannykh materialov v konstruksiyakh teploizolyatsii [The use of porous materials in structures insulation]. Stroitel'nye Materialy. 2010. No. 2. Pp. 25–26. (rus)
 11. Portnyagin D.G., Selivanov Yu.V., Selivanov V.M., Shil'tsina A.D. Sostavy i svoystva penosteklokristallicheskih materialov iz kompozitsiy stekloboya i vysokokaltsiyevogo shlaka [The compositions and properties of foam glass-crystalline materials from compounds of broken glass and high calcium slag]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No.8. Pp. 25–28. (rus)
 12. Blazhnova O.V., Portnyagin D.G., Selivanov Yu.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya vysokokaltsiyevogo shlaka TETs dlya polucheniya penosteklokristallicheskih materialov po energoeffektivnoy tekhnologii nizkotemperaturnogo obzhiga [The assessment of the feasibility of a high calcium slag to obtain foam glass-crystalline materials by power efficient technology of low-temperature firing]. Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2011. No.6. Pp. 103–107. (rus)
 13. Portnyagin D.G., Selivanov Yu.V., Selivanov V.M. Vozmozhnosti polucheniya zakristallizovannogo penostekla [The possibility of obtaining crystallized foam glass]. Materialy mezhdunarod. nauch. tekhn. konf. «Innovatsionnyye metody v arkhitekture i gradostroitelstve». Saratov. 2009. Pp. 95–97. (rus)
 14. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Modelirovaniye protsessov nestatsionarnogo perenosa tepla v stenovykh konstruksiyakh iz gazobetonnykh blokov [Simulation of unsteady processes of heat transfer in wall structures made of concrete blocks]. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 8. Pp. 38–48. (rus)
 15. Korniyenko S.V. Mnogofaktornaya otsenka teplovogo rezhima v elementakh obolochki zdaniya [Multifactorial evaluation of the thermal mode in shell elements of the building]. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 8. Pp. 25–37. (rus)
 16. Hugo H. Applied Building Physics. Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2011. 308 p.
 17. Trabelsi A., Belarbi R., Abahri K., Qin M. Assessment of temperature gradient effects on moisture transfer through thermogradient coefficient. Building Simulation. 2012. No. 3. Pp. 107–115.

Портнягин Д.В. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала

22. Белаш Т.А., Кузнецов А.В. Теплотехнические качества монолитных жилых зданий // Жилищное строительство. 2009. №9. С. 22–24.
23. Кузнецов А.В. Исследования по повышению теплотехнических качеств железобетонных плит перекрытий в монолитно-каркасных домах // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. Вып. 4 (29). С. 120–127.
24. Блажко В.П. Наружные многослойные стены с облицовкой из кирпича в монолитных зданиях // Жилищное строительство. 2009. №8. С. 6–7.
25. Лившиц Д.В., Павлова М.О., Простяков А.В. Технология современного строительства последнего десятилетия. Проблемы и решения конструкций зданий с многослойными наружными стенами // Технологии строительства. 2009. №1. С. 24–27.
26. Давидюк А.А. Анализ результатов обследования многослойных наружных стен многоэтажных каркасных зданий // Жилищное строительство. 2010. №6. С. 21–26.
27. Motuziene V., Valancius K., Rynkun G. Complex Analysis of Energy Efficiency of public buildings: case study of VGTU // Инженерно-строительный журнал. 2012. №2(28). С. 9–17.
28. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 – uncertainty of thermal measurements // Journal of Building Physics. 2011. Vol. 35. Pp. 83–96.
29. Miranville F., Fakra A. H., Gnichard S., Boyer H., Praene P., Bigot D. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements // Energy and Buildings. 2012. Vol. 48. Pp. 79–90.
30. Maref W., Bossche N. Van Den, Armstrong M., Lacasse M. A., Elmahdy H., Glazer R. Condensation risk assessment on box windows: the effect of the window-wall interface // Journal of Building Physics. 2012. Vol. 36. Pp. 35–56.
31. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. №1. Pp. 219–223.
18. Ruut P. *Moisture Dynamics in Building Envelopes*. PhD Thesis Report R-071. 2003. 239 p.
19. Janssen H. A comment to "Assessment of temperature gradient effects on moisture transfer through thermogradient coefficient". *Building Simulation*. 2013. No. 6. Pp. 103–108.
20. Janssen H. *Thermal Diffusion of Water Vapour in Porous Materials: a Critical Review. International Conference on Durability of Building Materials and Components* [Online resource]. Porto, Portugal, April 12-15, 2011. URL: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22318.pdf>. (accessed: January 28, 2015).
21. Balmasov G.F., Skvortsov A.E., Meshkov P.I. Teploizolyatsionnyye shtukaturki s penosteklom [Insulating plaster with foam glass]. *Stroitel'nye Materialy*. 2009. No. 1. Pp. 32–34. (rus)
22. Belash T.A., Kuznetsov A.V. Teploekhnicheskkiye kachestva monolitnykh zhilykh zdaniy [Thermal quality of monolithic residential buildings]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2009. No. 9. Pp. 22–24. (rus)
23. Kuznetsov A.V. Issledovaniya po povysheniyu teploekhnicheskikh kachestv zhelezobetonnykh plit perekrytiy v monolitno-karkasnykh domakh [Research on improving the thermal properties of concrete panels in frame-monolithic building]. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2011. Vol. 4 (29). Pp. 120–127. (rus)
24. Blazhko V.P. Naruzhnyye mnogoslouynnye steny s oblitsovkoj iz kirpicha v monolitnykh zdaniyakh [Exterior walls are clad with veneer brick in the monolithic buildings]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2009. No. 8. Pp. 6–7. (rus)
25. Livshits D.V., Pavlova M.O., Prostyakov A.V. Tekhnologiya sovremennogo stroitelstva poslednego desyatletiya. Problemy i resheniya konstruktсий zdaniy s mnogoslouynnymi naruzhnymi stenami [The technology of modern construction of the last decade. Problems and solutions designs of buildings with multi-layered exterior walls]. *Tekhnologii stroitelstva*. 2009. No. 1. Pp. 24–27. (rus)
26. Davidyuk A.A. Analiz rezultatov obsledovaniya mnogoslouynnykh naruzhnykh sten mnogoetazhnykh karkasnykh zdaniy [The analysis of the survey multi-layer external walls of multi-storey frame buildings]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2010. No. 6. Pp. 21–26. (rus)
27. Motuziene V., Valancius K., Rynkun G. Complex Analysis of Energy Efficiency of public buildings: case study of VGTU. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 2. Pp. 9–17.
28. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 - uncertainty of thermal measurements. *Journal of Building Physics*. 2011. Vol. 35. Pp. 83–96.
29. Miranville F., Fakra A. H., Gnichard S., Boyer H., Praene P., Bigot D. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 48. Pp. 79–90.
30. Maref W., Bossche N. Van Den, Armstrong M., Lacasse M.A., Elmahdy H., Glazer R. Condensation risk assessment on box windows: the effect of the window-wall interface. *Journal of Building Physics*. 2012. Vol. 36. Pp. 35–56.
31. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. No 1. Pp. 219–223.

Денис Геннадьевич Портнягин,
+7(923)2181812; эл. почта: my4455@yandex.ru

Denis Portnyagin,
+7(923)2181812; my4455@yandex.ru

© Портнягин Д.Г., 2015