

Academia. Архитектура и строительство, № 3, стр. 137–144.

Academia. Architecture and Construction, no. 3, pp. 137–144.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 69.05:693.2

DOI: 10.22337/2077-9038-2024-3-137-144

## Оценка теплозащитных свойств наружных стен из полистиролбетонных блоков каркасно-монолитного здания

**Корнилов Терентий Афанасьевич** (Якутск). Доктор технических наук, доцент, действительный член Академии наук Республики Саха (Якутия). Кафедра «Проектирование, строительство и технологии» Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Россия, Якутск, ул. Белинского, 58. СВФУ). Эл. почта: kornt@mail.ru

**Эверстова Варвара Николаевна** (Якутск). Кафедра «Проектирование, строительство и технологии» Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Россия, Якутск, ул. Белинского, 58. СВФУ). Эл. почта: varvaratim98@mail.ru

*Аннотация.* При строительстве многоэтажных зданий широко применяется технология каркасного домостроения из монолитных железобетонных конструкций. Рассмотрена возможность применения однослойных наружных стен из полистиролбетонных блоков (ПСБ-блоков) в каркасно-монолитных зданиях при экстремальных условиях Севера. Выполнен теплотехнический анализ с применением ПК HEAT 3 трёх различных фрагментов ограждающих конструкций с теплопроводными включениями при расчётной температуре наружного воздуха в условиях строительства в городе Якутске и определены их теплотехнические характеристики. Установлено, что в угловых участках примыкания наружных стен из ПСБ-блоков к железобетонной плите перекрытия минимальная температура на внутренней поверхности ниже температуры точки росы. В результате натурных обследований эксплуатируемого здания выявлена инфильтрация воздуха на горизонтальных участках примыкания кладки из ПСБ-блоков к нижней поверхности железобетонной плиты перекрытия. Предложено конструктивное решение, улучшающее тепловую защиту на угловом участке примыкания наружной стены к плите перекрытия.

*Ключевые слова:* экстремальные климатические условия, энергоэффективность, каркасно-монолитные здания, ограждающие конструкции, полистиролбетонные блоки, термический мост, теплотехнические характеристики, термический разрыв

*Финансирование.* Статья подготовлена в рамках исследований по технологическому проекту № 6 НОЦ «Север»: «Устойчивость и безопасность зданий, инженерных сооружений и арктических поселений. Разработка научно-обоснованных решений в проектировании, строительстве, эксплуатации и новых материалов на Севере».

*Для цитирования.* Корнилов Т.А., Эверстова В.Н. Оценка теплозащитных свойств наружных стен из полистиролбетонных блоков каркасно-монолитного здания // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 3. – С. 137–144. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-3-137-144.

## Assessment of the Thermal Insulation Properties of Exterior Walls Made of Polystyrene Concrete Blocks in a Frame-Monolithic Building

**Kornilov Terentii Afanasyevich** (Yakutsk). Doctor of Technical Sciences, Docent, Full Member of the Academy of Sciences of Republic Sakha (Yakutia). Department of "Design, Construction, and Technologies" at North-Eastern Federal University named by M.K. Ammosov (Russia, Yakutsk, Belinskogo st., 58 NEFU). E-mail: kornt@mail.ru

**Everestova Varvara Nikolaevna** (Yakutsk). Department of "Design, Construction, and Technologies" at North-Eastern Federal University named by M.K. Ammosov (Russia, Yakutsk, Belinskogo st., 58 NEFU). E-mail: varvaratim98@mail.ru

*Abstract.* When constructing multi-storey buildings, the technology of frame housing construction using monolithic reinforced concrete structures is widely applied. The possibility of using single-layer exterior walls made of polystyrene concrete blocks (PCB-blocks) in frame-monolithic buildings under the extreme conditions of the North is considered. A thermal analysis was performed using the HEAT 3 software on three different segments of enclosing structures with thermal conductive inclusions at the design outdoor temperature under construction conditions in the city of Yakutsk. Their thermal characteristics were determined. It was established that in the corner sections of exterior walls made of PCB-blocks with a reinforced concrete floor slab, the minimum temperature on the inner surface is below the dew point temperature. Field surveys of an operational building revealed air infiltration at the horizontal junctions where the PCB-block masonry adjoins the lower surface of the reinforced concrete floor slab. A structural solution has been proposed to improve thermal insulation at the junction of the exterior wall and the floor slab.

*Keywords:* Extreme climate conditions, energy efficiency, frame-monolithic buildings, enclosing structures, polystyrene concrete blocks, thermal bridge, thermal characteristics, thermal break

*Funding:* The article was prepared as part of research under technological project No. 6 of the North Research Center (NRC): "Sustainability and Safety of Buildings, Engineering Structures, and Arctic Settlements. Development of scientifically grounded solutions in design, construction, operation, and new materials in the North."

*For citation:* Kornilov T.A., Everestova V.N. Assessment of the Thermal Insulation Properties of Exterior Walls Made of Polystyrene Concrete Blocks in a Frame-Monolithic Building // *Academia. Architecture and Construction*, 2024, no. 3, pp. 137–144, doi: 10.22337/2077-9038-2024-3-137-144.

С начала 2000-х годов в результате реализации государственных программных мероприятий Россия значительно улучшила позицию в мировом рейтинге стран по реализации политики энергоэффективности [1]. Наиболее используемой пассивной технологией при проектировании энергоэффективных зданий является обеспечение высокого уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций и неразрывности теплозащитной оболочки зданий. В нормативных документах развитых стран принят различный уровень требуемых значений термического сопротивления ограждающих конструкций зданий, который определён экономическими критериями [2]. В России ввиду большой территории с разными природно-климатическими условиями базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»<sup>1</sup> имеют широкий диапазон. Для северных районов Российской Федерации выбор уровня теплозащиты зданий в [3] предлагается осуществлять на основе экономических расчётов с учётом всех финансовых составляющих капитальных и эксплуатационных затрат. Действительно, для северных и арктических районов при высокой стоимости тепловой энергии обеспечение высокого уровня энергосбережения зданий имеет особую актуальность [4].

Во всём мире при строительстве многоэтажных зданий широко применяется технология каркасного домостроения из монолитных железобетонных конструкций. Для обеспечения тепловой защиты каркасно-монолитных зданий в зависимости от климатического района строительства используются, в основном, два типа наружной стены: двухслойная из бетон-

ных блоков с наружной теплоизоляцией из минераловатных плит и вентилируемым фасадом или однослойная из лёгких блоков, например, газобетонных. В зданиях с железобетонным каркасом имеются термические мосты на участках расположения выступающих частей перекрытий [5] и цокольной части при строительстве зданий на свайных фундаментах [6].

Для снижения влияния термических мостов в конструкциях зданий используются, как правило, термические разрывы из теплоизоляционных и конструкционных материалов [7]. Для снижения влияния балконной плиты наиболее часто применяется продольная перфорация с термическим вкладышем из пенополистирольной плиты в железобетонном перекрытии. В статье [8] приведены результаты оценки теплозащитных качеств наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами с перфорацией в зависимости от толщины железобетонного перекрытия, размеров перфорации и стены.

В развитых странах на участках выступающих частей железобетонных перекрытий используются специальные несущие элементы, создающие термические разрывы. В России также были проведены теплотехнические исследования участка балконной плиты и монолитной наружной стены при установке несущих теплоизоляционных элементов Schöck (Германия) [9; 10]. В результате численных экспериментов в Южной Корее установлено, что наиболее хорошие теплотехнические характеристики имеют фрагменты балконной плиты с терморазрывным элементом TB-GFRP – арматуры из стекловолокна при наружной теплоизоляции стены и напольной системе отопления [11]. В статье [12] выполнена оценка тепловых потерь трёхэтажного здания и установлено их снижение в целом на 4,5% при применении терморазрывных элементов вдоль длинной стороны балконных плит. В другой работе [13]

<sup>1</sup> <https://docs.cntd.ru/document/1200095525>

на основе численных расчётов определены теплотехнические характеристики балконных плит различного конструктивного решения и показана эффективность применения терморазрывных элементов.

При применении однослойных наружных стен теплотехнические неоднородности имеются на участках расположения колонн каркаса. Например, в холодных регионах Китая предлагается частичная теплоизоляция колонн с помощью газобетонных блоков. В [14] приведены результаты численных исследований и натурного эксперимента L-образных и T-образных форм сопряжения наружных стен из газобетонных блоков. Установлена эффективность дополнительной теплоизоляции наружной поверхности колонн с помощью пенополистирольной плиты (EPS plate) [15].

В настоящее время в Якутске строятся 9-16-этажные дома с монолитным железобетонным каркасом на свайных фундаментах. В большинстве объектов в качестве наружных стен применяется двухслойная конструкция, состоящая из основы – каменной кладки из бетонных блоков и наружной теплоизоляции из минераловатных плит. В некоторых случаях, несмотря на высокое значение требуемого сопротивления теплопередачи наружной стены жилых зданий (для Якутска – 5,07 (м<sup>2</sup>·°C)/Вт согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий») применяется однослойная стена из полистиролбетонных блоков (ПСБ-блоков). На исследуемом объекте, начиная со второго этажа, использованы полистиролбетонные блоки марки D400 толщиной 600 мм. Лабораторные исследования теплопроводности образцов из ПСБ-блоков с помощью прибора ИТП-МГ4 «100» показали, что среднее значение коэффициента теплопроводности составляет  $\lambda = 0,113$  Вт/(м·°C) при плотности 380 кг/м<sup>3</sup> в сухом состоянии (влажность 17,6%).

По аналогии с конструктивными решениями, приведёнными в СП 434-1325800-2018 «Конструкции ограждающие из полистиролбетона. Правила проектирования»<sup>2</sup>, в проекте здания на железобетонных плитах перекрытий толщиной 200 мм выполнена кладка из ПСБ-блоков с уступом на 150 мм и со стороны торца железобетонных плит по периметру каждого этажа предусмотрена теплоизоляция из минераловатных плит плотностью 100 кг/м<sup>3</sup> (рис. 1).

Для оценки тепловой защиты рассматриваемого многоэтажного дома проведены тепловизионные обследования в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54852-2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций»<sup>3</sup> при температуре наружного воздуха минус  $t_{н} = -45,7$  °C. Теплотехнический анализ сопряжений наружных стен выполнен с использованием сертифицированной программы HEAT 3 при расчётной температуре наружного воздуха  $t_{н} = -52,0$  °C, определённой для города Якутска по СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\* Строи-

тельная климатология»<sup>4</sup> с обеспеченностью 0,92 и расчётной температуре внутреннего воздуха  $t_{в} = +21,0$  °C. Характеристики ограждающих конструкций: коэффициент теплопроводности  $\lambda = 1,92$  Вт/(м·°C) для железобетонных конструкций;  $\lambda = 0,12$  Вт/(м·°C) для ПСБ-блоков;  $\lambda = 0,76$  Вт/(м·°C) для штукатурки из цементно-песчаного раствора, стяжки пола и шва между блоками;  $\lambda = 0,04$  Вт/(м·°C) для минераловатных плит плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>. Ниже рассмотрены характерные фрагменты наружных стен из ПСБ-блоков на участках ограждающих конструкций с теплопроводными включениями.

Наружная стена из ПСБ-блоков. В ходе натурных обследований здания установлено, что разница между фактической температурой внутренней поверхности стен и воздуха соответствует нормируемому температурному перепаду для наружных стен – не более  $\Delta t_{н} = 4,0$  °C. Условное сопротивление теплопередаче наружной стены из ПСБ-блоков по глади составляет  $R_{0} = 5,22$  (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Кладка из ПСБ-блоков выполнена с использованием клея «Геркулес» с толщиной швов между блоками 3 мм. Поэтому отдельно выполнен теплотехнический расчёт наружной стены из ПСБ-блоков с учётом швов. В результате приведённое сопротивление теплопередаче наружной стены из ПСБ-блоков с учётом швов составило  $R_{0}^{шп} = 4,81$  м<sup>2</sup>·°C/Вт. Коэффициент теплотехнической однородности для плоской стены с учётом швов получен равным  $r = 0,92$ . Минимальная температура на внутренней поверхности стены равна  $t_{мин} = +18,8$  °C. Таким образом, швы между блоками при небольшой их толщине влияют на теплозащитные свойства наружной стены из ПСБ-блоков и в дальнейших расчётах все фрагменты ограждающих конструкций рассмотрены со швами.

В результате расчёта распределения парциального давления водяного пара по толще конструкции однослойного ограждения из ПСБ-блоков установлено, что в конструкции ограждения ближе к наружной поверхности стены возможно выпадение конденсата. Следует отметить, что в ходе обследований были установлены участки отслоения ПСБ-блоков друг от друга вследствие нарушения технологии производства работ – выполнения кладки в холодный период года.

Наружная стена из ПСБ-блоков с колонной. Колонны использованы сечением 200×800 мм. На участках расположения железобетонных колонн применены ПСБ-блоки толщиной 400

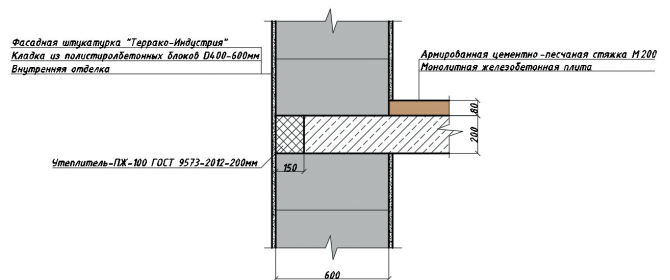


Рис. 1. Проектное решение узла примыкания наружной стены из ПСБ-блоков к междуэтажному перекрытию. Составлено авторами согласно проекту

<sup>2</sup> <https://docs.cntd.ru/document/554816800>

<sup>3</sup> <https://vsegost.com/Catalog/51/51454.shtml>

<sup>4</sup> <https://docs.cntd.ru/document/573659358>

мм. На рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции вследствие высокой теплопроводности железобетона тепловой поток более интенсивно проходит через колонну, что хорошо видно на рисунке 2. Соответственно линия с нулевой температурой смещается наружу в зоне расположения колонны. Минимальная температура, согласно теплотехническому расчёту, наблюдается на поверхности колонны и равна  $t_{\min} = +17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тепловые потери через фрагмент стены с колонной увеличиваются на 23,8%. Приведённое сопротивление теплопередаче рассматриваемого фрагмента равно  $R_{0}^{np} = 3,89 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , соответственно коэффициент теплотехнической однородности –  $r = 0,75$ .

Натурные обследования показали, что средняя температура на внутренней поверхности колонн фактически не отличается от температуры на поверхности стен из ПСБ-блоков. В основном небольшая инфильтрация воздуха наблюдается в горизонтальном стыке кладки из ПСБ-блоков с междуэтажным перекрытием (рис. 3).

Рядовой участок примыкания наружной стены из ПСБ-блоков к междуэтажному перекрытию. Теплотехнический анализ показал эффективность принятой в проекте теплоизоляции торца междуэтажных железобетонных плит. Минимальная температура, согласно расчёту, наблюдается в углу между перекрытием и стеной и равна  $t_{\min} = +16,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , что выше температуры точки росы  $t_p = +10,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . На этом участке тепловой поток проходит через плиту, и линия с нулевой тем-

пературой смещается наружу. Приведённое сопротивление теплопередаче рассматриваемого фрагмента равно  $R_{0}^{np} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Соответственно, коэффициент теплотехнической однородности  $r = 0,77$ .

В случае наличия колонны в этом фрагменте ограждающей конструкции минимальная температура на внутренней поверхности в углу между колонной и стеной в небольшой степени повышается и составляет  $t_{\min} = +16,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это объясняется направлением теплового потока через колонну рассматриваемого фрагмента. При этом несколько снижается приведённое сопротивление теплопередаче рассматриваемого фрагмента  $R_{0}^{np} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Соответственно коэффициент теплотехнической однородности  $r = 0,67$  (рис. 4).

В ходе натурных обследований была выявлена инфильтрация воздуха через участки примыкания кладки стены к нижней поверхности междуэтажного перекрытия (рис. 5). Основная причина нарушения тепловой защиты – некачественное выполнение швов в последнем ряду кладки из ПСБ-блоков. Такая проблема наблюдается и на других объектах с наружными стенами из обычных бетонных блоков.

Угловой участок примыкания наружной стены из ПСБ-блоков к междуэтажному перекрытию. При наличии колонны на рассматриваемом угловом участке минимальная температура на внутренней поверхности наблюдается в углу между двумя стенами и перекрытием и равна  $t_{\min} = +10,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , что немного выше температуры точки росы  $t_p = +10,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Из

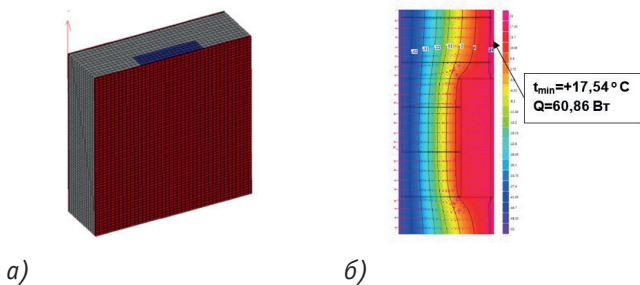


Рис. 2. Результаты теплотехнического расчёта наружной стены с колонной: а) расчётная модель; б) направления теплового потока и температурное поле в горизонтальном разрезе. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

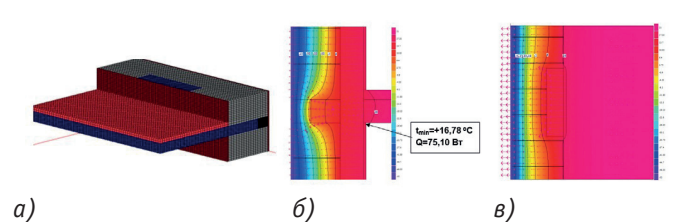


Рис. 4. Результаты теплотехнического расчёта рядового участка примыкания наружной стены к междуэтажному перекрытию: а) расчётная модель; б) температурное поле в вертикальном разрезе по середине колонны; в) направление теплового потока в горизонтальном разрезе по полу. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

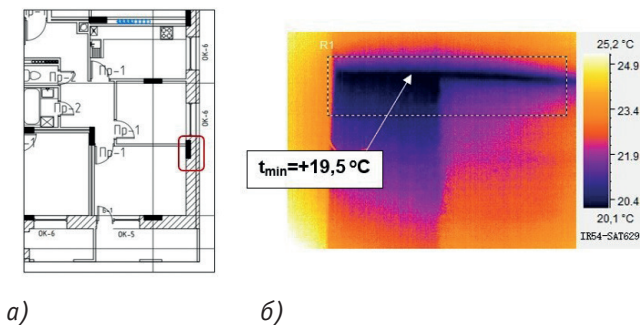


Рис. 3. План этажа здания (а) и термограмма участка примыкания стены с колонной к перекрытию (б) при  $t_b = +20,8 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_n = -45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Составлено авторами по результатам тепловизионных обследований

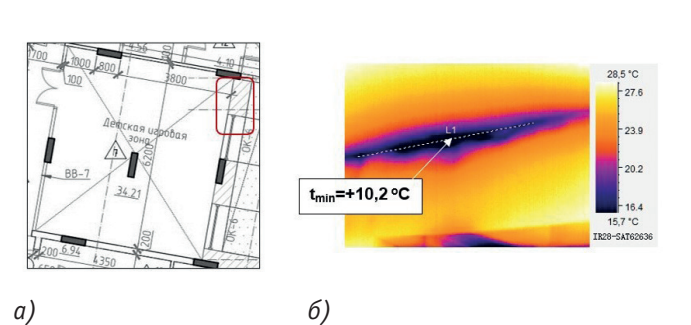


Рис. 5. План этажа здания (а) и термограмма участка примыкания стены к перекрытию (б) при  $t_b = +20,8 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_n = -45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Составлено авторами по результатам тепловизионных обследований

температурного поля в горизонтальном разрезе по нижней поверхности плиты на рисунке 6 (в) хорошо видно, что тепловой поток проходит через колонну прямоугольного сечения и благоприятно действует на распределение температуры. Потери теплоты через угловой участок примыкания стены к плите перекрытия с колонной составили  $Q = 162,58$  Вт. Приведённое сопротивление теплопередаче рассматриваемого фрагмента  $R_0^{np} = 3,23$  м<sup>2</sup>·°С/Вт. Для определения коэффициента теплотехнической однородности отдельно выполнен расчёт углового участка стены, состоящего только из ПСБ-блоков без учёта швов, и определено приведённое сопротивление теплопередаче данного участка  $R_0^{np} = 4,80$  м<sup>2</sup>·°С/Вт. В результате коэффициент теплотехнической однородности для углового участка наружной стены из ПСБ-блоков с междуэтажным перекрытием и колонной получился равным  $r = 0,67$ .

При отсутствии колонны в угловом участке примыкания наружной стены к плите перекрытия распределение температуры внутри углового участка изменяется в худшую сторону. Линия с нулевой температурой располагается ближе к внутреннему углу двух смежных стен на расстоянии всего 60 мм. Минимальная температура на внутренней поверхности наблюдается в углу между двумя стенами и перекрытием и равна  $t_{min} = +8,0$  °С, что значительно ниже температуры точки росы. Во время натурных обследований также была подтверждена низкая температура на внутренней поверхности угловых участков стены с перекрытиями (рис. 7). При этом приведённое сопротивление теплопередаче рассматриваемого

фрагмента имеет большее значение  $R_0^{np} = 3,59$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, чем у углового участка стены с колонной. Соответственно потери теплоты снижаются на 9,87% по сравнению с угловым участком стены с колонной и перекрытием. Минимальная температура на внутренней поверхности в углу между двумя стенами на расстоянии 604 мм от плиты перекрытия равна  $t_{min} = +15,5$  °С, что выше температуры точки росы.

Таким образом, из всех рассмотренных фрагментов ограждающих конструкций с применением ПСБ-блоков каркасно-монолитного здания только угловой участок примыкания наружной стены к плите перекрытия не отвечает нормативным требованиям по тепловой защите зданий. Для улучшения теплозащитных свойств узлов примыкания наружных стен из ПСБ-блоков к междуэтажному перекрытию в угловых участках рассмотрены следующие конструктивные решения:

- применение полезной модели RU 193385 U1 «Узел наружной ограждающей конструкции и монолитной междуэтажной плиты перекрытия» [16]: при таком решении последний на этаже ряд кладки выполняется заподлицо к плите перекрытия следующего этажа, и торец плиты с последним рядом кладки утепляется снаружи минплитой (рис. 8 а);
- угловая перфорация в плите перекрытия;
- сочетание двух вышеуказанных решений (рис. 9 а).

В первом конструктивном решении минимальная температура на внутренней поверхности углового участка примыкания наружной стены к междуэтажному перекрытию равна  $t_{min} = +8,8$  °С, что ниже температуры точки росы (рис. 8 в).

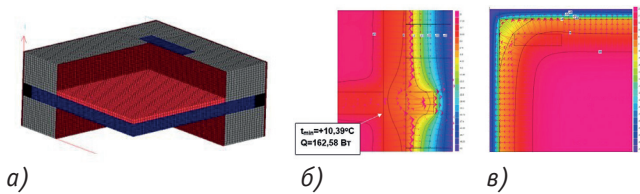


Рис. 6. Результаты теплотехнического расчёта углового участка примыкания наружной стены к междуэтажному перекрытию при наличии колонны: а) расчётная модель; б) температурное поле в вертикальном разрезе по внутренней плоскости стены слева; в) направления теплового потока в горизонтальном разрезе по нижней плоскости плиты. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

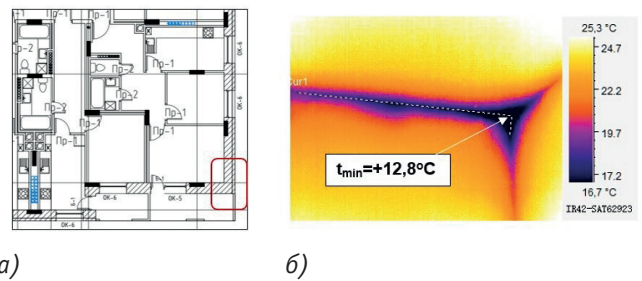


Рис. 7. План этажа здания (а) и термограмма участка примыкания стены к перекрытию (б) при  $t_b = +20,8$  °С и  $t_n = -45$  °С. Составлено авторами по результатам тепловизионных обследований

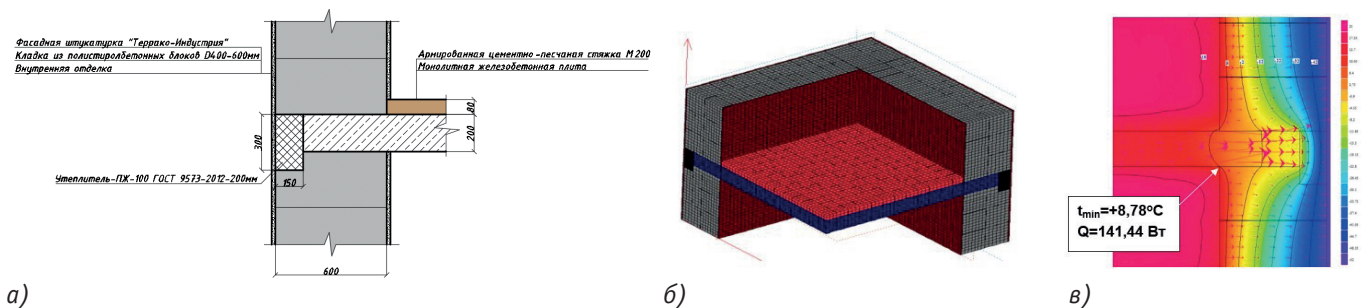


Рис. 8. Результаты теплотехнического расчёта углового участка примыкания наружной стены к междуэтажному перекрытию при широкой теплоизоляции торца плиты: а) конструкция узла; б) расчётная модель; в) температурное поле в вертикальном разрезе по внутренней плоскости стены. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

Применение перфорации в плите перекрытия с термо-кладышем из пенополистирола весьма улучшает теплотехнические качества углового участка наружной стены. Зона с положительной температурой в угловой части плиты начинается от середины перфорации, что хорошо видно на рисунке 9 (г). Минимальная температура на внутренней поверхности равна  $t_{min} = +10,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , что выше температуры точки росы. При использовании дополнительно к перфорации плиты широкой теплоизоляции торца плиты минимальная температура на внутренней поверхности повышается до  $t_{min} = +11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Другие теплотехнические показатели конструктивного решения с угловой перфорацией плиты и наружной теплоизоляцией торца плиты и верхнего ряда кладки лучше, чем предыдущие решения (табл. 1).

\*\*\*

В результате натурных обследований эксплуатируемого здания с монолитным железобетонным каркасом и теплотехнического анализа фрагментов ограждающих конструкций из ПСБ-блоков установлено следующее:

1. Однослойная стена из ПСБ-блоков, в целом, может быть применена в качестве наружных стен в каркасно-монолитных зданиях в экстремальных условиях Якутска.
2. Рассмотренные фрагменты ограждающих конструкций с проектными решениями узлов отвечают нормативным требованиям по тепловой защите, кроме углового участка примыкания наружной стены к междуэтажному железобетонному перекрытию, где минимальная температура на внутренней поверхности ниже температуры точки росы.

3. В результате натурных обследований выявлена ин-фильтрация воздуха на горизонтальных участках примыкания кладки из ПСБ-блоков к нижней поверхности междуэтажных перекрытий из-за наличия неплотностей в швах. Для устранения данного факта предложено последний на этаже ряд кладки из ПСБ-блоков выполнять заподлицо к плите перекрытия следующего этажа и утеплять торец плиты минплитой шириной 300 мм.

4. Теплотехнический анализ различных конструктивных решений углового участка примыкания стены к плите перекрытия показал, что наиболее эффективным и отвечающим нормативным требованиям решением является угловая перфорация плиты перекрытия с широкой теплоизоляцией торца.

Список источников

1. Лучший европейский опыт внедрения энергосберегающих технологий в жилищном фонде Российской Федерации / С.Г. Шеина, Н.П. Умнякова, П.В. Федяева, Е.Н. Миненко. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-29-34>. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 6. – С. 29–34.
2. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Н.И. Ватин, Д.В. Немова, П.П. Рымкевич, А.С. Горшков, – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8 (34). – С. 4–14.
3. *Малявина, Е.Г.* Выбор экономически целесообразной теплозащиты зданий на Севере РФ / Е.Г. Малявина, А.А. Фролова. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-72>

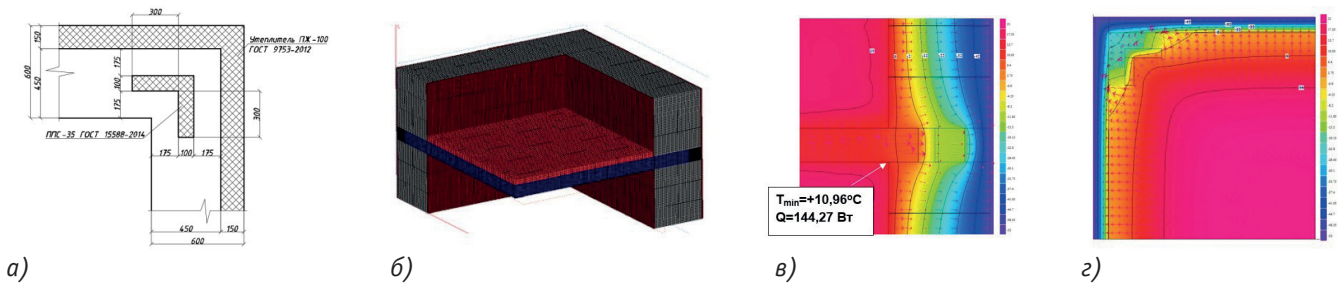


Рис. 9. Результаты теплотехнического расчёта углового участка примыкания наружной стены к междуэтажному перекрытию с перфорацией и теплоизоляцией торца: а) конструкция узла; б) расчётная модель; в) температурное поле в вертикальном разрезе по внутренней плоскости стены; г) направления теплового потока в горизонтальном разрезе по середине толщины плиты. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

Таблица 1. Сравнение различных конструктивных решений угловых участков примыкания наружной стены к плите перекрытия

Конструктивное решение	Минимальная температура на внутренней поверхности, °C	Потери теплоты, Вт	Приведённое сопротивление углового участка, м <sup>2</sup> ·°C/Вт
Типовое проектное решение	+8,00	146,53	3,59
Широкая теплоизоляция торца плиты	+8,8	141,44	3,72
Угловая перфорация в плите	+10,9	144,27	3,64
Угловая перфорация в плите с широкой теплоизоляцией торца	+11,5	139,45	3,77

78. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2022. – № 12. – С. 72–78.

4. Корнилов, Т.А. Архитектурно-конструктивные приёмы в проектировании энергоэффективных арктических поселений / Т.А. Корнилов, Н.Н. Алексеев. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 3. – С. 9–18.

5. Повышение энергоэффективности за счёт повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, В.Е. Черкас [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2012. – № 6. – С. 17–19.

6. Kornilov, T. Evaluation of the Effectiveness of Additional Thermal Insulation of the Basement Floor of Frame-Monolithic Buildings in Extreme Operating Conditions / Terentii Kornilov, Petr Fedotov, Aleksandr Nikiforov. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences. – 2021. – № 263. – P. 04041. – URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf\\_form2021\\_04041.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf_form2021_04041.pdf) (дата обращения 19.07.2024).

7. Alhawari, A. Thermal Bridges in Building Envelopes – An Overview of Impacts and Solutions / Alhawari Abdalhadhi, Mukhopadhyaya Phalguni. – DOI: 10.1556/1848.2018.9.1.5. – Текст : электронный // International Review of Applied Sciences and Engineering. – 2018. – № 9. – P. 31–40. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/325665252\\_Thermal\\_bridges\\_in\\_building\\_envelopes\\_-\\_An\\_overview\\_of\\_impacts\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/325665252_Thermal_bridges_in_building_envelopes_-_An_overview_of_impacts_and_solutions) (дата обращения 19.07.2024).

8. Повышение энергоэффективности за счёт повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, В.Е. Черкас [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2012. – № 6. – С. 17–19.

9. Новое конструктивное решение сопряжённых наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, К.С. Андрейцева. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 28–31.

10. Умнякова, Н.П. Инженерный метод расчёта температуры в узле сопряжения наружной стены с монолитными междуэтажными и балконными плитами при использовании несущего теплоизоляционного элемента «шеккизокорб» / Н.П. Умнякова, К.С. Андрейцева, В.А. Смирнов. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6 (50). – С. 53–63.

11. Zhang, Xinwen. Performance Evaluation of Thermal Bridge Reduction Method for Balcony in Apartment Buildings / Zhang Xinwen, Jung Gun Joo, Rhee Kyu-Nam. – DOI:10.3390/buildings12010063. – Текст : электронный // Buildings. – 2022. – № 12. – P. 63. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/357704859\\_Performance\\_Evaluation\\_of\\_Thermal\\_Bridge\\_Reduction\\_Method\\_for\\_Balcony\\_in\\_Apartment\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/357704859_Performance_Evaluation_of_Thermal_Bridge_Reduction_Method_for_Balcony_in_Apartment_Buildings) (дата обращения 19.07.2024).

12. Investigation of Thermal and Energy Performance of the Thermal Bridge Breaker for Reinforced Concrete

Residential Buildings / Kim Mi-Yeon, Kim Hyung-Geun, Kim Jin-Sung, Hong Goopyo. – Текст : электронный // Energies. 2022. – № 15. – P. 2854. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/359945028\\_Investigation\\_of\\_Thermal\\_and\\_Energy\\_Performance\\_of\\_the\\_Thermal\\_Bridge\\_Breaker\\_for\\_Reinforced\\_Concrete\\_Residential\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/359945028_Investigation_of_Thermal_and_Energy_Performance_of_the_Thermal_Bridge_Breaker_for_Reinforced_Concrete_Residential_Buildings) (дата обращения 19.07.2024).

13. Sharbaf, S.A. Thermal Performance of Balcony Thermal Bridge Solutions in Reinforced Concrete and Steel Frame Structures / Sara A. Sharbaf, K. Behrouz, R. Fayaz. – DOI: 103984. 10.1016/j.jobe.2021.103984. – Текст : электронный // Journal of Building Engineering. – 2022. – № 48. – P. 103984. URL: [https://www.researchgate.net/publication/357567287\\_Thermal\\_performance\\_of\\_balcony\\_thermal\\_bridge\\_solutions\\_in\\_reinforced\\_concrete\\_and\\_steel\\_frame\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/357567287_Thermal_performance_of_balcony_thermal_bridge_solutions_in_reinforced_concrete_and_steel_frame_structures) (дата обращения 19.07.2024).

14. Thermal Bridge Effect of Aerated Concrete Block Wall in Cold Regions. / Li Baochang, Guo Lirong, Li Yubao [и др.]. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – № 108. – P. 022041. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/322814171\\_Thermal\\_Bridge\\_Effect\\_of\\_Aerated\\_Concrete\\_Block\\_Wall\\_in\\_Cold\\_Regions](https://www.researchgate.net/publication/322814171_Thermal_Bridge_Effect_of_Aerated_Concrete_Block_Wall_in_Cold_Regions) (дата обращения 19.07.2024).

15. Partial Insulation of Aerated Concrete Wall in its Thermal Bridge Regions / Li Baochang, Guo Lirong, Li Yubao [и др.]. – DOI:10.1088/1755-1315/108/2/022068. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – № 108. – P. 022068.

16. Корнилов Т.А., Кардашевский А.Г., Кычкин И.Р. Узел наружной ограждающей конструкции и монолитной междуэтажной плиты перекрытия : Патент на полезную модель № RU 193385 U1; опубликован 28.10.2019, бюл. № 31.

#### References

1. Sheina S.G., Umnyakova N.P., Fedyaeva P.V., Minenko E.N. Luchshii evropeiskii opyt vnedreniya energosberegayushchikh tekhnologii v zhilishchnom fonde Rossiiskoi Federatsii [The Best European Experience in Implementing Energy-Saving Technologies in the Housing Stock of the Russian Federation]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2020, no. 6, pp. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-29-34>. [In Russ., abstr.in Engl.]

2. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Vliyanie urovnya teplovoi zashchity ograzhdayushchikh konstruktssii na velichinu poter' teplovoi energii v zdanii [Influence of Building Envelope Thermal Protection on Heat Loss Value in the Building]. In: *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal [Magazine of Civil Engineering]*, 2012, 8 (34), pp. 4–14. [In Russ., abstr.in Engl.]

3. Malyavina E.G., Frolova A.A. Vybor ekonomicheskoi tselesoobraznoi teplozashchity zdanii na Severe RF [The Choice of Economically Feasible Thermal Protection of Buildings in the North of the Russian Federation]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo*

[*Housing Construction*], 2022, no. 12, pp. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-72-78>. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Kornilov T.A., Alekseev N.N. Arkhitekturno-konstruktivnye priemy v proektirovanii energoeffektivnykh arkticheskikh poselenii [Architectural and Constructive Techniques in the Design of Energy-Efficient Arctic Settlements]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [*Academia. Architecture and Construction*], 2023, no. 3, pp. 9–18. (In Russ., abstr. in Engl.)

5. Umnyakova N.P., Egorova T.S., Cherkas V.E., Belogurov P.B., Andreitseva K.S. Povyshenie energoeffektivnosti za schet povysheniya teplotekhnicheskoi odnorodnosti naruzhnykh sten v zone sopryazheniya s balkonnymi plitami [Increasing Energy Efficiency by Increasing the Thermal Uniformity of External Walls in the Interface Zone with Balcony Slabs]. In: *Stroitel'nye materialy* [*Construction Materials*], 2012, no. 6, pp.17–19. (In Russ.)

6. Kornilov T. Fedotov P., Nikiforov A. Evaluation of the Effectiveness of Additional Thermal Insulation of the Basement Floor of Frame-Monolithic Buildings in Extreme Operating Conditions. In: *E3S Web of Conferences*, 2021, no. 263, P. 04041. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf\\_form2021\\_04041.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf_form2021_04041.pdf) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

7. Alhawari Abdalhadi, Mukhopadhyaya Phalguni. Thermal Bridges in Building Envelopes – An Overview of Impacts and Solutions. In: *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 2018, no. 9, pp. 31–40. DOI: 10.1556/1848.2018.9.1.5. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325665252\\_Thermal\\_bridges\\_in\\_building\\_envelopes\\_-\\_An\\_overview\\_of\\_impacts\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/325665252_Thermal_bridges_in_building_envelopes_-_An_overview_of_impacts_and_solutions) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

8. Umnyakova N.P., Egorova T.S., Cherkas V.E., Belogurov P.B., Andrejceva K.S. Povyshenie energoeffektivnosti za schet povysheniya teplotekhnicheskoi odnorodnosti naruzhnykh sten v zone sopryazheniya s balkonnymi plitami [Increasing Energy Efficiency by Increasing the Thermal Uniformity of External Walls in the Interface Area with Balcony Slabs]. In: *Stroitel'nye materialy* [*Construction Materials*], 2012, no 6, pp.17–19. (In Russ.)

9. Umnyakova N.P., Egorova T.S., Andreitseva K.S. Novoe konstruktivnoe reshenie sopryazhennykh naruzhnykh sten s monolitnymi mezhduetazhnymi perekrytiyami i balkonnymi plitami [A New Constructive Solution For Conjugate External Walls with Monolithic Interfloor Ceilings and Balcony Slabs]. In: *Stroitel'nye materialy* [*Construction Materials*], 2013, no. 6, pp. 28–31. (In Russ.)

10. Umnyakova N.P., Andreitseva K.S., Smirnov V.A. Inzhenernyi metod rascheta temperatury v uzle sopryazheniya naruzhnoi steny s monolitnymi mezhduetazhnymi i balkonnymi plitami pri ispol'zovanii nesushchego teploizolyatsionnogo

elementa «shekkizokorb» [The Engineering Method of calculating the Temperature in the Outer Wall, Monolithic Floor and Balcony Slab Interface with Use of Load-Bearing Heat-Insulating Element Shoeck Isokorb]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [*Building and Reconstruction*], 2013, no. 6 (50), pp. 53–63. (In Russ., abstr. in Engl.)

11. Zhang Xinwen, Jung Gun Joo, Rhee Kyu-Nam. Performance Evaluation of Thermal Bridge Reduction Method for Balcony in Apartment Buildings. In: *Buildings*, 2022, 12, p. 63. DOI:10.3390/buildings12010063. URL: [https://www.researchgate.net/publication/357704859\\_Performance\\_Evaluation\\_of\\_Thermal\\_Bridge\\_Reduction\\_Method\\_for\\_Balcony\\_in\\_Apartment\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/357704859_Performance_Evaluation_of_Thermal_Bridge_Reduction_Method_for_Balcony_in_Apartment_Buildings) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

12. Kim Mi-Yeon, Kim Hyung-Geun, Kim Jin-Sung, Hong Goopyo. Investigation of Thermal and Energy Performance of the Thermal Bridge Breaker for Reinforced Concrete Residential Buildings. In: *Energies*, 2022, no. 15, p. 2854. URL: [https://www.researchgate.net/publication/359945028\\_Investigation\\_of\\_Thermal\\_and\\_Energy\\_Performance\\_of\\_the\\_Thermal\\_Bridge\\_Breaker\\_for\\_Reinforced\\_Concrete\\_Residential\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/359945028_Investigation_of_Thermal_and_Energy_Performance_of_the_Thermal_Bridge_Breaker_for_Reinforced_Concrete_Residential_Buildings) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

13. Sharbaf Sara A., Kari Behrouz, Fayaz R. Thermal Performance of Balcony Thermal Bridge Solutions in Reinforced Concrete and Steel Frame Structures. In: *Journal of Building Engineering*, 2022, no. 48, p. 103984. DOI:103984. 10.1016/j.job.2021.103984. URL: [https://www.researchgate.net/publication/357567287\\_Thermal\\_performance\\_of\\_balcony\\_thermal\\_bridge\\_solutions\\_in\\_reinforced\\_concrete\\_and\\_steel\\_frame\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/357567287_Thermal_performance_of_balcony_thermal_bridge_solutions_in_reinforced_concrete_and_steel_frame_structures) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

14. Li Baochang, Guo Lirong, Li Yubao, Zhang Tiantian, Tan Yufei. Thermal Bridge Effect of Aerated Concrete Block Wall in Cold Regions. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 108, p. 022041. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322814171\\_Thermal\\_Bridge\\_Effect\\_of\\_Aerated\\_Concrete\\_Block\\_Wall\\_in\\_Cold\\_Regions](https://www.researchgate.net/publication/322814171_Thermal_Bridge_Effect_of_Aerated_Concrete_Block_Wall_in_Cold_Regions) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

15. Li Baochang, Guo Lirong, Li Yubao, Zhang Tiantian, Tan Yufei. Partial Insulation of Aerated Concrete Wall in its Thermal Bridge Regions. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 108, p. 022068. DOI: 10.1088/1755-1315/108/2/022068. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322814700\\_Partial\\_Insulation\\_of\\_Aerated\\_Concrete\\_Wall\\_in\\_its\\_Thermal\\_Bridge\\_Regions](https://www.researchgate.net/publication/322814700_Partial_Insulation_of_Aerated_Concrete_Wall_in_its_Thermal_Bridge_Regions) (Accessed 07/19/2024). (In Engl.)

16. Kornilov T.A., Kardashevskii A.G., Kychkin I.R. Uzel naruzhnoi ograzhdayushchei konstruktsii i monolitnoi mezhduetazhnoi plity perekrytiya [Assembly of the External Enclosing Structure and Monolithic Interfloor Slab], utility model patent No. RU 193385 U1; published 10/28/2019, bulletin no. 31. (In Engl.)