

УДК 699.86

С. В. Корниенко, Е. М. Брехов

Волгоградский государственный технический университет

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛА ПО ГРУНТУ В ЗЕЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Рассмотрены теплотехнические особенности пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях. Влияние конфигурации пола по грунту на теплопотери заметно в том случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. Повышение компактности первого этажа является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт. Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплопотери до 22,8 %. Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола до 38 %. Такое решение способствует выравниванию температурного поля по внутренней поверхности конструкции и может обеспечить комфортные условия в помещении. Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

Ключевые слова: зеленое жилищное строительство, зеленая архитектура, ограждающая конструкция, пол по грунту, теплоизоляция, компактность, теплопередача через грунт, тепловой комфорт, энергосбережение, энергоэффективность.

Введение

Одним из ключевых направлений устойчивого развития государства является жилищное зеленое строительство. Зеленые технологии — мегатренд современной архитектуры [1—5]. Зеленое здание отвечает требованиям комфортного проживания. Оно энергоэффективно и имеет высокий уровень ресурсосбережения [6, 7]. Зеленое здание экологически безопасно, в нем реализован комплекс мер по декарбонизации, т. е. сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Потребность в строительстве зеленых зданий чрезвычайно высока и определяется, главным образом, необходимостью сохранения природной среды для будущих поколений.

Опираясь на инновационные энергоэффективные биопозитивные решения, зеленая архитектура и строительство динамично развиваются [8, 9].

Характерной особенностью зеленых многоквартирных жилых зданий является размещение на первом этаже квартир с отдельными входами (рис. 1). Такое архитектурное решение имеет ряд преимуществ.

Во-первых, за счет совпадения уровней пола и территории создается безбарьерная среда, в которой маломобильные группы населения могут свободно попадать в квартиры без посторонней помощи.

Во-вторых, у внешнего контура здания могут быть организованы мини-общественные коллективные пространства с помощью зеленых помещений, палисадников, газонов. Указанные пространства являются активными элементами зеленой архитектуры и могут быть легко адаптированы к нуждам жильцов [10].

В-третьих, отсутствие заглубленных в грунт подвалов уменьшает антропогенное воздействие на земную поверхность.

В-четвертых, повышается уровень комфортности среды. В летний период деревья с плотной кроной защищают жилые помещения от прямых солнечных лучей, смягчая тепловой режим и снижая потребность в кондиционировании воздуха. Этому способствует и применение современных теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий [11]. Строительство зеленых зданий смягчает эффект городского теплового острова, повышая теплотехническое качество мегаполиса [12].



Рис. 1. Квартиры с отдельными входами в многоквартирном доме

Учитывая высокую актуальность жилищного зеленого строительства, термин «зеленое многоквартирное жилое здание» официально закреплен в новой редакции российских норм проектирования СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные» (п. 3.1.11)¹, а в определении термина «этаж жилого многоквартирного здания» в том же документе (п. 3.1.41) предусмотрена возможность устройства пола по грунту в жилых помещениях.

Каковы теплотехнические особенности пола по грунту?

Человек проводит в жилых помещениях большую часть суток, при этом его стопы постоянно контактируют с полом. В результате контактного теплообмена человека с полом происходят тепловые потери. Если теплотери человека превышают его теплопродукцию вследствие метаболических процессов, нарушается тепловой баланс, увеличивается риск простудных заболеваний. Теплоотдача человека зависит от температуры пола, его теплотехнических характеристик, продолжительности контакта стоп с полом и т. д.

Процесс теплопередачи через пол по грунту подчиняется сложным закономерностям. Температурное поле грунта трехмерно. Если вдали от внешнего контура здания температура на поверхности пола почти такая же, как и внутреннего воздуха, то по мере приближения к наружным стенам температура пола снижается, причем существенно затрудняется прогноз температурного режима на краевых участках. Снижение температуры в этих зонах пола увеличивает тепловые потери. Циклические колебания температуры наружного воздуха и теплового потока приводят к формированию сложного

¹ СП 54.13330.2022. Здания жилые многоквартирные. М. : РСТ, 2022. 49 с.

нестационарного теплового режима грунта. При высоком уровне грунтовых вод грунт, соприкасающийся с полом, дополнительно увлажняется, что ведет к дополнительным потерям теплоты через пол по грунту. Поэтому уже на стадии проектирования необходимо правильно определять теплотехнические характеристики пола по грунту [13].

Теплотехнические характеристики пола по грунту различной конфигурации при разных способах теплоизоляции плиты пола даже в статическом приближении, т. е. при некоторых усредненных климатических параметрах, исследованы недостаточно полно. Это затрудняет поиск эффективных конструктивных решений пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях.

Целью данного исследования является анализ тепловых потерь пола по грунту при различных конфигурациях и способах теплоизоляции пола.

Методы

Существуют различные методы расчета теплопередачи через грунт. В классическом зональном методе расчета пол по грунту условно разбивается на термически однородные зоны. Каждая зона имеет индивидуально установленное значение сопротивления теплопередаче. Сопротивление теплопередаче 1-й зоны, примыкающей к наружной стене, минимальное, что объясняется добавочным тепловым потоком через краевую зону плиты пола. По мере удаления от наружного контура здания сопротивление теплопередаче возрастает. Зная площади термически однородных зон и их теплотехнические характеристики, можно, используя закон сложения тепловых проводимостей, определить теплопотери пола по грунту. При необходимости может быть учтено влияние теплоизоляции плиты пола [14]. Зональный метод расчета является ориентировочным, позволяющим просто оценить теплозащитные свойства пола по грунту. Однако этот метод не учитывает теплофизические свойства грунта, что затрудняет его применение в различных климатических зонах.

Более точным является метод расчета коэффициентов теплопередачи и расходов теплоты через грунт. Этот метод отражен в национальном стандарте РФ ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016 «Тепловые характеристики здания. Метод расчета теплопередачи через грунт»². В отличие от зонального, данный метод позволяет учесть различные факторы: трехмерную природу теплового потока в грунте под зданием, теплопроводность и объемную теплоемкость грунта, теплопроводные включения по краю перекрытия, влияние грунтовых вод, нестационарный характер теплопередачи, связанный с изменением температур внутреннего и наружного воздуха. Также может быть учтено влияние на тепловой режим помещений встроенной в плиту пола системы панельного лучистого отопления или охлаждения.

Наиболее точным является метод динамического моделирования процессов теплопереноса в ограждающих конструкциях [15]. Он позволяет вычислить трехмерные температурные поля при нестационарном тепловом режиме для неоднородных участков ограждающих конструкций разнообразной формы [16]. При этом конструкция плиты пола вместе с грунтовым основанием моделируется как единый компонент, что позволяет оценить влияние на

² ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016. Тепловые характеристики зданий. Метод расчета теплопередачи через грунт. М. : Стандартинформ, 2017. 40 с.

теплопередачу различных видов грунта. Особую ценность приобретает возможность применения метода динамического моделирования к расчету теплопереноса в краевых зонах, — точнее могут быть заданы граничные условия теплообмена. Вместе с тем динамическое моделирование требует применения сложных компьютерных программ, основанных на методах конечных разностей или конечных элементов, поэтому этот метод не всегда доступен при проведении научно-исследовательских изысканий [17].

Метод ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016 дает возможность получения достаточно точных результатов без использования дорогостоящих компьютерных программ, поэтому он выбран нами для оценки теплотерь пола по грунту в данном исследовании.

Результаты и обсуждение

Расчеты теплотерь пола по грунту выполним для условной квартиры, расположенной на 1-м этаже многоквартирного жилого дома.

Рассмотрим различные конфигурации пола по грунту в плане (рис. 2): максимально компактная (круг), компактная (квадрат) и минимально компактная (L -образная форма).

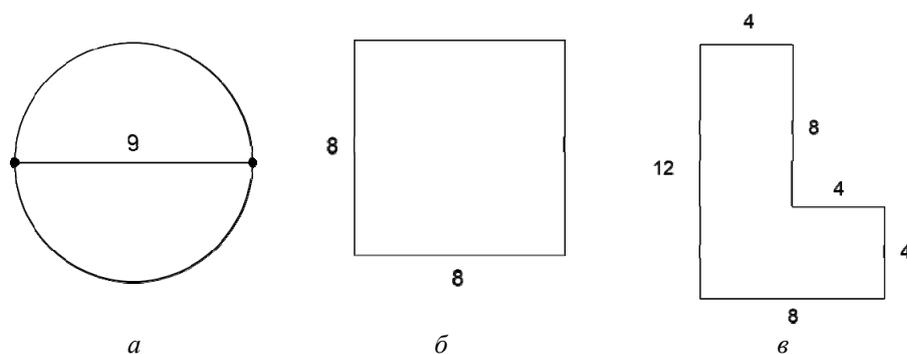


Рис. 2. Схемы пола по грунту различной конфигурации в плане: a — круг; b — квадрат; v — L -образная форма, линейные размеры даны в м

Исходя из заданных размеров (см. рис. 2) вычислим периметр пола: круглой формы — 28,3 м; квадратной формы — 32 м; L -образной формы — 40 м. Площадь пола для всех конфигураций одинакова и составляет 64 м^2 . Неизменяемость площади пола удобна для анализа удельных тепловых потерь на основе коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций.

Согласно конструктивным требованиям, плита пола толщиной 0,3 м выполнена из монолитного железобетона плотностью 2500 кг/м^3 в сухом состоянии. Толщина стены 0,5 м. Расчетная теплопроводность железобетонной плиты $1,92 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, теплопроводность грунта $2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Сопротивление теплообмену внутренней поверхности плиты $0,16 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ и учитывает конвективный и лучистый теплообмен в помещении. Сопротивление теплообмену наружной поверхности плиты принято равным 0, т. к. плита непосредственно контактирует с грунтом. Влияние грунтовых вод на здание не учитывается.

По базовому варианту теплоизоляция плиты пола отсутствует (рис. 3).

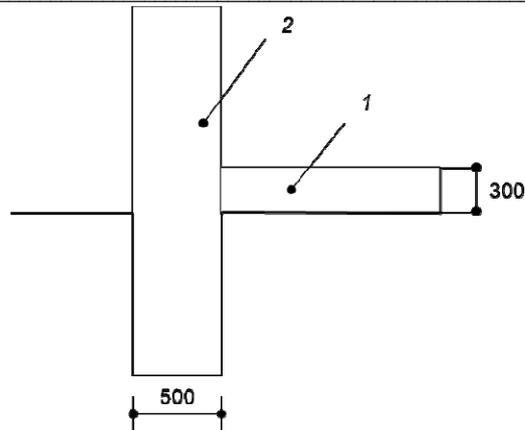


Рис. 3. Схема базового узла без теплоизоляции: 1 — плита пола; 2 — стена фундамента

Рассмотрим 2 принципиальных способа теплоизоляции пола по грунту: изоляция только краевой зоны плиты пола (рис. 4, *а*) и — всей плиты пола (рис. 4, *б*). Указанные способы широко применяют в современной практике тепловой защиты зданий.

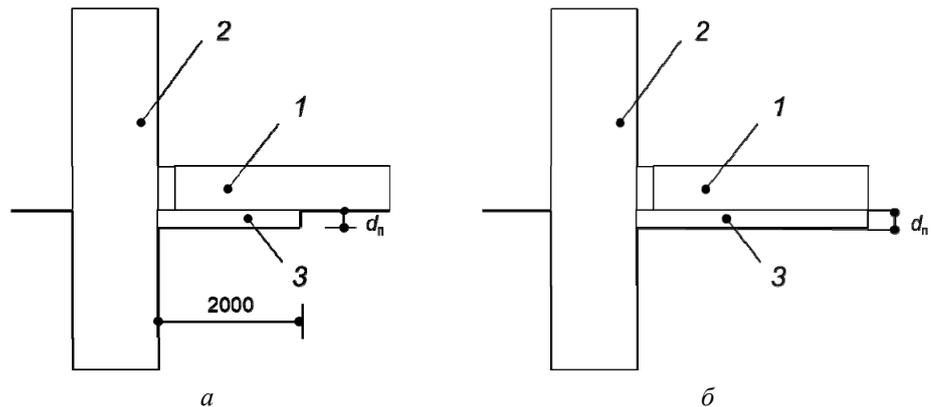


Рис. 4. Схемы теплоизоляции краевой зоны плиты пола (*а*) и всей плиты пола (*б*): 1 — плита пола; 2 — стена фундамента; 3 — утеплитель; d_n — толщина изоляции

При теплоизоляции краевой зоны пола (рис. 4, *а*) по периметру железобетонной плиты предусмотрена горизонтальная изоляция в виде плит из экструдированного пенополистирола толщиной d_n , шириной 2 м. Рассмотрены два уровня теплоизоляции краевой зоны пола: умеренный ($d_n = 0,025$ м) и повышенный ($d_n = 0,1$ м). Расчетная теплопроводность экструдированного пенополистирола $\lambda_{yt} = 0,031$ Вт/(м·К). Торцы плиты пола также теплоизолируются, что практически исключает тепловой поток в сторону наружной стены. Такой способ теплоизоляции способствует не только повышению теплозащитных свойств краевой зоны пола, но и снижению передачи ударного шума, возникающего при ходьбе по полу, а также структурного шума в расположенные выше квартиры.

Теплоизоляция всей плиты пола (рис. 4, б) предусматривает размещение по всей площади ниже плиты пола изоляции в виде плит толщиной d_n из экструдированного пенополистирола. Такой способ повышает уровень теплозащиты не только краевых зон пола, но и всей конструкции. Рассмотрены два уровня теплоизоляции плиты пола: умеренный ($d_n = 0,025$ м) и повышенный ($d_n = 0,1$ м).

Результаты расчета коэффициентов теплопередачи пола по грунту рассматриваемых конфигураций при различных способах теплоизоляции приведены на рис. 5—7. Пунктирной линией показано целевое значение коэффициента теплопередачи, рассчитанное на основе нормируемого сопротивления теплопередаче полов по грунту согласно СП 50.13330.2012³ при ГСОП = 4000 К·сут/г.

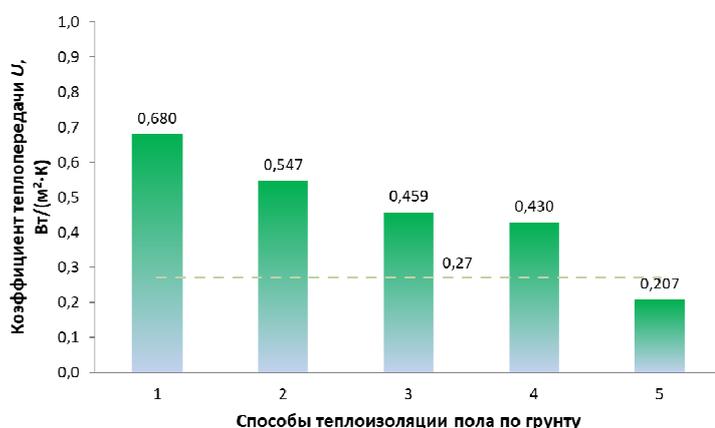


Рис. 5. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту круглой конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

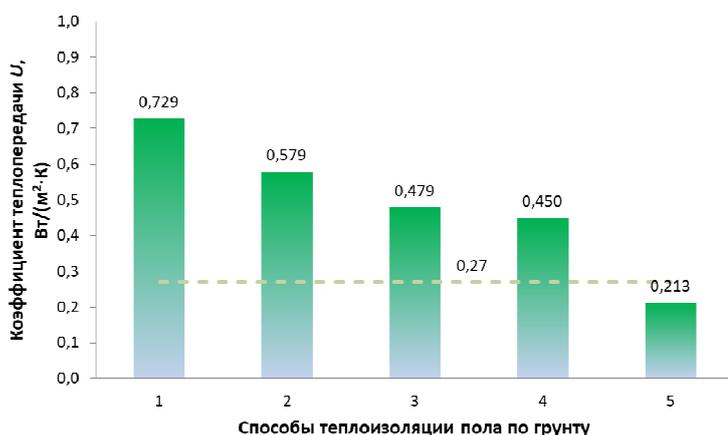


Рис. 6. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту квадратной конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

³ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М. : ФЦС, 2012. 101 с.

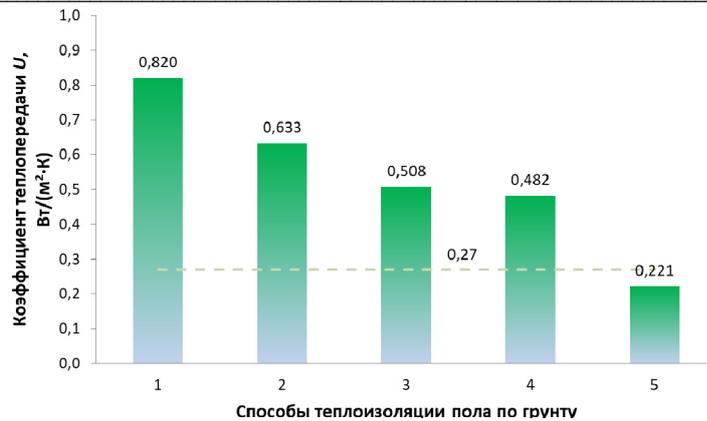


Рис. 7. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту L -образной конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

Анализ полученных результатов показывает, что во всех рассматриваемых конфигурациях пола по грунту максимальные значения коэффициента теплопередачи отмечаются в случае отсутствия теплоизоляции плиты пола. Так, например, для круглой плиты пола $U = 0,68$ Вт/(м²·К), для квадратной плиты $U = 0,729$ Вт/(м²·К), для L -образной плиты $U = 0,82$ Вт/(м²·К). Следовательно, усложнение формы здания в плане приводит к росту тепловых потерь через грунт. По сравнению с круглой плитой пола теплотери квадратной плиты возрастают на 7,21 %, L -образной плиты — на 20,6 %.

Влияние конфигурации пола по грунту заметно в том случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. При этом грунт выступает как теплоизолятор, имеющий активное и реактивное термические сопротивления [18, 19]. Повышение компактности пола по грунту является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт.

Полученные выше значения указывают на относительно низкие теплозащитные свойства пола. Поскольку коэффициент теплопередачи определен для всей поверхности пола, в краевых зонах, примыкающих к наружным стенам, теплозащитные свойства будут еще ниже. Такие конструкции в большинстве случаев не могут обеспечить требуемый поэлементный уровень теплозащиты зданий в условиях российского климата.

При отсутствии теплоизоляции возрастают дополнительные тепловые потоки через краевые зоны плиты. Такие потоки образуются вследствие передачи тепла в грунт, а также при контакте торцов плиты с наружными стенами. Добавочные тепловые потоки приводят к локальному снижению температуры на поверхности пола. Поэтому вблизи от наружных стен тепловой комфорт при контактном теплообмене человека с полом снижается.

Следовательно, теплоизоляция пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях необходима как с точки зрения обеспечения комфортных условий, так и по требованиям энергосбережения.

Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплотери на 19,6...22,8 % (нижняя граница указанного интервала относится к круглой конфигурации пола, верхняя — к L -образной конфигурации).

Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола соответственно на 32,5—38 %. Интересно отметить, что умеренная теплоизоляция всей поверхности пола дает почти такой же вклад (в среднем 38,8 %) в снижение теплопотерь пола по грунту, что и повышенная теплоизоляция краевой зоны пола.

Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

Выводы

1. Теплопотери пола по грунту без теплоизоляции зависят от конфигурации пола. Усложнение формы здания в плане приводит к росту тепловых потерь через грунт до 20,6 %. Влияние конфигурации пола по грунту на теплопотери заметно в случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. Повышение компактности пола по грунту является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт.

2. При отсутствии теплоизоляции возрастают дополнительные тепловые потоки через краевые зоны плиты, что способствует локальному снижению температуры на поверхности пола. Поэтому вблизи наружных стен тепловой комфорт при контактном теплообмене человека с полом снижается. Теплоизоляция пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях необходима как с точки зрения обеспечения комфортных условий, так и по требованиям энергосбережения.

3. Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплопотери до 22,8 %. Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола до 38 %. Такое решение способствует выравниванию температурного поля по поверхности конструкции и может обеспечить комфортные условия в помещении.

4. Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

5. Дальнейшие исследования могут быть связаны с уточнением тепло-технических характеристик пола по грунту в зеленых зданиях в динамическом приближении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табунищikov Ю. А. Москва — умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. С. 12—13.
2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Глобальные цели устойчивого развития и экологические требования к объектам недвижимости // Энергосбережение. 2022. № 6. С. 4—8.
3. Korniyenko S. The influence of the sky radiative temperature on the building energy performance // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 6. No. 114. Pp. 11412.
4. Baranova D., Sovetnikov D., Borodinecs A. The extensive analysis of building energy performance across the Baltic Sea region // Science and Technology for the Built Environment. 2018. Vol. 24. No. 9. Pp. 982—993.
5. Borodinecs A., Prozuments A., Zajacs A., Zemitis J. Retrofitting of fire stations in cold climate regions // Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 90. No. 6. Pp. 85—92.
6. Perlova E., Platonova M., Gorshkov A., Rakova X. Concept project of zero energy building // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. Pp. 1505—1514.

7. Горшков А. С., Соколов Н. А. Несоответствие российских и международных стандартов при определении расчетных значений теплопроводности строительных материалов и изделий // Инженерно-строительный журнал. 2013. Т. 7. № 42. С. 7—14.
8. Korniyenko S. V. Renovation of residential buildings of the first mass series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok. 2018. Pp. 022060.
9. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 167—177.
10. Антюфеев А. В., Корниенко С. В. Инновационный энергоэффективный квартал «Волжские дворики»: к 30-летию юбилею РААСН // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 115—122.
11. Vasilyev G. P., Gornov V. F., Kolesova M. V. Ground source heat pump systems efficiency in Russia — economical estimations and territory zoning // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 249. Pp. 012033.
12. Korniyenko S. V., Dikareva E. A. Optical remote sensing for urban heat islands identification // Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. Vol. 6. No. 104. Pp. 10404.
13. An experimental study on the thermal effects of slab-edge-insulation for slab-on-grade housing in a moderate Australian climate / Z. Liu, D. Alterman, A. Page, B. Moghtaderi, D. Chen // Energy and Buildings. 2021. Vol. 235. Pp. 110675.
14. Малявина Е. Г. Теплотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ИРЕСС, 2011. 144 с.
15. Co-simulation of dynamic underground heat transfer with building energy modeling based on equivalent slab method / X. Kang, D. Yan, X. Xie, J. An, Z. Liu // Energy and Buildings. 2022. Vol. 256. P. 111728.
16. Saied A. E., Maalouf C., Bejat T., Wurtz E. Slab-on-grade thermal bridges: a thermal behavior and solution review // Energy and Buildings. 2022. Vol. 257. P. 111770.
17. Малявина Е. Г., Гнездилова Е. А., Левина Ю. Н. Расчетное сопротивление теплопередаче полов по грунту при современных способах теплозащиты // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 44—48.
18. Мусорина Т. А., Петриченко М. Р., Заборова Д. Д., Гамаюнова О. С. Определение активного и реактивного сопротивления для однослойного стенового ограждения // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 8. С. 1126—1134.
19. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой / Т. А. Мусорина, М. Р. Петриченко, Д. Д. Заборова, О. С. Гамаюнова, М. И. Куколев // Строительство и техногенная безопасность. 2021. Т. 22. № 74. С. 57—65.

© Корниенко С. В., Брехов Е. М., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В., Брехов Е. М. Теплотехнические особенности пола по грунту в зеленых зданиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 38—47.

Об авторах:

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; skorn73@mail.ru

Брехов Егор Михайлович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; egor.brehov@yandex.ru

Sergey V. Kornienko, Egor M. Brehov

Volgograd State Technical University

THERMAL FEATURES OF THE GROUND FLOOR IN GREEN BUILDINGS

The thermal features of the ground floor in green multi-apartment residential buildings are considered. The influence of the ground floor configuration on heat loss is noticeable if there is no thermal insulation of the floor slab. Therefore, increasing ground floor compactness is a passive means of controlling heat losses via the ground. Moderate thermal insulation of the slab edge zone reduces specific heat loss to 22,8 %. Increased thermal insulation of the slab edge zone reduces specific heat loss to 38 %. This structure can provide comfortable conditions in the room. The maximum reduction in heat loss occurs with increased thermal insulation of the floor slab (about 73 %). This method provides the maximum thermal insulating effect and meets the requirements of green housing construction in the temperate climate of Russia.

Key words: green housing construction, green architecture, building element, ground floor, thermal insulation, compactness, heat transfer via the ground, thermal comfort, energy saving, energy efficiency.

For citation:

Kornienko S. V., Brehov E. M. [Thermal features of the ground floor in green buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 38–47.

About authors:

Sergey V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; skorn73@mail.ru

Egor M. Brehov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; egor.brehov@yandex.ru