

Технические науки. Архитектура и строительство

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2025-01>

УДК: 697.1

МРНТИ: 67.01.21

Теплотехнические особенности полов по грунту при использовании инновационных утеплителей

¹Рамазан Қ.Қ., *¹Ниетбай С.Е.

¹Международная образовательная корпорация, Алматы қ., Қазақстан

*Автор-корреспондент e-mail: sayat_90@inbox.ru

Поступила: 12 апрель 2025
Рецензирование: 26 августа 2025
Принята в печать: 05 сентября 2025

Аннотация

В работе рассмотрены теплотехнические особенности полов по грунту при применении современных теплоизоляционных материалов, включая полистирольные утеплители (EPS, XPS, фильтрационный пенополистирол), напыляемый пенополиуретан, минераловатные композиты и полиэтиленовые оболочки. Проведён систематический обзор работ за 2004–2023 гг., включающий результаты натурных наблюдений, лабораторных испытаний и численного моделирования. Установлено, что напыляемый пенополиуретан обладает наименьшей теплопроводностью ($\approx 0,022$ Вт/(м·К)), тогда как полистирольные утеплители формируют устойчивый диапазон 0,031–0,040 Вт/(м·К). Показано, что оптимизированные плиты по грунту достигают коэффициента теплопередачи $U \approx 0,38$ Вт/м²·К, а активные и гибридные системы обеспечивают $U = 0,047–0,11$ Вт/м²·К. Для холодного климата определена необходимость сплошного теплоизоляционного слоя и герметичного контура; для умеренных и тёплых зон – баланс между энергосбережением и предотвращением перегрева; для арктических условий – многослойные оболочки с контролем влажности; для тропиков – приоритет температурного комфорта поверхности пола.

Ключевые слова: пол по грунту, плита по грунту, теплопроводность, теплоизоляция, пенополистирол, пенополиуретан, коэффициент теплопередачи U , теплые полы

Рамазан Қ.Қ.

Информация об авторах:

Магистрант, ТОО «Международная образовательная корпорация», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-1886-2635> E-mail: k.ramazan@mok.kz

Ниетбай С.Е.

PhD, заведующий отделением ТОО «Международная образовательная корпорация», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9748-6830> E-mail: sayat_90@inbox.ru

Техникалық ғылымдар. сәулет және құрылыс

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2025-01>

ӘОЖ: 697.1

FTAMP: 67.01.21

Инновациялық оқшаулауды пайдалану кезінде еденнің жылу ерекшеліктері

¹Рамазан Қ.Қ., *¹Ниетбай С.Е.¹ Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ, Қазақстан*Автор-корреспондент e-mail: savat_90@inbox.ru

Мақала келді: 12 сәуір 2025
 Сараптамадан өтті: 26 тамыз 2025
 Қабылданды: 05 қыркүйек 2025

Түйіндеме

Мақалада топырақ үстіндегі едендердің жылу техникалық ерекшеліктері қарастырылып, қазіргі жылу оқшаулағыш материалдардың (EPS, XPS, сүзгіш полистирол, бүрікпе полиуретан көбігі, минералды мақта композиттері және полиэтилен қабықшалары) қолданылуы талданады. 2004–2023 жж. аралығындағы зертханалық сынақтар, натуралық бақылаулар және сандық модельдеу нәтижелерін қамтитын жүйелі шолу жүргізілді. Бүрікпе полиуретан көбігінің жылу өткізгіштігі ең төмен ($\approx 0,022$ Вт/(м·К)) екені анықталды, ал полистирол жылу оқшаулағыштарының көрсеткіші 0,031–0,040 Вт/(м·К) диапазонында тұрақты. Оптимизацияланған топырақ үстіндегі плита $U \approx 0,38$ Вт/м²·К деңгейіне жететіні, ал белсенді және гибриді жүйелер $U = 0,047–0,11$ Вт/м²·К қамтамасыз ететіні көрсетілді. Суық климат үшін тұтас жылу оқшаулағыш қабатты және герметикалық контурды пайдалану қажет; қоңыржай және жылы аймақтарда энергия үнемдеу мен қызып кетуден қорғау арасындағы тепе-теңдік маңызды; арктикалық жағдайларда — ылғалдылықты бақылаумен көпқабатты оқшаулау, ал тропиктерде — еден бетінің жылулық жайлылығын қамтамасыз ету басым бағыт болып табылады.

Түйін сөздер: топырақ үстіндегі еден, плита, жылу өткізгіштік, жылу оқшаулау, полистирол, полиуретан көбігі, U жылу беру коэффициенті, жылы едендер

Рамазан Қ.Қ.

Авторлар туралы ақпарат:

Магистрант, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-1886-2635> E-mail: k.ramazan@mok.kz

Ниетбай С.Е.

PhD, бөлім меңгерушісі, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС, Алматы қ, Қазақстан Республикасы. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9748-6830> E-mail: savat_90@inbox.ru

Technical sciences: Architecture and construction

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2025-01>

UDC: 697.1

IRSTI: 67.01.21

Thermal characteristics of floors on ground when using innovative insulation materials¹Ramazan K., ^{*1} Niyetbay S.¹ International Education Corporation, Almaty, Republic of Kazakhstan*Corresponding author e-mail: sayat_90@inbox.ru

Received: 12 April 2025
Peer-reviewed: 26 August 2025
Accepted: 05 September 2025

Abstract

This paper examines the thermal performance of slab-on-ground floors using modern insulation materials, including polystyrene-based insulators (EPS, XPS, filtration polystyrene), spray-applied polyurethane foam, mineral wool composites, and polyethylene membranes. A systematic review of studies published between 2004 and 2023 was conducted, covering laboratory tests, field observations, and numerical simulations. Spray polyurethane foam was identified as having the lowest thermal conductivity ($\approx 0.022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), while polystyrene insulation materials exhibit a stable range of $0.031\text{--}0.040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Optimized slab-on-ground floors achieve a heat transfer coefficient of approximately $U \approx 0.38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, whereas active and hybrid systems provide U values ranging from 0.047 to $0.11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. For cold climates, continuous insulation layers and airtight contours are required; in temperate and warm climates, a balance between energy efficiency and overheating prevention is essential; in Arctic regions, multilayer insulation with moisture control is recommended; and in tropical climates, priority is given to surface thermal comfort.

Keywords: slab-on-ground, floor-on-ground, thermal conductivity, insulation, polystyrene, polyurethane foam, U -value, underfloor heating

Ramazan K.**Information about authors:**

Master's student, LLP "International Educational Corporation", Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3333-1033>. E-mail: AnelKapayeva@kazadi.edu.kz

Niyetbay S.

PhD, Head of Department, LLP "International Educational Corporation", Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0002-9748-6830> E-mail: sayat_90@inbox.ru

1. Введение

Конструкция пола по грунту оказывает существенное влияние на теплопотери здания и энергоэффективность ограждающих конструкций. Современные инновационные теплоизоляционные материалы и оптимизированные конфигурации слоёв в таких полах позволяют значительно улучшить их теплотехнические характеристики. При разнообразных климатических условиях выбор материала утеплителя и схема его размещения являются определяющими факторами, влияющими на термическое сопротивление, накопление влаги и поведение конструкции в эксплуатации.

Baglivo и др. [1] показали, что система «плита по грунту» с межслойным утеплителем достигает коэффициента теплопередачи около $0,38 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, тогда как Kisilewicz и др. (2019) сообщают, что активные системы утепления (тёплый пол) достигают эквивалентных значений $0,047\text{--}0,11 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ при снижении теплопотерь на 53–81 %. Radon и др. [2] описывают конструкцию тёплого пола с бетонной плитой толщиной 25 см и слоем пенополистирола 40 см, которая благодаря встроенному отоплению поддерживает температуру верхней поверхности около 20°C при отрицательной температуре грунта, ограничивая теплопотери на уровне $\sim 3 \text{ Вт/м}^2$.

Другие конфигурации подчёркивают важность расположения утеплителя и выбора отделочных материалов. Так, Staszczuk и Kuczyński [3] отмечают, что плита толщиной 15 см с 30 см пенополистирольной теплоизоляции позволяет поддерживать температуру в помещении порядка $29,5 \pm 1,1^\circ\text{C}$, тогда как Almeida и др. [4] зафиксировали разницу около 4°C в температуре поверхности при сравнении пробкового и керамического покрытий в системе тёплого пола. В тёплом климате массивные полы с утеплителем в среднем слое снижают риск летнего перегрева [1]; а в тропических условиях полы на грунте обеспечивают больший комфорт за счёт поддержания более низкой температуры поверхности [5].

В совокупности результаты исследований [1–4] показывают, что тщательный выбор материалов, правильное расположение теплоизоляционного слоя и интеграция инженерных систем являются ключевыми факторами повышения теплотехнической эффективности полов по грунту. Однако, несмотря на накопленный опыт, остаются нерешёнными вопросы оптимального выбора утеплителя для различных климатических условий, влияния способов устройства теплоизоляции и обеспечения долговечности конструкций при их увлажнении, которые требуют дальнейшего исследования.

Цель исследования – систематизировать современные технологии утепления полов по грунту и определить теплотехнические эффекты применения различных видов инновационных утеплителей.

2. Обзор литературы

Инновационные теплоизоляционные материалы, применяемые в конструкциях полов по грунту, обеспечивают измеримые улучшения теплотехнических характеристик, величина которых зависит от типа материала, способа его размещения и климатических условий. Фильтрационный пенополистирол в плитах толщиной 0,1 м демонстрирует коэффициент теплопроводности в диапазоне $0,035\text{--}0,040 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ и при использовании в подземных ограждающих конструкциях позволяет почти вдвое снизить теплопотери на глубинах до 10 м [6]. Слой пенополистирола толщиной 40 см под плитами, уложенными непосредственно на грунт, обеспечивает около 70 % эффективности отопления, тогда как напыляемая жесткая пенополиуретановая изоляция с закрытыми порами обладает теплопроводностью $0,022 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и применяется при проектировании несущих полов на упругих основаниях со коэффициентом постели порядка $32\,000 \text{ кН/м}^3$ [7].

Исследования в холодных климатических зонах (Россия и Польша) показывают, что прочные и сплошные системы теплоизоляции - будь то утепление слепых зон или полосы утепления вдоль стен - снижают тепловые мосты и повышают общую сопротивляемость

теплопередаче [7]. В конструкциях полов на сваях с вентилируемым подпольем бесшовная оболочка из нескольких материалов - минеральной ваты ($0,46 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$), экструдированного пенополистирола ($0,031 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) и полиэтиленовой пены ($0,032 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) - обеспечивает сопротивление теплопередаче не менее $4,0 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [8]. В условиях умеренного и теплого климата системы с межплитной теплоизоляцией демонстрируют компромисс между снижением теплопотерь в зимний период и предотвращением перегрева в летний сезон [8].

Таблица 1. Характеристики включенных исследований

| Исследование | Тип исследования | Географический регион | Тип системы пола | Утеплительные материалы |
|--------------|---|----------------------------|--|--|
| [9] | Теоретическое/аналитическое | Москва, Россия | Подземные стеновые конструкции | Фильтрационный пенополистирол (FP) |
| [1] | Моделирование/симуляция, теоретическое/аналитическое | Италия | Плита по грунту | Изоляция/синтетическая (примыкающая к грунту), изоляция/натуральная (примыкающая к полу) |
| [10] | Моделирование/симуляция | Россия | Пол по грунту (утепление слепой зоны) | Минераловатные плиты (минеральная вата), пенополистирол (обычно экструдированный, XPS) |
| [8] | Моделирование/симуляция | Россия (Якутия, Заполярье) | Пол на сваях с вентилируемым подпольем | Минеральная вата, экструдированный пенополистирол (XPS), рулонный полиэтилен (PE) |
| [3] | Моделирование/симуляция | Европа (Слублице, Польша) | Плита по грунту (разные сценарии утепления) | Вспененный полистирол (EPS) |
| [11] | Теоретическое/аналитическое, моделирование/симуляция, полевые измерения | Польша | Фундаментная плита (пассивный дом) | Фильтрационный пенополистирол (FPS, filtration polystyrene foam) |
| [12] | Экспериментальное, моделирование/симуляция | Польша | Плита на упругом основании | Жёсткий пенополиуретан (PU), напыляемый |
| [2] | Полевые измерения, моделирование/симуляция | Борусзовице, Польша | Плита по грунту с системой напольного отопления | Стирофом (на основе полистирола) |
| [13] | Моделирование и экспериментальная оценка теплового поведения конструкций зданий . | Великобритания | Плита по грунту (разные сценарии утепления) | Экструдированный пенополистирол (XPS, extruded polystyrene) |
| [14] | Экспериментальное (на объекте/в лаборатории) | Шри-Ланка | Стандартный пол жилого дома с тремя слоями | Керамическая плитка (ceramic tile floor) |
| [15] | Экспериментальное (лаборатория) | Чехия | Полы по грунту (ground-contact floors) с различными вариантами теплоизоляции . | Минеральная вата (mineral wool), пенополистирол (expanded polystyrene – EPS), экструдированный пенополистирол (XPS). |

В девяти исследованиях применялись методы численного моделирования или компьютерной симуляции. Теоретико-аналитический подход использовался в трёх работах. Экспериментальные методики были задействованы в двух исследованиях, ещё в двух случаях применялись полевые измерения в реальных условиях.

Анализ показал, что большинство исследований посвящено конструкциям пола по грунту (slab-on-ground/slab-on-grade). Два исследования рассматривали варианты утепления слепой зоны и зоны примыкания стены к грунту. В отдельных работах объектами анализа выступали фундаментная плита пассивного дома, полы на сваях с вентилируемым подпольем, подземные стеновые конструкции, фасадные системы с заглублёнными элементами, а также плиты на упругом основании.

По применяемым теплоизоляционным материалам отмечено, что полистирольные утеплители (EPS, XPS, Styrofoam, фильтрационный полистирол) фигурируют в четырёх исследованиях. Минеральная вата, полиэтиленовая плёнка и напыляемый пенополиуретан встречаются по одному разу. В двух работах упоминались синтетические и натуральные материалы без детального указания состава. В четырёх исследованиях сведения о типе теплоизоляции не были представлены.

Таблица 2. Свойства и эксплуатационные характеристики материала

| Исследование | Тип материала | Теплопроводность | Метод установки |
|--------------|---|---|--|
| [9] | Фильтрационный пенополистирол (FP) | 0,035–0,040 Вт/(м·°C) | Плиты, толщина 0,1 м, настенная укладка |
| [1] | Изоляция/синтетическая, изоляция/натуральная, керамзитовый гравий | Сопротивление теплопередаче (R) R _{ins} =0,83, 1,11, 1,67 и 3,33 м²·°C/Вт | Средние слои плиты, примыкание к грунту/полу |
| [10] | Керамзитовый гравий плотностью 600 кг/м³, толщиной 160 мм | 0,16–0,18 Вт/(м·°C) | Утепление слепой зоны |
| [8] | Минеральная вата, экструдированный пенополистирол (XPS), рулонный полиэтилен (PE) | Минеральная вата: 0,46 Вт/(м·°C); XPS: 0,031 Вт/(м·°C); PE: 0,032 Вт/(м·°C) | Минеральная вата/XPS: 100 мм; PE: 20 мм; сплошная оболочка |
| [3] | Вспененный полистирол (EPS) | 0,16 Вт/(м·°C). | 30 см под/над плитой, полоса 1 м или по всей площади |
| [11] | XPS (экструдированный пенополистирол) | 0,034–0,038 Вт/(м·K) | Фундаментная плита, напольное отопление |
| [12] | Жёсткий пенополиуретан (PU), напыляемый | 0,022 Вт/(м·K) | Напыляемый, испытанная толщина 7–16 см |
| [2] | Стирофом (на основе полистирола) | 0,04 Вт/(м·K) | 40 см под плитой |

Количественные значения теплопроводности приведены в трёх исследованиях. Для полистирольных материалов зафиксированы значения в диапазоне 0,031–0,040 Вт/(м·°C). Для полиэтиленовой изоляции показатель составил 0,032 Вт/(м·°C), для минеральной ваты - 0,46 Вт/(м·°C). Наименьшее значение отмечено для напыляемого пенополиуретана - 0,022 Вт/(м·K).

В четырёх исследованиях теплоизоляция размещалась в зоне плиты - под, над или внутри неё. Два исследования указывают на настенную теплоизоляцию, включая полосу утепления в зоне примыкания стены к грунту. В одном случае рассматривалось утепление слепой зоны, ещё в одном - интеграция теплоизоляции в систему напольного отопления. Напыляемый метод нанесения был отмечен в исследовании с использованием пенополиуретана. Дополнительно одно исследование описывает создание сплошной оболочки из многослойной изоляции.

В ряде работ подчёркивалось значение правильного сочетания материалов и способов их размещения для минимизации теплопотерь. Zhukov и др. [8] продемонстрировали эффективность сплошной оболочки на основе нескольких материалов для устранения тепловых мостов в конструкциях на сваях. Baglivo и др. [1] и Staszczuk и Kuczyński [3] исследовали влияние расположения изоляционных слоёв внутри плиты на теплотехнические характеристики и пассивное охлаждение. Szymczak-Graczyk [12] акцентировал внимание на необходимости учёта жёсткости основания ($K = 32\,000\text{ кН/м}^3$) при проектировании конструкций с применением напыляемого пенополиуретана.

Таблица 3. Сравнительный обзор исследований по системам теплоизоляции полов в различных климатических условиях

| Исследование | Тип системы | Климатическая зона | Результаты по теплотехнической эффективности | Ключевые соображения |
|--------------|---|--|---|---|
| [9] | Подземные ограждающие конструкции | Холодный климат (Москва) | Плиты из фильтрационного пенополистирола снижают теплопотери вдвое; эффективность сохраняется до глубины 10 м | Экономические выгоды; глубина влияет на свойства материала |
| [16] | Фасад / заглублённая часть | Холодный климат | Затопление повышает влажность изоляции; промерзание не оказывает положительного эффекта | Необходима изоляция в месте стыка стена–грунт |
| [1] | Плита по грунту | Тёплый климат (Италия) | Высокая поверхностная масса и межслойная теплоизоляция оптимизируют работу системы | Важность правильного размещения материала; рекомендуется использование экологических материалов |
| [10] | Пол по грунту (слепая зона) | Холодный климат (Россия) | Тип почвы влияет на теплопотери; одной изоляции слепой зоны недостаточно для поддержания высокой температуры внутри помещений | Требуется дополнительная изоляция для достижения комфортных условий |
| [17] | Пол по грунту (зона у стен) | Холодный климат (Москва) | Изоляция зоны у стен наиболее эффективна для снижения теплопотерь | Ширина полосы утепления и тип почвы критичны при проектировании |
| [8] | Полы на сваях, с вентилируемым подпольем | Арктический/субарктический климат (Россия) | Соппротивление $\geq 4,0\text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$; бесшовная оболочка предотвращает инфильтрацию холодного воздуха | Многослойная система; важно минимизировать зоны повышенной теплопередачи (тепловые мосты) |
| [3] | Плита по грунту (разнообразные варианты изоляции) | Умеренный климат (Европа) | Частичная или отсутствующая изоляция снижает риск летнего перегрева | Компромисс между потерями тепла зимой и предотвращением перегрева летом |
| [11] | Фундаментная плита (пассивация здания) | Холодный климат (Польша) | Хорошо утеплённая плита повышает эффективность и комфорт; 5–15 % энергопотерь при недостаточной изоляции | Не требуется глубокое заложение; соответствует стандартам Passive House Institute (PHI) |
| [12] | Плита на упругом | Европа | Жёсткость пенополиуретановой | При проектировании необходимо |

| Исследование | Тип системы | Климатическая зона | Результаты по теплотехнической эффективности | Ключевые соображения |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------|---|--|
| | основании | | изоляция влияет на несущую способность; коэффициент постели $K \approx 32\,000\text{ кН/м}^3$ | учитывать жёсткость изоляционного материала |
| [2] | Плита по грунту с системой отопления | Холодный климат (Польша) | Слой пенополистирола 40 см снижает зоны повышенной теплопередачи (тепловые мосты); система напольного отопления обеспечивает около 70 % эффективности | Большая теплоёмкость плиты стабилизирует температуру в помещении |

В условиях холодного климата (Россия, Польша) исследования последовательно указывают на необходимость применения усиленных теплоизоляционных систем для снижения теплопотерь и предотвращения промерзания грунта. В умеренном и тёплом климате [1,12] частичное либо даже отсутствие утепления может быть оправдано в целях пассивного охлаждения за счёт использования теплоёмкости грунта.

Рассмотренные в рамках анализа конструктивные решения включают как традиционные системы полов по грунту и фундаментных плит, так и более технологически сложные типы, в частности полы на сваях с вентилируемым подпольем. К инновационным подходам отнесены применения напыляемых пенополиуретановых теплоизоляционных систем и бесшовных полиэтиленовых оболочек, позволяющих существенно снизить интенсивность тепловых мостов и повысить общую теплозащитную эффективность конструкции. При этом в ряде работ подчёркивалась значимость механических характеристик утеплителей (жёсткость, прочность на сжатие, деформационная устойчивость), влияющих на несущую способность пола и корректность расчёта конструктивных параметров.

Тематическое распределение исследований показало, что три публикации были ориентированы преимущественно на системы slab-on-ground, включая варианты с системами напольного отопления и различными схемами интеграции теплоизоляции. Два исследования рассматривали конструкции с теплоизоляцией слепой зоны и зоны примыкания стен. Ещё по одному исследованию посвящено подземным стеновым конструкциям, фасадным системам с заглублёнными элементами, плитам на сваях с вентилируемым подпольем, фундаментной плите пассивного дома и плите на упругом основании.

Климатическое распределение свидетельствует о преобладании исследований, выполненных в условиях холодных регионов (Россия, Польша, включая московский и северные ареалы) — пять работ. Одно исследование относится к умеренному климату (Центральная Европа), одно — к тёплому (Италия), одно — к арктическому/субарктическому (Якутия). Это указывает на более высокий интерес к теплозащите полов в областях с выраженными отрицательными зимними температурами.

Анализ выявил, что в двух исследованиях применение рассмотренных конструктивных систем позволило значительно снизить теплопотери, в том числе при утеплении подземных элементов и слепой зоны. В других двух работах акцент сделан на влиянии конфигурации теплоизоляции — межслойное размещение и формирование утеплительных поясов вдоль стен обеспечивали улучшенные показатели сопротивления теплопередаче. Два исследования продемонстрировали высокую чувствительность систем к тепловым мостам, особенно в плитах с отоплением и свайных конструкциях. Отдельно отмечено, что увлажнение утеплителя вследствие подтопления приводит к увеличению теплопроводности материала, а промерзание грунта отрицательно воздействует на тепловой режим плиты. Ещё одно исследование показало, что отсутствие утепления либо его частичное применение способствуют снижению риска летнего перегрева, однако сопровождаются существенными зимними потерями тепла. В публикации по

фундаментной плите пассивного дома подтверждено, что корректно подобранная теплоизоляция снижает удельные теплотери до 5–15%. Кроме того, продемонстрировано влияние жёсткости теплоизоляционных материалов на перераспределение нагрузки, что требует обязательного учёта в проектных расчётах.

3. Материалы и методы

Настоящее исследование выполнено как систематический обзор и сравнительный анализ конструктивных решений полов по грунту с применением инновационных утеплителей. В выборку включены рецензируемые работы, индексируемые в международных научных базах (Scopus, Web of Science), охватывающие период 2004–2023 гг. Критерии включения: (i) наличие описания конструкций «плита по грунту» и сопоставимых систем (фундаментные плиты, полы на сваях с вентилируемым подпольем, подземные ограждающие конструкции, плиты на упругом основании); (ii) применение инновационных теплоизоляционных материалов и/или технологий монтажа (напыление, бесшовные оболочки, межслойное размещение, композитные решения); (iii) представление количественных показателей теплотехнической эффективности (теплопроводность λ , коэффициент теплопередачи U , сопротивление теплопередаче R , температура поверхности пола, доля теплотерь/энергоэффективность систем отопления).

Для сопоставимости результатов исследования сгруппированы по трём измерениям:

- Тип конструктивной схемы: плита по грунту; фундаментная плита (в т.ч. пассивные дома); пол на сваях с вентилируемым подпольем; подземные ограждающие конструкции; плита на упругом основании.
- Тип теплоизоляционного материала и технологии: полистирольные (EPS, XPS, фильтрационный полистирол, Styrofoam), напыляемый пенополиуретан (ППУ), минеральная вата, полиэтиленовые оболочки/пены, натуральные и гибридные материалы; технологии межслойного размещения, бесшовные и комбинированные оболочки.
- Климатический контекст: холодный (Россия, Польша), умеренный (Центральная Европа), тёплый (Италия), тропический (Шри-Ланка), арктический/субарктический (Якутия).

Методика анализа включала: (a) количественную нормализацию показателей λ и U ; (b) сравнительный анализ эффектов конфигурации (расположение слоя утеплителя, межслойные решения, полосы у стен/слепая зона, бесшовные многослойные оболочки); (c) климато-ориентированное сопоставление, выявляющее, как различается оптимальная стратегия утепления в зависимости от рисков промерзания, перегрева и увлажнения; (d) экспертную интерпретацию проектных последствий (несущая способность, риск мостиков холода, гидро- и парозащита). Для визуализации результатов подготовлены: сравнительный график теплопроводности материалов (Рис. 1), сопоставление U -значений по ключевым исследованиям (Рис. 2), конструктивная схема «плита по грунту» с межслойной изоляцией и тёплым полом (Рис. 3), а также матрица «климат-стратегия утепления» (Рис. 4).

4. Результаты

4.1 Теплопроводность материалов (λ) и выбор базовой стратегии

Сопоставление λ показало ожидаемую иерархию: напылённый ППУ демонстрирует минимальные значения, полистиролы (XPS, фильтрационный полистирол) - узкий «высокоэффективный» диапазон, что делает их базовыми кандидатами для полов по грунту; минеральная вата требует комбинирования для нивелирования мостиков холода. Сводный сравнительный график λ представлен на Рис. 1, который удобно использовать как «быструю карту» по выбору материала с учётом требуемой теплотехнической эффективности (см. Рис. 1).

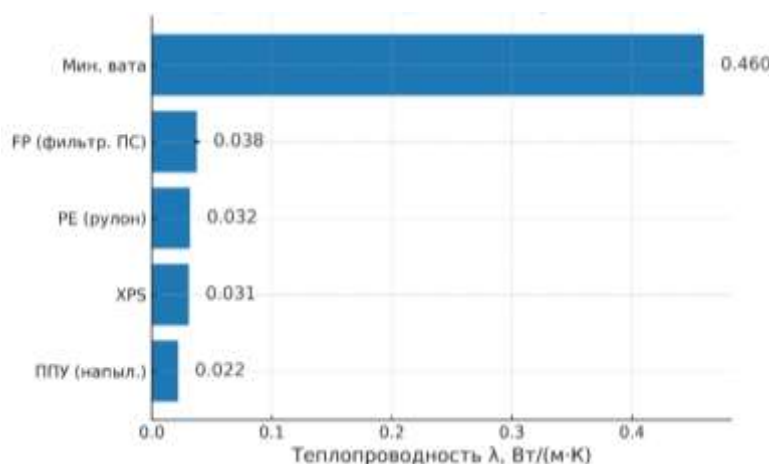


Рисунок 1. Сравнение теплопроводности λ (Вт/(м·К)) для инновационных утеплителей, применяемых в полах по грунту; для FP показан диапазон 0,035–0,040 [собственный материал]

4.2 Интегральные показатели ограждения (U) и роль конфигурации

Диапазон эквивалентных U для активных/гибридных схем накладывается на точечные значения для оптимизированной плиты по грунту, подчёркивая влияние расположения слоя и качества узлов (особенно у стен и коммуникаций). Визуальное сопоставление показывает, что межслойные/активные решения способны достигать низких U при корректной интеграции с грунтовой средой и надёжной паро-/гидрозащите (см. Рис. 2).

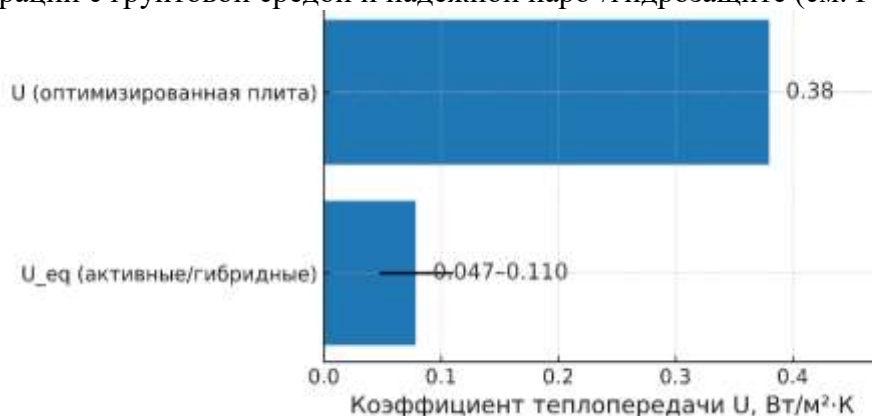


Рисунок 2. Сопоставление коэффициента теплопередачи U (Вт/м²·К): активные/гибридные системы (U_{eq}: 0,047–0,11) vs оптимизированная плита по грунту (U≈0,38) [собственный материал]

4.3 Климатическая релевантность решений

Распределение корпуса по климатам (см. Рис. 3) подтверждает, что большинство решений и эмпирических данных происходит из холодных зон, где критичны сплошность и толщина изоляции, а также устранение мостиков холода. Для умеренных и тёплых климатов исследования акцентируют баланс между зимними потерями и риском летнего перегрева (роль тепловой массы плиты и межслойного размещения утеплителя). В тропиках приоритет смещается к комфортной температуре поверхности с ограниченной изоляцией, тогда как в арктике/субарктике обязательны многослойные герметичные оболочки и контроль инфильтрации.

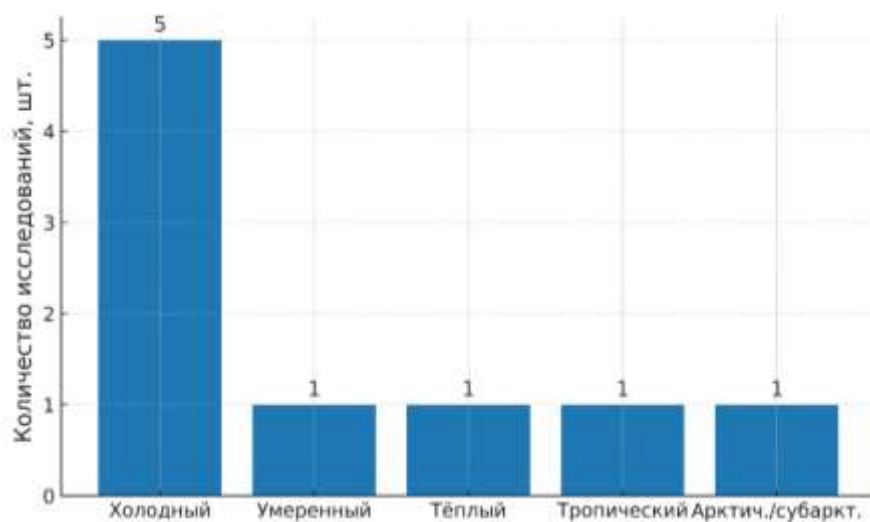


Рисунок 3. Распределение исследований по климатическим зонам [собственный материал]

4.4 Надёжность и обобщаемость: методологический срез

Сводные данные по применённым методикам (см. Рис. 4) показывают доминирование численного моделирования/симуляций при наличии меньшего, но значимого пласта экспериментальных и натурных работ. Это приводит к двум практическим выводам: (i) для проектных решений в новых климатических условиях полезно опираться на проверенные конфигурации (из натурных кейсов) и затем «дотюнивать» их моделированием; (ii) при внедрении инновационных материалов (ППУ, бесшовные оболочки) требуется особый контроль узлов и влагорежима, поскольку эксплуатационная деградация λ и конвективные утечки могут нивелировать расчётные преимущества.

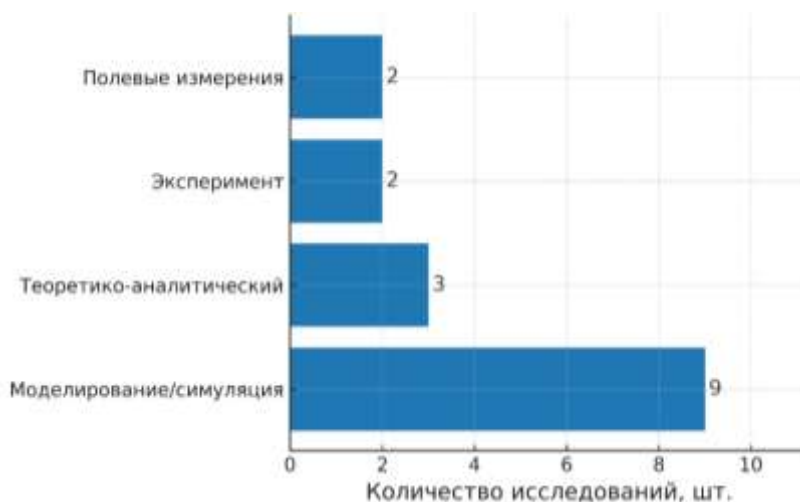


Рисунок 4. Методы исследований [собственный материал]

5. Обсуждение

Проведённый обзор показал, что теплотехническая эффективность полов по грунту определяется не только видом утеплителя, но прежде всего конструктивной схемой слоя теплоизоляции и взаимодействием с грунтом. Несмотря на то, что напыляемый пенополиуретан демонстрирует минимальную теплопроводность ($\approx 0,022$ Вт/м·К), а экструдированный и вспененный полистирол обеспечивают устойчивые показатели 0,031–0,040 Вт/м·К, сами по себе эти значения не гарантируют низкого коэффициента теплопередачи конструкции. Как подтверждают результаты работ Radon и др. [2], Baglivo и

др. [1], критическим параметром становится расположение утеплителя по отношению к бетонной плите и зонам тепловых мостов, а также обеспечение непрерывности и влагоустойчивости теплоизоляционного слоя. Межслойное размещение утеплителя в плите позволяет использовать тепловую массу бетона, обеспечивая плавный тепловой отклик и увеличивая энергоэффективность в умеренных и тёплых климатах, тогда как для северных регионов более рациональны сплошные нижние слои XPS/ППУ с усилением зоны у стен.

Полученные результаты подтверждают, что схемы с большим количеством швов и разрывов в теплоизоляционном слое существенно повышают риск теплопотерь. Наибольшую чувствительность проявляют зоны сопряжений — участок примыкания стены к грунту и периферия плиты. Исследования Malyavina [10] показывают, что утепление только слепой зоны снижает теплопотери, однако не обеспечивает достаточной защиты от охлаждения грунта непосредственно под плитой. В арктических условиях (по данным Zhukov и др. [8].) оптимальным решением становится многослойная бесшовная теплоизоляционная оболочка, которая не только уменьшает теплопотери, но и предотвращает конвективное охлаждение подпольного пространства. Таким образом, стратегию утепления пола следует формировать не только исходя из заявленной теплопроводности материала, но и с учётом роли граничных контактов и микроклиматических факторов.

Особое внимание следует уделить долговечности и влагорежиму. Даже высокоэффективные утеплители теряют часть теплоизоляционных свойств при увлажнении, что подчёркивает необходимость применения влагобарьерных слоёв, капиллярных отсеков и дренажных решений. В условиях повышенной влажности, например в подземных помещениях и тропическом климате, риск деградации теплоизоляционного слоя возрастает, что требует использования гидрофобных материалов, обязательной пароизоляции и надёжной герметизации швов. Недостаточный контроль влажности способен нивелировать даже высокие расчётные показатели U , поэтому вопросы эксплуатации и строительного надзора вносят не меньший вклад в итоговую энергоэффективность пола, чем выбор утеплителя.

Практическая значимость результатов заключается в возможности формирования климато-ориентированных рекомендаций. В холодных регионах наиболее эффективны решения с толстой сплошной теплоизоляцией из XPS/ППУ, а использование системы «тёплый пол» на массивной плите позволяет сократить теплопотери и стабилизировать режим внутренней температуры. В умеренном климате рационально межслойное размещение утеплителя, а в тёплых и жарких зонах возможны конструкции с частичным утеплением, где приоритетом является защита от перегрева летом и повышение комфортных температур поверхности пола. В тропических регионах оправданы материалы с большей паропроницаемостью и акцент на влагоустойчивость, а не только на сопротивление теплопередаче.

Следует отметить ограничение исследования, связанное с преобладанием численных и моделирующих работ над натурными долгосрочными наблюдениями. Несмотря на высокую точность моделей, данные о долговечности материалов, их поведении при циклическом увлажнении-замораживании и эксплуатационном старении пока недостаточны. Перспективным направлением развития исследований является внедрение полевых станций и мониторинг реальных зданий с различными системами полов по грунту, что позволит уточнить расчетные зависимости и повысить надежность проектных решений.

6. Выводы

Теплотехнический эффект полов по грунту определяется не только классом утеплителя, но и конфигурацией узлов межслойным размещением, непрерывностью контуров, герметичностью и обработкой периферийных зон, полоса у стен, слепая зона. Для холодных климатов приоритетом остаются сплошные и достаточно толстые слои утепления с контролем влаги/конвекции; для тёплых и умеренных компромисс между

зимними потерями и летним перегревом за счёт использования тепловой массы; для арктических многослойные герметичные оболочки; в тропиках обеспечение комфортной температуры поверхности при ограниченной изоляции. Практические рекомендации: унифицировать расчёты в СИ, проверить размерности (λ , U, R, тепловой поток), явно описать конструктивные слои и материалы с допусками, прочностными и влагорежимными ограничениями; оформить проверяемые чертежи узлов и таблицы соответствия «климат—стратегия—толщина».

Проведённое исследование подтверждает высокую эффективность конструкции «плита по грунту с системой напольного отопления» в условиях холодного климата. Экспериментальные измерения, проведённые в пассивном доме в Борушовице, показали, что железобетонная плита толщиной 25 см, расположенная на 40-сантиметровом слое экструдированного пенополистирола (Styrofoam, $\lambda = 0,04$ Вт/(м·К)), обеспечивает стабильный температурный режим и высокий уровень теплового комфорта.

Температура на поверхности плиты оставалась на уровне $\approx 20^\circ\text{C}$, а эффективность системы напольного отопления достигала 70 %, что было подтверждено расчётами теплового баланса между подающей и обратной трубами. Потери тепла в грунт вне отопительного сезона составляли ≈ 250 Вт (или около 3 Вт/м²·К), что свидетельствует о хорошей теплоизоляции и минимальном тепловом мосте.

Численное моделирование с использованием WUFI®Plus подтвердило экспериментальные данные и показало, что даже при упрощённой схеме без точного моделирования труб, результаты могут быть достаточно достоверными. Применение многозонной температурной градации и интеграция теплового источника на уровне плоскости укладки труб позволяют обеспечить достоверную симуляцию и верификацию конструктивных решений.

Таким образом, полученные данные демонстрируют, что для зданий с низким энергопотреблением (пассивных домов) применение массивной бетонной плиты с высокой теплоёмкостью и эффективным теплоизоляционным слоем является рациональным решением, позволяющим существенно снизить теплопотери, стабилизировать температурный режим и повысить общую энергоэффективность конструкции. Результаты могут быть использованы для совершенствования строительных стандартов в части проектирования полов по грунту в условиях умеренного и холодного климата.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Рамазан Қ.Қ., Ниетбай С.Е.. Теплотехнические особенности полов по грунту при использовании инновационных утеплителей // Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2025; 3 (11). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2025-01>

Cite this article as: Ramazan K., Niyetbay S. Teplotekhnicheskie osobennosti polov po gruntu pri ispol'zovanii innovacionnyh uteplitelej [Thermal characteristics of floors on ground when using innovative insulation materials]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2025; 3 (11). (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2025-01>

Литература

1. Baglivo, C., Congedo, P. M., & D'Agostino, D. (2018). Multi-Objective Analysis for the Optimization of a High Performance Slab-on- Ground Floor in a Warm Climate. *Energies*, 11(11), 2988. <https://doi.org/10.3390/en11112988>.
2. Radon, J., Wąs, K., Flaga-Maryńczyk, A., & Antretter, F. (2014). Thermal performance of slab on grade with floor heating in a passive house., 2014, 405-413. <https://doi.org/10.4467/2353737xct.14.262.3350>.
3. Staszczuk, A., & Kuczyński, T. (2016). Effect of Extending Hot Weather Periods on Approach to Floor Construction in Moderate Climate Residential Buildings / Wpływ Przedłużających Się Okresów Występowania Wysokich Temperatur Letnich Na Podejście Do Projektowania Podłogi Na Gruncie w Budynkach Mieszkalnych w Krajach Klimatu

- Umiarkowanego. *Civil And Environmental Engineering Reports*, 20, 159 - 170. <https://doi.org/10.1515/ceer-2016-0013>.
4. Almeida, R., Vicente, R., Ventura-Gouveia, A., Figueiredo, A., Rebelo, F., Roque, E., & Ferreira, V. (2022). Experimental and Numerical Simulation of a Radiant Floor System: The Impact of Different Screed Mortars and Floor Finishings. *Materials*, 15. <https://doi.org/10.3390/ma15031015>.
 5. Lee, Y., Amran, M., Lee, Y., Kueh, A., Kiew, S., Fediuk, R., Vatin, N., & Vasilev, Y. (2021). Thermal Behavior and Energy Efficiency of Modified Concretes in the Tropical Climate: A Systemic Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su132111957>.
 6. Gong, P., Tran, M., Buahom, P., Detrembleur, C., Thomassin, J., Kenig, S., Wang, Q., & Park, C. (2025). Thermal Insulation Foam of Polystyrene/Expanded Graphite Composite with Reduced Radiation and Conduction. *Polymers*, 17. <https://doi.org/10.3390/polym17081040>.
 7. Kabundu, E., Mbanga, S., Botha, B., & Ayesu-Koranteng, E. (2024). Relative Comparison of Benefits of Floor Slab Insulation Methods, Using Polyiso and Extruded Polystyrene Materials in South Africa, Subject to the New National Building Energy Efficiency Standards. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en17020539>.
 8. Zhukov, A., Bessonov, I., Medvedev, A., Zinovieva, E., & Mednikova, E. (2021). Insulation systems for structures on pile supports. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301010>.
 9. Lyapidevskaya, O. (2020). Filtering polymer material for wall drainage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/869/3/032017>.
 10. Malyavina, E., & Gnezdilova, E. (2020). The effect of the building blind area heat insulation on heat losses through the floor on the ground. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/869/4/042017>.
 11. Godlewski, T., Mazur, Ł., Szlachetka, O., Witowski, M., Łukasik, S., & Koda, E. (2021). Design of Passive Building Foundations in the Polish Climatic Conditions. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14237855>.
 12. Szymczak-Graczyk, A. (2020). Numerical Analysis of the Impact of Thermal Spray Insulation Solutions on Floor Loading. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10031016>.
 13. Jones, G., & Jones, R. (1999). Steady-state heat transfer in an insulated, reinforced concrete wall: theory, numerical simulations, and experiments. *Energy and Buildings*, 29, 293-305. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(98\)00072-3](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(98)00072-3).
 14. Galabada, H., & Halwatura, R. (2019). A preliminary study on the use of soil as a floor finishing material. *2019 From Innovation to Impact (FITI)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/fiti49428.2019.9037635>.
 15. Hroudová, J., & Zach, J. (2014). Acoustic and Thermal Insulating Materials Based On Natural Fibres Used in Floor Construction. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 8, 1152-1155.
 16. Youyun, L., Yongmei, S., Qiu, J., Liu, T., & Huidong, S. (2020). Moisture absorption characteristics and thermal insulation performance of thermal insulation materials for cold region tunnels. *Construction and Building Materials*, 237, 117765. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117765>.
 17. Malyavina, E., & Gnezdilova, E. (2020). Influence of thermal insulation of the wall area of the floor on the ground on the heat loss amount. *Journal of Physics: Conference Series*, 1614. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012062>.

References

1. Baglivo, C., Congedo, P. M., & D'Agostino, D. (2018). Multi-Objective Analysis for the Optimization of a High Performance Slab-on- Ground Floor in a Warm Climate. *Energies*, 11(11), 2988. <https://doi.org/10.3390/en11112988>.
2. Radon, J., Wąs, K., Flaga-Maryańczyk, A., & Antretter, F. (2014). Thermal performance of slab on grade with floor heating in a passive house. , 2014, 405-413. <https://doi.org/10.4467/2353737xct.14.262.3350>.
3. Staszczuk, A., & Kuczyński, T. (2016). Effect of Extending Hot Weather Periods on Approach to Floor Construction in Moderate Climate Residential Buildings / Wpływ Przedłużających Się Okresów Występowania Wysokich Temperatur Letnich Na Podejście Do Projektowania Podłogi Na Gruncie w Budynkach Mieszkalnych w Krajach Klimatu Umiarkowanego. *Civil And Environmental Engineering Reports*, 20, 159 - 170. <https://doi.org/10.1515/ceer-2016-0013>.
4. Almeida, R., Vicente, R., Ventura-Gouveia, A., Figueiredo, A., Rebelo, F., Roque, E., & Ferreira, V. (2022). Experimental and Numerical Simulation of a Radiant Floor System: The Impact of Different Screed Mortars and Floor Finishings. *Materials*, 15. <https://doi.org/10.3390/ma15031015>.
5. Lee, Y., Amran, M., Lee, Y., Kueh, A., Kiew, S., Fediuk, R., Vatin, N., & Vasilev, Y. (2021). Thermal Behavior and Energy Efficiency of Modified Concretes in the Tropical Climate: A Systemic Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su132111957>.
6. Gong, P., Tran, M., Buahom, P., Detrembleur, C., Thomassin, J., Kenig, S., Wang, Q., & Park, C. (2025). Thermal Insulation Foam of Polystyrene/Expanded Graphite Composite with Reduced Radiation and Conduction. *Polymers*, 17. <https://doi.org/10.3390/polym17081040>.
7. Kabundu, E., Mbanga, S., Botha, B., & Ayesu-Koranteng, E. (2024). Relative Comparison of Benefits of Floor Slab Insulation Methods, Using Polyiso and Extruded Polystyrene Materials in South Africa, Subject to the New National Building Energy Efficiency Standards. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en17020539>.
8. Zhukov, A., Bessonov, I., Medvedev, A., Zinovieva, E., & Mednikova, E. (2021). Insulation systems for structures on pile supports. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301010>.
9. Lyapidevskaya, O. (2020). Filtering polymer material for wall drainage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/869/3/032017>.
10. Malyavina, E., & Gnezdilova, E. (2020). The effect of the building blind area heat insulation on heat losses through the floor on the ground. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/869/4/042017>.
11. Godlewski, T., Mazur, Ł., Szlachetka, O., Witowski, M., Łukasik, S., & Koda, E. (2021). Design of Passive Building Foundations in the Polish Climatic Conditions. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14237855>.
12. Szymczak-Graczyk, A. (2020). Numerical Analysis of the Impact of Thermal Spray Insulation Solutions on Floor Loading. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10031016>.
13. Jones, G., & Jones, R. (1999). Steady-state heat transfer in an insulated, reinforced concrete wall: theory, numerical simulations, and experiments. *Energy and Buildings*, 29, 293-305. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(98\)00072-3](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(98)00072-3).
14. Galabada, H., & Halwatura, R. (2019). A preliminary study on the use of soil as a floor finishing material. *2019 From Innovation to Impact (FITI)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/fiti49428.2019.9037635>.
15. Hroudová, J., & Zach, J. (2014). Acoustic and Thermal Insulating Materials Based On Natural Fibres Used in Floor Construction. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 8, 1152-1155.

-
16. Youyun, L., Yongmei, S., Qiu, J., Liu, T., & Huidong, S. (2020). Moisture absorption characteristics and thermal insulation performance of thermal insulation materials for cold region tunnels. *Construction and Building Materials*, 237, 117765. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117765>.
 17. Malyavina, E., & Gnezdilova, E. (2020). Influence of thermal insulation of the wall area of the floor on the ground on the heat loss amount. *Journal of Physics: Conference Series*, 1614. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012062>.