

УДК: 697.133, 692.22
DOI: 10.52409/20731523_2022_4_96
EDN: JSPCJU



К вопросу определения теплотерь через стену в грунте

Д.В. Крайнов¹, И.А. Масленников¹,

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Главным отличием теплопередачи через ограждающие конструкции в грунте от теплопередачи через другие ограждающие конструкции является влияние толщи окружающего грунта, размеры которого несоизмеримо больше других элементов подземных конструкций. Вопрос теплотерь через элементы ограждающих конструкций, расположенных выше уровня земли, широко рассмотрен в литературе, однако теплотери подземной части здания остаются не в полной мере изученными. Цель работы заключается в исследовании нестационарного режима теплопередачи стены в грунте и определении факторов, в значительной степени влияющих на теплотери подземной части здания.

Задачами исследования являются: определение теплотерь стены в грунте разной высоты в зависимости от времени года и теплофизических характеристик грунта, а также влияние стыка стены в грунте и пола по грунту на теплотери.

Актуальность. В данный момент ведутся работы по пересмотру методик инженерного расчета сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций в грунте, для выполнения которых необходимы значения удельных потерь теплоты для различных узлов подземной части здания.

Результаты. В статье представлены результаты исследования тепловых потоков через стену в грунте в зависимости от координаты конструкции и времени года, дана оценка влияния температуропроводности грунта на полученные зависимости, показано наличие влияния стыка стены в грунте с полом по грунту на теплотери.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в том, что их использование для нахождения удельных потерь теплоты теплотехнических неоднородностей подземной части здания позволит повысить точность и облегчить проектирование ограждающих конструкций в грунте.

Ключевые слова: тепловой поток, теплотери, температура, стена в грунте.

Для цитирования: Крайнов Д.В., Масленников И.А. К вопросу определения теплотерь через стену в грунте // Известия КГАСУ 2022 №4(62), с.96-107, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_96, EDN: JSPCJU

The issue of determining heat loss through a wall in the ground

D.V. Kraynov¹, I.A. Maslennikov¹,

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Statement of the problem.* The main difference between heat transfer through enclosing structures in the ground and heat transfer through other enclosing structures is the influence of the thickness of the surrounding soil, the dimensions of which are disproportionately larger than other elements of underground structures. The issue of heat loss through the elements of enclosing structures, located above ground level, is widely considered in the literature, however, the heat loss of the underground part of the building remains not fully understood. The purpose of the work is to study the non-stationary mode of heat transfer of the wall in the ground and to determine the factors that largely affect the heat loss of the underground part of the building.

The objectives of the study are: to determine the heat loss of the wall in the soil of different heights depending on the season and the thermophysical characteristics of the soil, as well as the effect of the junction of the wall and the floor in the soil.

Relevance. At the moment, work is underway to revise the methods of engineering calculation of resistance to heat transfer of enclosing structures in the ground, for which the values of specific heat losses for various nodes of the underground part of the building are required.

Results. The paper presents the results of a study of heat fluxes through a wall in the ground, depending on the coordinate of the structure and the season, the assessment of the influence of the thermal diffusivity of the soil on the obtained dependences, the presence of the influence of the junction of the wall in the ground with the floor in the ground on heat loss is shown.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the fact that their use for finding the specific heat loss of heat engineering inhomogeneities of the underground part of the building will improve the accuracy and facilitate the design of enclosing structures in the ground.

Keywords: heat flux, heat loss, temperature, wall in the ground.

For citation: Kraynov D.V., Maslennikov I.A. The issue of determining heat loss through a wall in the ground // News KSUAE 2022 №4(62), P. 96-107,
DOI: 10.52409/20731523_2022_4_96, EDN: JSPCJU

1. Введение

Стремление улучшить эксплуатационные и теплотехнические характеристики конструктивных элементов здания связано с изменением требований к методам расчета и оценки их теплозащитных свойств. Определение теплопотерь стены в грунте имеет особенности [1-3]. Хотя температуру грунта на значительной глубине можно считать постоянной, верхняя часть массива грунта подвержена сезонным колебаниям температуры. Эти изменения имеют большую амплитуду, ассоциированы с местом строительства. Существующий инженерный метод расчета теплопотерь подвальной части здания не учитывает эти факторы и не обладает должной точностью для конструкций с глубиной подвальной части более 3 м [4, 5].

Обзор литературы показал, что на теплопотери в заглубленных конструкциях влияет множество факторов. Так, например, в работе [6] рассмотрено влияние грунта и водопроницаемого слоя на теплопотери здания при высокой плотности застройки. В работе [7] рассмотрено влияние влагосодержания на температуру грунта и тепловые потоки в холодный период года, возникающие от подземных инженерных коммуникаций. Натурные исследования [8] показали, что теплотехнические характеристики грунта непостоянны по глубине, грунты залегают слоями, а их влажность не постоянна в течении года. Это позволяет говорить о необходимости учета теплофизических

характеристик грунта при расчете теплотерь заглубленных конструкций. Подходы к выбору климатических данных рассматривались в работах [9-11]. На основе средней за многолетний период климатической информации может быть разработан «типовой год» и специализирован под конкретную задачу. В рамках данной работы подходы к выбору климатических данных не рассматривались, но планируются к изучению в дальнейшем.

В работах [12, 13] рассмотрен опыт исследования температурной волны в стеновых конструкциях. Колебания теплового потока на глубине вследствие колебания температуры наружного воздуха можно описать гармоническим законом Дежжко, математическая модель которого рассматривалась в работе [14].

Подходы к решению нестационарных задач и современные методы утепления подземной части изучались в работе [15]. Отечественными учеными сформулированы конкретные требования к точности получаемых данных в результате исследования тепловых потоков [16-18]. Для задачи расчета приведенного сопротивления теплопередачи разумно стремиться к точности 1%. Так, в работе [16] представлена оценка влияния узлов компьютерной модели на итоговую точность расчета.

Существующая инженерная методика расчета максимальных теплотерь через ограждения в грунте для определения нагрузки на систему отопления использует температуру наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки. Однако для определения затрат энергии на отопление здания за отопительный период, а также при расчете теплотехнических характеристик здания, таких как, приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов теплозащитной оболочки, применяется температура наружного воздуха средняя за отопительный период. Кроме того, при рассмотрении ограждений, заглубленных и контактирующих с грунтом, нужно учитывать тепловую инерционность массива грунта и годовое колебание температуры наружного воздуха, что должно привести к непостоянным теплотерям в течение года через данные конструкции. Таким образом, мы приходим к необходимости решения нестационарной задачи, результаты решения которой могут стать основой для определения удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом, что подтверждает актуальность рассматриваемого вопроса.

Цель данной работы заключается в исследовании нестационарного режима теплопередачи стены в грунте и определении факторов, в значительной степени влияющих на теплотери подземной части здания. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- получение величин тепловых потоков через стену в грунте на различной глубине при изменении температуры наружного воздуха в течение года;
- определение влияния теплотехнических характеристик грунта на тепловые потоки через стену в грунте;
- определение влияния неоднородности в виде сопряжения стены в грунте с полом по грунту на тепловой поток через стену в грунте.

2. Материалы и методы

Поставленные задачи решаются с использованием численных методов решения двумерного нестационарного уравнения теплопроводности.

В качестве расчетной модели выбран подземный фрагмент здания, окруженный массивом грунта (рис. 1). Конкретные материалы слоев стены и пола не были включены в расчетную модель для исключения искажений, вносимых строительными конструкциями. Для определения влияния пола на теплотери через стену высота стены в грунте (h_3) принималась равной 6, 10 и 15 м. Высота массива грунта ниже уровня пола во всех рассмотренных задачах принята равной $h_g = 20$ м.

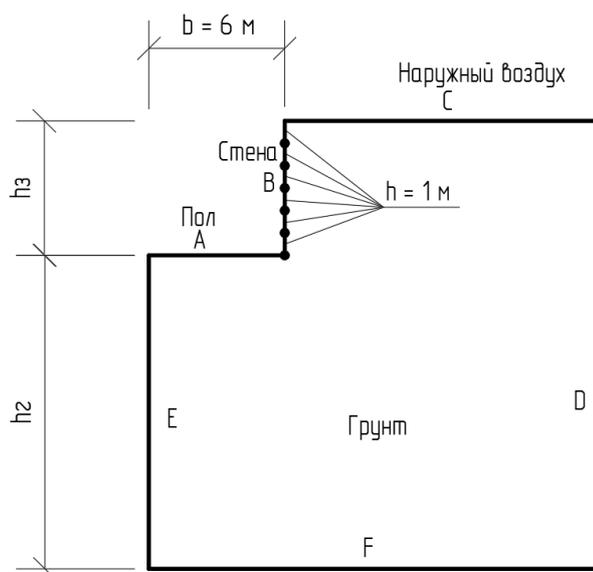


Рис. 1. Расчетная модель (иллюстрация авторов).

Fig.1. Design model (illustration by the authors)

В данной постановке задачи массив грунта рассматривается в виде единого материала с постоянными по глубине теплотехническими характеристиками: теплопроводность, плотность и теплоемкость. Для определения степени влияния выбранных свойств грунта на теплопотери через стену величины характеристик модельного грунта выбирались из диапазона свойств наиболее распространенных грунтов (табл. 1). Результирующим показателем был выбран коэффициент температуропроводности грунта.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики грунтов использованные в расчетах.

	Теплопроводность Вт/м·°С	Плотность кг/м ³	Теплоемкость Дж/(кг·°С)	Температуро- проводность м ² /с
Грунт 1	1	1840	840	$0,647 \cdot 10^{-6}$
Грунт 2	1,6	1840	840	$1,035 \cdot 10^{-6}$
Грунт 3	2	1840	840	$1,294 \cdot 10^{-6}$
Грунт 4	1	1000	350	$2,857 \cdot 10^{-6}$
Грунт 5	1,6	1000	350	$4,571 \cdot 10^{-6}$
Грунт 6	2	1000	350	$5,714 \cdot 10^{-6}$

В качестве климатических данных использовались среднемесячные температуры наружного воздуха для г. Дмитрова (Московская область). Распределение температуры в течение года показано на рис. 2.

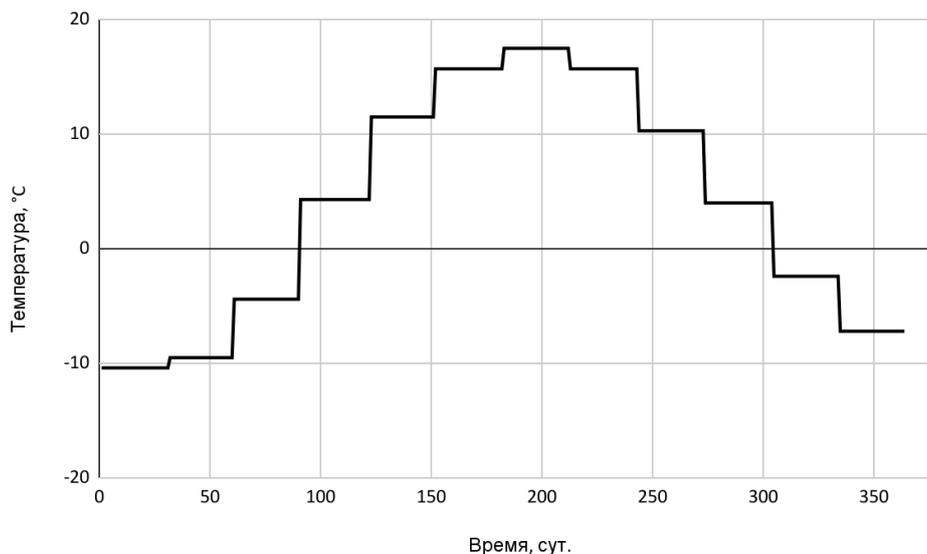


Рис. 2. Температура наружного воздуха (иллюстрация авторов)
Fig.2. Outdoor air temperature (illustration by the authors)

Температура на нижней границе расчетной модели (граница F на рис. 1) принята постоянной и равной средней за год. Такое допущение принято по причине того, что после нескольких лет эксплуатации в толще грунта вдали от здания наиболее вероятно установление именно этой температуры. Температура воздуха в помещении подземной части здания принята постоянной в течение года и равной $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$. На границах D, E (рис. 1) приняты адиабатные условия ($q=0\text{ Вт/м}^2$).

Для исключения влияния выбранных начальных условий нестационарный процесс теплопередачи моделировался для периода 8 лет, в результате которого в контрольных точках устанавливались постоянные (для данного временного интервала) величины температуры и теплового потока. Значения теплового потока получены для последнего дня каждого месяца для исключения влияния скачкообразного изменения граничных условий. Шаг по времени выбран одни сутки.

Известно, что искажения температурного поля в большей степени будут наблюдаться у наружной границы расчетной модели [15]. Поэтому для минимизации ошибки определения теплового потока шаг расчетной сетки вблизи стыка стены и пола по грунту, а также в месте контакта грунта с наружным воздухом (граница С на рис. 1) значительно уменьшен по сравнению с остальной расчетной областью. Вертикальная стена в грунте разбивалась на расчетные зоны шириной 1 м, начиная с верхней границы (рис. 1). Для каждого такого участка определялся нормальный тепловой поток.

3. Результаты

На рис. 3 представлены значения тепловых потоков для участков высотой 1 м на различной глубине в течение года.

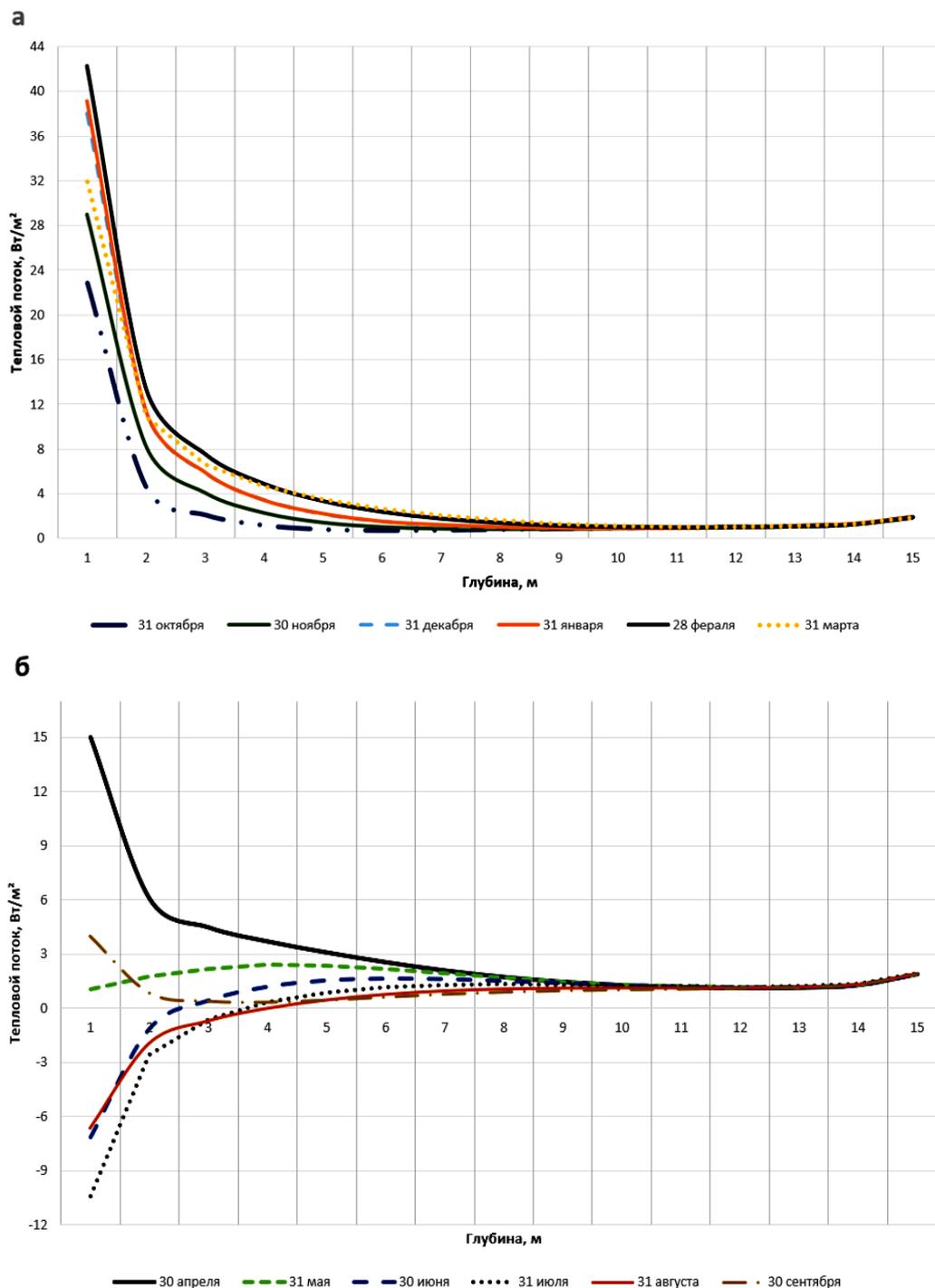
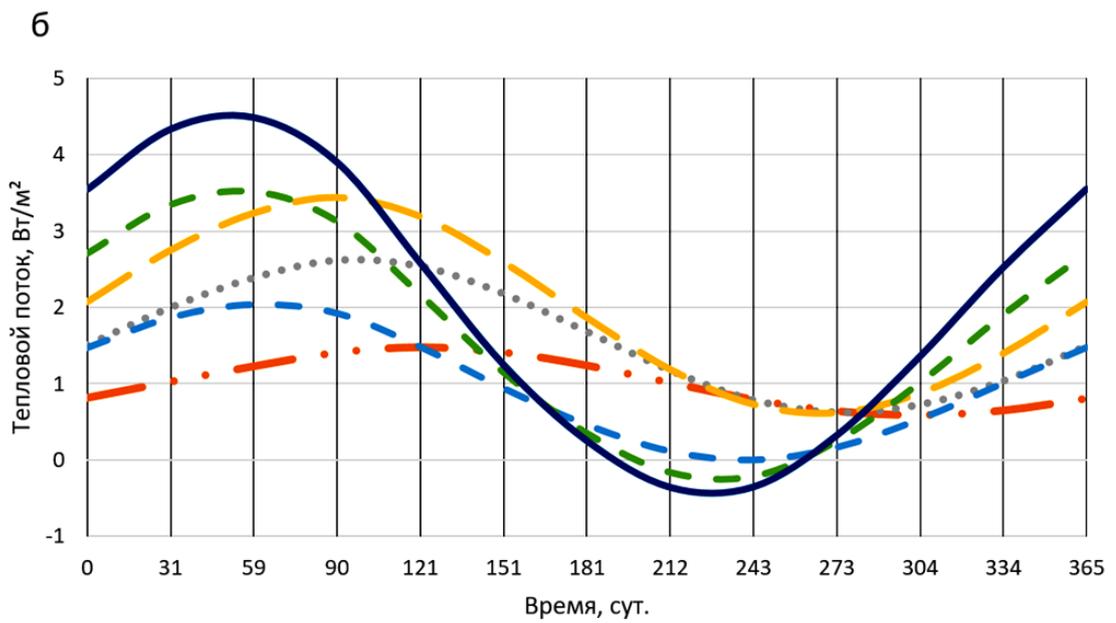
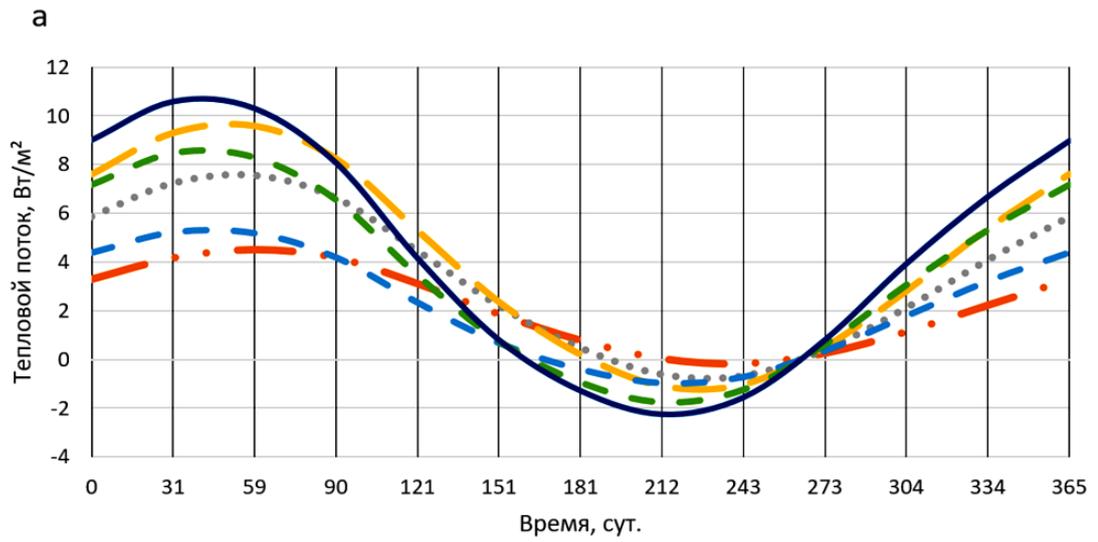


Рис. 3. Тепловые потоки на различной глубине через стену высотой 15 м в грунте 2 для периодов: а) октябрь - март, б) апрель – сентябрь (иллюстрация авторов).

Fig. 3. Heat fluxes at different depths through a wall in the ground with a height 15 m for the periods: а) october - march, б) april – september (illustration by the authors)

Из рис. 3 видно, что на участке глубиной до 2 м происходит изменение как теплопотерь, так и теплопритоков через стену в грунте. На глубине от 2 до 4 м происходит дальнейшее уменьшение тепловых потоков. Ниже 4 м через стену в грунте наблюдаются исключительно теплопотери, значения которых становятся близки для любого месяца года. Май является месяцем с примерно постоянными в течение года теплопотерями, не зависящими от глубины.



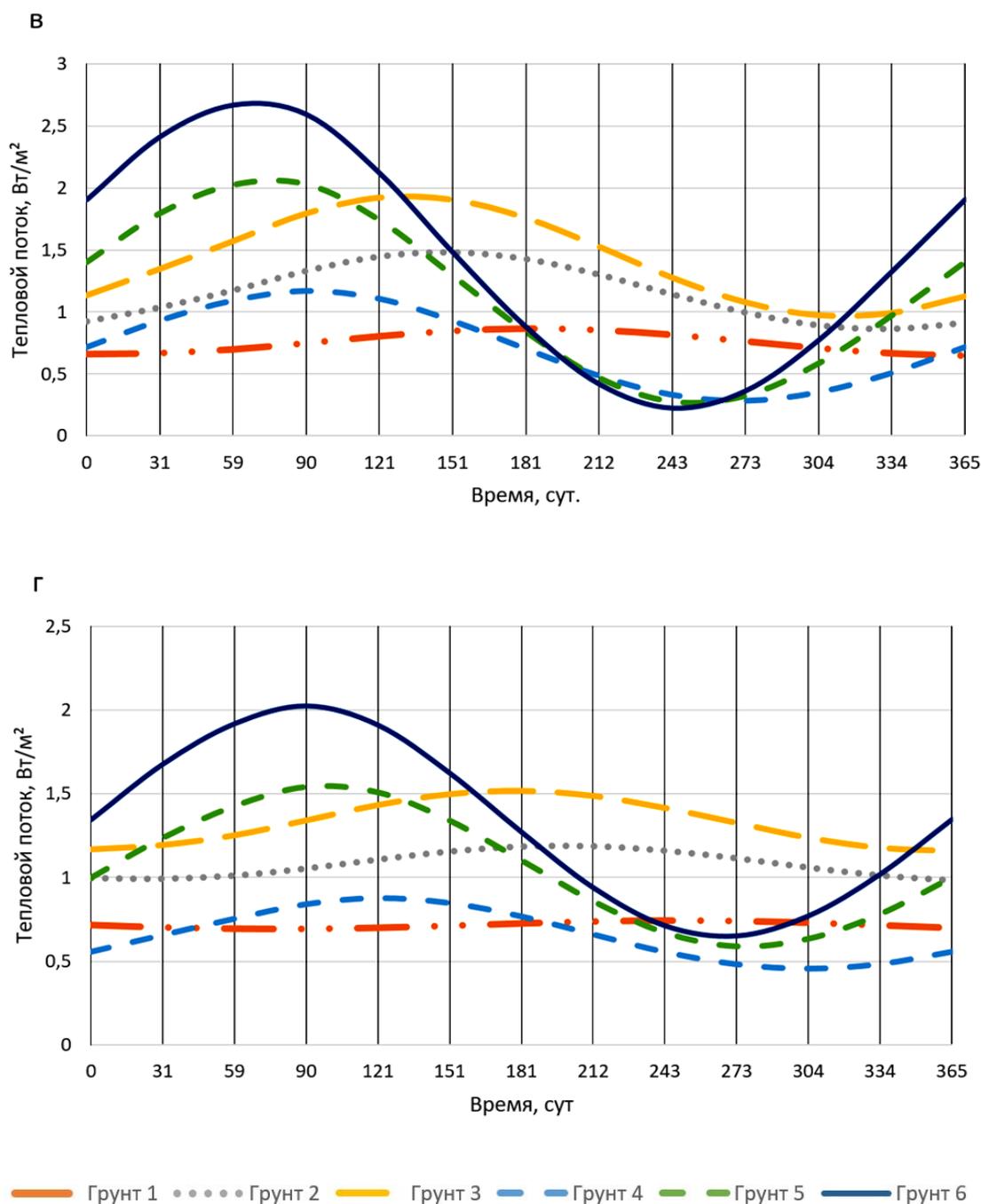


Рис. 4. Тепловые потоки через стену, расположенную в различных грунтах, на глубинах:

а) 3 м, б) 6 м, в) 9 м, г) 12 м

(иллюстрация авторов).

Fig. 4. Heat fluxes through a wall located in various soils at depths:

a) 3 m, b) 6 m, c) 9 m, d) 12 m

(illustration by the authors)

Из рис. 4 видно, что в зависимости от характеристик грунта появляется смещение фазы колебания тепловых потоков, проходящих через стену в грунте. С увеличением глубины залегания стены амплитуда теплового потока становится меньше, происходит затухание колебаний.

На рис. 5 представлены тепловые потоки на различной глубине для стены в грунте высотой 6, 10 и 15 м. На глубине от 1 до 3 м наблюдается участок одинаковых теплопотерь, что позволяет использовать сопротивление теплопередаче для данного

участка. Влияние пола на теплопотери через стену в грунте характеризуется увеличенными теплопотерями на расстоянии до 1 м от неоднородности. Также подобное влияние заметно и на рис. 3.

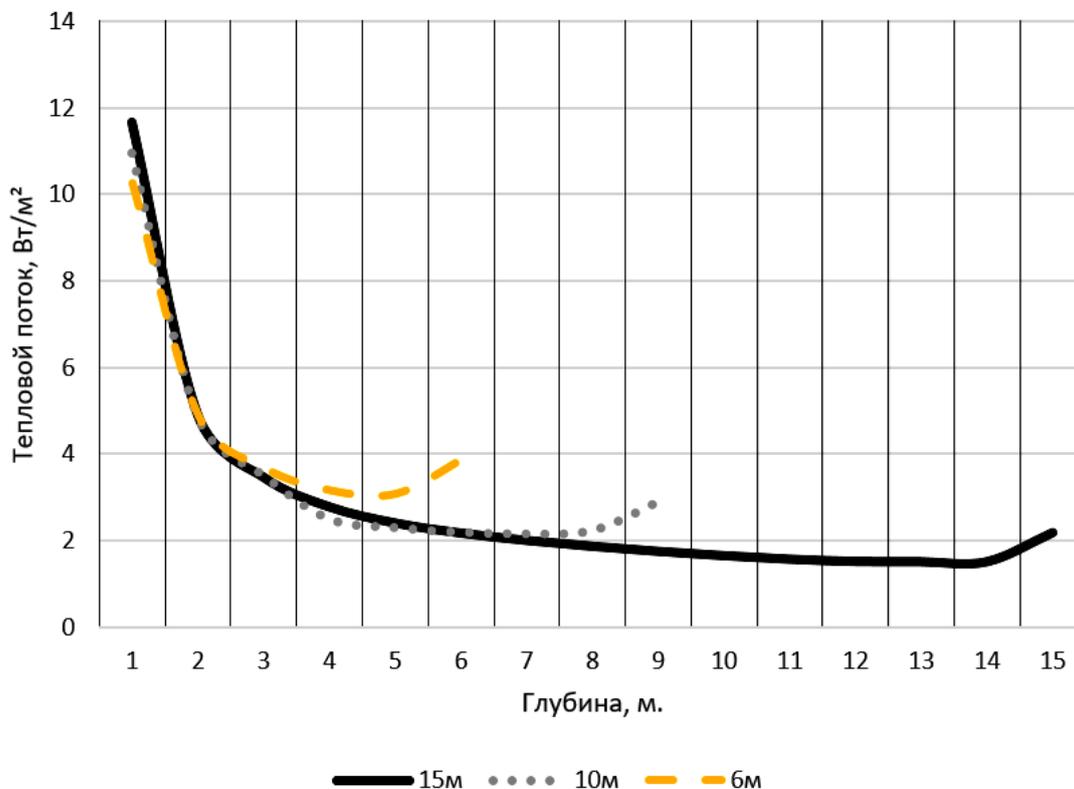


Рис. 5. Тепловые потоки 30 апреля через стену в грунте высотой 3, 6 и 15 м (иллюстрация авторов).

Fig.5. Heat fluxes on April 30 through a wall in the ground with a height 6, 10 and 15 m. (illustration by the authors)

4. Обсуждение

Колебания температуры наружного воздуха близки к гармоническим [18]. Вместе с колебанием наружного воздуха изменяется тепловой поток стены в грунте (рис. 3). Причем амплитуда колебаний теплового потока, проходящего через стену, уменьшается с увеличением глубины. Вместе с тем наблюдается смещение фазы колебаний теплового потока.

На рис. 4 показаны значения тепловых потоков в течение года на глубине 3, 6, 9 и 12 м для стены глубиной 15 м. Минимальный тепловой поток на глубине 3 м наблюдается в июне - 212 день, в то время как на глубине 9 м минимальные значения были достигнуты лишь на 334 день для грунтов 4, 5 и 6, а для грунтов 1, 2 и 3 на 365 день. Отметим, что на глубине более 5 м теплопотери наблюдаются на протяжении всего года.

Для определения влияния теплотехнических свойств на величину тепловых потоков были рассмотрены шесть различных грунтов. На рис. 5 видно, что вследствие различия характеристик грунта затухание тепловой волны имеет различный характер, и на тепловой поток на глубине в большей степени влияет фаза колебания, чем теплотехнические характеристики. Теплотехнические характеристики грунта в рассмотренных пределах температуропроводности влияют на характер затухания колебаний теплового потока, а также их амплитуду. С увеличением глубины грунта разница амплитуд колебаний теплового потока начинает возрастать, и на глубине 13 м амплитуда колебаний теплового потока в грунте 1 оказалась в 40 раз больше, чем в грунте 6. На одной и той же глубине экстремумы теплового потока для разных грунтов наблюдаются в разный период, т.е. происходит смещение фазы колебания. У поверхности грунт оказывает значительное влияние на величину теплопотерь, с увеличением глубины разница в абсолютных величинах становится не столь

существенной и на глубине 14 м находится в диапазоне 0,3-0,7 Вт/м². Влияние свойств грунта на итоговую величину теплопотерь следует рассмотреть подробнее.

При сравнении потоков при различной глубине подземной части наблюдается заметное влияние узла сопряжения пола и стены в грунте (рис. 5). Это влияние начинает быть существенным на высоте 1 м от поверхности пола, а его значимость возрастает с увеличением глубины. Отметим, что для правильного учета теплопотерь стены необходимо отделить тепловой поток, вызванный влиянием стыка с полом.

Полученные данные тепловых потоков могут быть использованы при определении удельных потерь теплоты таких теплотехнических неоднородностей, как: вертикальные наружный и внутренний углы (стыки стен в грунте), сопряжение стены в грунте с полом по грунту. Выполненные исследования и результаты анализа теплопотерь через стену в грунте помогут улучшить качество теплотехнических расчетов и облегчить проектирование ограждающих конструкций в грунте.

5. Заключение

В результате проведенных исследований получены величины тепловых потоков на различной глубине для нестационарного режима теплопередачи через стену в грунте высотой 6, 10 и 15 м. Наблюдается область резких колебаний тепловых потоков глубиной 4 м от поверхности грунта, ниже которой в течение всего года происходят теплопотери. Полученные данные планируется использовать для нахождения удельных потерь теплоты узлов подземной части здания.

Проведено сравнение влияния грунтов с коэффициентом температуропроводности в диапазоне от $0,65 \cdot 10^{-6}$ до $5,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с на теплопотери через стену в грунте, а также характер затухания колебаний теплопотерь. Определено, что разница в амплитуде таких колебаний для рассмотренных грунтов становится существенной с ростом глубины залегания стены.

Установлено наличие области влияния неоднородности в виде сопряжения стены в грунте и пола в грунте, ширина которой составляет порядка 1 м от поверхности пола. Результаты проведенного исследования окажутся полезными для выполнения работы по пересмотру методик инженерного расчета сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций в грунте. Дальнейшие исследования будут направлены на получение удельных потерь теплоты для различных узлов подземной части здания, а также анализа влияния параметров расположенных в грунте конструкций и формы здания на тепловые потери.

Список литературы / References

1. Дробжева Д.А., Швецова А.С., Сапарёв М.Е. Расчет теплопотерь через заглубленные в грунт ограждающие конструкции с применением двумерных температурных полей // Новая наука: проблемы и перспективы. 2016. № 10-2. С. 120-123. EDN WXCYZ [Calculation of heat losses through enclosing structures buried in the ground using two-dimensional temperature fields // New Science: Problems and Prospects. 2016. № 10-2. P. 120-123]
2. Андрейцева К.С. Особенности расчета температурных полей при проектировании ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2018. № 6. С. 19-23 [Andreytseva K.S. Features of calculation of temperature fields when designing enclosing structures // Housing construction. 2018. № 6. P. 19-23]
3. Малявина Е.Г., Гнездилова Е.А., Левина Ю.Н., Расчет теплопотерь через полы по грунту в зданиях с современной теплозащитой // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. (18). С. 60-62. EDN: KRHMXI [Malyavina E.G., Gnezdilova E.A., Levina Yu.N. Calculation of heat loss through slab-on-ground floors for buildings with modern methods of thermal protection // BST: Byulleten' stroitel'noj tehniki. 2019. (18). P. 60-62]
4. Малявина Е.Г., Иванов Д.С. Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 209-215 [Malyavina E., Ivanov D. Definition of heat loss for underground part of building by calculation of three-dimensional soil temperature pattern // Vestnik MGSU. 2011. № 7. P. 209-215].

5. Малявина Е.Г., Иванов Д.С., Михеева Е.А. Сравнение результатов расчета теплопотерь заглубленных в грунт частей зданий по существующим инженерным методикам // Естественные и технические науки. 2015. № 6(84). С. 549-552 EDN: UDDZWL [Malyavina E.G., Ivanov D.S., Miheeva E.A. Comparison of the calculating results the heat loss of parts building buried in the ground according to existing engineering methods // Natural and technical sciences. 2015. № 6(84). P. 549-552].
6. Kenichi S., Terrington R. L., Influence of geology and hydrogeology on heat rejection from residential basements in urban areas // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019. (92). P. 554-564. DOI:10.1016/j.tust.2019.103068.
7. Liu H., Maghoul P., Shalaby A. Optimum insulation design for buried utilities subject to frost action in cold regions using the Nelder-Mead algorithm // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. (130). С. 613–639. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.107
8. Демежко Д.Ю., Горностаева А.А., Антипин А.Н. Оценка фазовых соотношений между тепловыми потоками и температурой земной поверхности в суточном цикле по результатам мониторинга на ОГМС “Верхнее Дуброво” // Литосфера. 2022 Вып. 2. С. 239-250. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-2-239-250 [Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A., Antipin A.N. An assessment of phase relationships between heat fluxes and ground surface temperatures in a diurnal cycle based on monitoring studies at the Verkhnee Dubrovo meteorological station. Lithosphere (Russia). 2022. 22(2). P. 239-250].
9. В. Г. Гагарин, Иванов Д.С., Малявина Е.Г. Разработка климатологической информации в форме специализированного “типового года” // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31-1(50). С. 343-349. EDN RDPCBV [Gagarin V.G., Ivanov D.S., Malyavina E.G. Development of climatic information in a specific “reference year” form // Vestnik VolgGASU. Series “Construction and Architecture” 2013. № 31-1(50). P. 343-349].
10. Лугин И. В., Алферова Е.Л. Влияние годовой цикличности изменения теплового потока в грунт на расчетный тепловой баланс двухпутного тоннеля метрополитена // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. № 3. С. 191-196 [Lugin I.V., Alferova E.L. Effect of annual cyclicity of heat flow variation in soil on estimated temperature balance in double-track underground railway tunnel // Interexpo GEO-Siberia. 2016. № 3. P. 191-196].
11. Hoffmann C., Geissler A. The prebound-effect in detail: Real indoor temperatures in basements and measured versus calculated U-values // Energy Procedia. 2017. (122). С. 32–37. DOI:10.1016/j.egypro.2017.07.301
12. Тарасова Д.С., Петриченко М.Р. Квазистационарные температурные режимы ограждающих конструкций // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 4. С. 28-35. doi: 10.18720/MCE.72.4 [Tarasova D.S., Petritchenco M.R. Buildings quasi-stationary thermal behavior // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 4 (72). P. 28-35].
13. Asphaug S. K., Time B., Kvande T. Hygrothermal simulations of thermally insulated basement envelopes - Importance of boundary conditions below grade // Building and Environment. 2021. № April (199). С. 107920.
14. Афанасьева Т.А., Пермяков П.П., Варламов С.П., Скрыбин П.Н. Идентификация теплового потока на поверхности грунтов по замерам температуры: сб. ст. Theory and methods of polar science. international youth scientific conference on the polar geodesy, glaciology, hydrology and geophysics / Санкт-Петербург. 2018. С. 27-34 [Afanaseva T.A., Permyakov P.P., Varlamov S.P., Skryabin P.N. Identification of heat flow on the soil surface by temperature measurements // Theory and Methods of Polar Science: Proceedings of International youth scientific conference on the polar geodesy, glaciology, hydrology and geophysics, St. Petersburg. 2018. P. 27-34].
15. Видин Ю.В., Злобин В.С., Федяев А.А. Аналитический метод расчета нестационарного температурного поля при переменном коэффициенте теплопроводности // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 1(41). С. 57-60. DOI 10.18324/2077-5415-2019-1-57-60. – EDN OOVSOB [Vidin Yu.V., Zlobin V.S., Fedyayev A.A. Analytical method for calculating a non-stationary temperature field with a variable thermal conductivity coefficient // Systems. Methods. Technologies. 2019. № 1(41). P. 57-60].

16. Козлов, В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3(77). С. 62-74. EDN UTKMBM [Kozlov V.V. Accuracy of calculation of the reduced resistance of heat transfer and temperature fields // Building and reconstruction. 2018. № 3(77). P. 62-74].
17. Федоров С.В., Терехова И.А. Оценка корректности теплотехнических расчетов ограждающих конструкций методом конечных элементов // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2017. № 1. С. 31-42 [Fedorov S.V., Terehova I.A. Estimation of the correctness of heat engineering calculations of enclosing structures by the finite element method // Applied Mathematics and Fundamental Informatics. 2017. № 1. P. 31-42].
18. Петров А.С., Куприянов В.Н. О влиянии компьютерной модели узлов конструкций с теплотехнической неоднородностью на точность теплотехнических расчетов // Приволжский научный журнал. 2019. № 1(49). С. 32-38. EDN YAPSCU [Petrov A.S., Kupriyanov V.N. On the influence of a computer model of structures with thermotechnical heterogeneity on the accuracy of thermotechnical calculations // Privolzhsky scientific journal. 2019. № 1(49). P. 32-38].

Информация об авторах

Крайнов Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: dmitriy.kraynov@gmail.com

Масленников Илья Александрович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: maslennikov.ilya.a@gmail.com

Information about the authors

Dmitriy V. Kraynov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: dmitriy.kraynov@gmail.com

Ilya A. Maslennikov, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: maslennikov.ilya.a@gmail.com