

УДК: 69.05, 699.86
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.12
EDN: MZEQMR



Совершенствование технологии устройства утепленных малозаглубленных ленточных фундаментов

Р.Р. Богданов¹, Р.Х. Мухаметрахимов¹, Н.И. Зиятдинов², А.Р. Мавлюбердинов¹,
А.Ф. Хузин¹

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

²ООО «Капитал», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Применение в малоэтажном строительстве малозаглубленных фундаментов, является одним из наиболее экономичных решений, по сравнению с другими типами, так как требует минимальных материальных и трудовых затрат на устройство. В связи с этим актуальным является изучение особенностей технологии их возведения и утепления с учетом климатических условий, преобладающих в нашей стране. Целью данного исследования является оптимизации расхода теплоизоляции в конструкции фундамента, путем решения задач моделирования и последующего расчета тепловых полей основания и конструкции фундамента в зимний период.

Результаты. По результатам исследований определены эффективные параметры теплоизоляционного контура малозаглубленного фундамента. Для исключения промерзания грунта под основанием, необходимо обеспечить следующие минимальные размеры: заглубление горизонтального слоя теплоизоляции не менее 340 мм, ширина теплоизоляционной юбки от 1050 мм. Установлено, что предложенные решения по теплоизоляции малозаглубленных фундаментов обеспечивают значительную оптимизацию расхода материалов: толщина горизонтального слоя утеплителя снижается на 34%, вертикального – на 14%, а ширина юбки сокращается на 8,3% по сравнению с рекомендациями СТО 36554501-012-2008. При этом общая экономия теплоизоляционных материалов достигает 31% от рекомендованного объема, что не влияет на эксплуатационную надежность конструкции.

Выводы. Полученные результаты имеют важное практическое значение для строительной отрасли, так как позволяют оптимизировать материальные и трудовые затраты на устройство малозаглубленных фундаментов при обеспечении их эксплуатационной надежности в условиях пучинистых грунтов. Разработанные рекомендации могут быть использованы при проектировании малоэтажного строительства в регионах с холодным климатом.

Ключевые слова: малозаглубленный фундамент, ленточный фундамент, экструдированный пенополистирол, теплотехнический расчет, Elcut

Для цитирования: Богданов Р.Р., Мухаметрахимов Р.Х., Зиятдинов Н.И., Мавлюбердинов А.Р., Хузин А.Ф. Совершенствование технологии устройства утепленных малозаглубленных ленточных фундаментов // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с.130-140, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.12, EDN: MZEQMR

Improving the technology of insulated shallow strip foundations

R.R. Bogdanov¹, R.Kh. Mukhametrakhimov¹, N.I. Ziyatdinov², A.R. Mavlyuberdinov¹,
A.F. Khuzin¹

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

² LLC “Kapital”, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Use of shallow foundations in low-rise construction is one of the most economical solutions compared to other types of foundations, as it requires minimal material and labor costs for its construction. In this regard, it is important to study the specifics of the technology of their construction and insulation, taking into account the climatic conditions prevailing in our country. The purpose of this study is to optimize the thermal insulation consumption in the foundation structure by modeling and then calculating the thermal fields of the basement and the foundation structure in winter.

Results. Based on the results of the study, the effective parameters of the thermal insulation contour of a shallow foundation were determined. To avoid freezing of the soil under the base, it is necessary to ensure the following minimum dimensions: the depth of the horizontal layer of thermal insulation is at least 340 mm, the width of the thermal insulation skirt is from 1050 mm. It was found that the proposed solutions for thermal insulation of shallow foundations provide significant optimization of material consumption: the thickness of the horizontal insulation layer is 34% less, the vertical layer is 14% less, and the skirt width is reduced by 8.3% compared to the recommendations of standard STO 36554501-012-2008. At the same time, the total saving in thermal insulation materials reaches 31% of the recommended volume, which does not affect the operational reliability of the structure.

Conclusions. The results obtained are of great practical importance for the construction industry, as they allow optimizing the material and labor costs for the construction of shallow foundations while ensuring their operational reliability in conditions of deep soils. The developed recommendations can be used in the design of low-rise buildings in regions with a cold climate.

Keywords: shallow foundation, strip foundation, extruded polystyrene foam, thermal engineering calculation, Elcut

For citation: Bogdanov R.R., Mukhametrakhimov R.Kh., Ziyatdinov N.I., Mavlyuberdinov A.R., Khuzin A.F. Improving the technology of insulated shallow strip foundations // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p.130-140, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.12, EDN: MZEQMR

1. Введение

Малозаглубленные фундаменты (МЗФ) широко используются в строительстве благодаря своей экономичности и простоте возведения. Однако при строительстве на пучинистых грунтах возникают специфические проблемы.

Пучинистые грунты характеризуются значительным изменением объема при замерзании и оттаивании, что может приводить к деформациям и разрушениям фундаментов. Согласно общепринятым классификациям, пучинистые грунты делятся на несколько категорий: слабопучинистые, среднепучинистые, сильнопучинистые и чрезмерно пучинистые¹. Понимание этих категорий важно для выбора оптимальных методов устройства фундаментов. Особенно широко проблема деформаций сооружений встречается в регионах с глубоким сезонным промерзанием грунтов (более 2 метров) и на территориях, где распространены вечномёрзлые породы. В таких местах преобладают

¹ Кудрявцев В. М. Механика грунтов. — М. : Стройиздат, 1979. — С. 45

сильнопучинистые пылеватые грунты, которые при замерзании создают мощные силы пучения, оказывающие значительное воздействие на строительные объекты².

Уменьшение негативного влияния пучинистых грунтов на работу МЗФ возможно несколькими способами. Для решения проблем осадки фундаментов используются различные методы, включая цементацию и силикатизацию [1-3]. Однако, эти методы не всегда эффективны. Возможна реализация комбинированного метода, например, цементации и установки буронабивных свай, что в определенной степени решит проблему, но усложнит технологические процессы [4]. Плотность грунта существенно влияет на проектирование фундаментов: уплотнение и армирование грунта позволяют уменьшить размеры фундаментов и увеличить их несущую способность [5,6]. На склонах, особенно в горных районах, комбинация грунтовых свай и уплотненного грунта может предотвратить разрушение грунта и обеспечить устойчивость [7].

Особое внимание уделяется технологии утепления фундаментов, как одному из наиболее перспективных направлений в этой области [8-10].

В работе [11] рассматривается проблема строительства малоэтажных зданий на пучинистых грунтах и предлагается решение в виде применения малозаглубленных фундаментов с теплоизоляцией из пенополистирола. Авторами обосновывается эффективность таких фундаментов, которые позволяют исключить промерзание грунта под основанием и, как следствие, устранить воздействие сил морозного пучения. При этом подробно описывается технология устройства малозаглубленных фундаментов с теплоизоляцией, включая использование противопучинных подушек из непучинистого грунта. Особое внимание уделяется расчету деформаций пучения грунтов и совместной работе фундамента с надфундаментными конструкциями. Так же авторами проведены численные исследования, в ходе которых были построены и проанализированы три модели малозаглубленного фундамента с пенополистирольной изоляцией. Результаты исследований показали, что наиболее адекватное моделирование достигается при использовании оболочечных элементов для фундамента и объемных элементов для теплоизоляции.

Расчет малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах требует особого внимания к условиям эксплуатации и особенностям грунтов. В России для этих целей можно опираться на несколько нормативных документов, таких как СП 22.13330.2016 «Фундаменты зданий и сооружений» и ГОСТ 25100-2016 «Грунты. Классификация».

В СП 22.13330.2016 представлены рекомендации по проектированию малозаглубленных фундаментов, расположенных на грунтах, склонных к морозному пучению. Основной этап расчета предполагает вычисление показателя относительной деформации морозного пучения с использованием коэффициента R_f . Данный параметр определяется по расчетной формуле (1), которая учитывает такие характеристики как влажность грунта, его плотность в сухом состоянии и коэффициент, основанный на многолетних наблюдениях за средней температурой воздуха в зимний период.

$$R_f = 0,67\rho_d \left[0,12(w - 0,1) + \frac{w(w - w_{cr})^2}{w_{sat}w_p\sqrt{M_0}} \right] \quad (1)$$

где, w_p – влажность в пределах слоя промерзающего грунта соответственно природная и на границе раскатывания, доли единицы;

w_{cr} – критическая влажность, доли единицы, ниже значения которой в промерзающем пучинистом грунте прекращается перераспределение влаги, вызывающей морозное пучение; определяется по графикам

w_{sat} – полая влагоемкость грунта, доли единицы;

ρ_d – плотность сухого грунта, т/м³;

M_0 – безразмерный коэффициент, численно равный абсолютному значению средней многолетней температуры воздуха за зимний период, определяемый в соответствии с СП 131.13330.2012.

Устойчивость фундаментов проверяют по формуле (2).

² Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. — М. : Стройиздат, 1986. — С. 34

$$\tau_{fn} A_{fn} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_{rf} \quad (2)$$

где τ_{fn} – значение расчетной удельной касательной силы пучения, кПа, принимаемое по 6.8.7 СП 50-101-2004;

A_{fn} – площадь боковой поверхности фундамента, находящейся в пределах расчетной глубины сезонного промерзания, м²;

F – расчетная постоянная нагрузка, кН, при коэффициенте надежности по нагрузке γ_f – 0,9;

F_{rf} – расчетное значение силы, кН, удерживающей фундамент от выпучивания вследствие трения его боковой поверхности о талый грунт, лежащий ниже расчетной глубины промерзания;

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,1;

γ_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1.

Для снижения негативного воздействия морозного пучения предлагается устройство горизонтальной и вертикальной теплоизоляции. Пенополистирол является эффективным изоляционным материалом, выполняющим три функции: теплоизоляцию, распределение нагрузки и ослабление последствий морозного пучения [9, 11-13].

Для теплового расчёта промерзания-оттаивания грунтов весьма эффективно компьютерное моделирование с использованием программных комплексов Elcut, TRISCO [12, 14, 15]. В настоящее время СТО 36554501-012-2008 даёт рекомендации по теплоизоляции фундаментов мелко заложения, однако они могут быть избыточными. Возникает необходимость в проведении расчётов температурного поля для определения оптимальных решений по теплоизоляции, обеспечивающих надёжность и экономию материалов.

Цель работы заключается в определении эффективных параметров теплоизоляционного контура малозаглубленного фундамента для исключения промерзания грунта под основанием.

Задачами работы являются – изучение литературных данных по опыту применения в малоэтажном строительстве малозаглубленных фундаментов, в том числе на пучинистых грунтах; определить эффективные параметры теплоизоляционного контура малозаглубленного фундамента; на основе методов численного моделирования и математического планирования предложить решения по теплоизоляции малозаглубленных фундаментов, которые обеспечивают значительную оптимизацию расхода материалов при обеспечении эксплуатационной надёжности сооружений.

Объект исследований – теплоизоляционный контур малозаглубленного фундамента.

Предмет исследований – температура грунта под подошвой фундамента, толщина вертикальной теплоизоляции, толщина горизонтальной теплоизоляции по периметру здания, ширина теплоизоляционной юбки, расход теплоизоляционного материала.

2. Материалы и методы

Оптимальную толщину горизонтального и вертикального слоя теплоизоляции малозаглубленного ленточного фундамента (МЗЛФ) определяли путем численного моделирования конструкции фундамента, которая представлена на рисунке 1.

Для расчетов температурных полей применяли программное обеспечение Elcut. При создании расчетной модели использовались следующие параметры: температурный режим внутреннего пространства здания +20 °С; средняя температура наружного воздуха -15 °С. Все теплофизические характеристики материалов конструкции фундамента (железобетон и экструдированный пенополистирол) и показатели теплопроводности грунтового основания (песок естественной влажности и глинистый грунт) определены согласно нормативным требованиям СП 50.13330.2012.

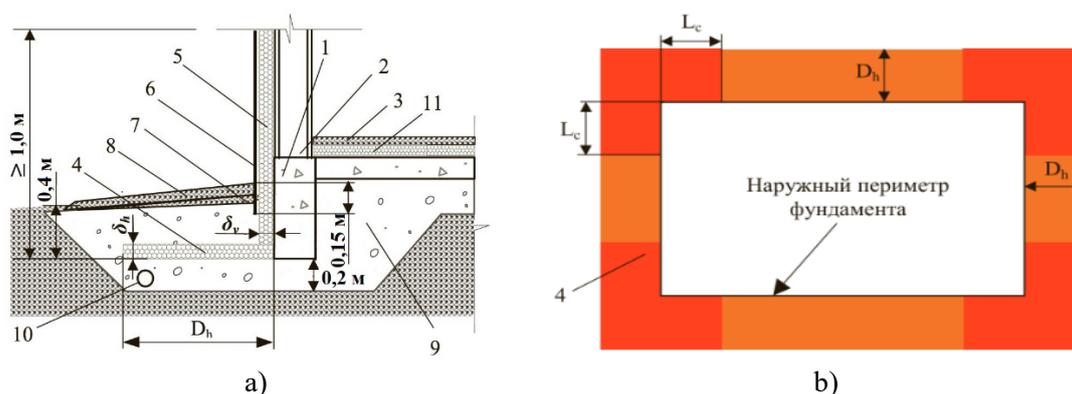


Рис. 1. Конструкция МЗЛФ согласно СТО 36554501-012-2008, вид в разрезе (а), в плане (б).

Условные обозначения: 1 – монолитный железобетонный ленточный фундамент; 2 – ограждающие конструкции здания; 3 – конструкция пола; 4 – горизонтальная теплоизоляция; 5 – вертикальная теплоизоляция; 6 – декоративно-защитное покрытие; 7 – песчаная подготовка; 8 – отмостка; 9 – непучинистый грунт; 10 – дренаж; 11 – теплоизоляция пола (иллюстрация авторов)

Fig. 1. SHSF structure according to the standard STO 36554501-012-2008 in section (a), in plan (b). Symbols: 1 – monolithic reinforced concrete strip foundation; 2 – building enclosing structures; 3 – floor structure; 4 – horizontal thermal insulation; 5 – vertical thermal insulation; 6 – decorative protective coating; 7 – sand preparation; 8 – blind area; 9 – nonfrost-susceptible soil; 10 – drainage; 11 – floor insulation (illustration by the authors)

При проведении исследования была выполнена оптимизация параметров теплоизоляционной защиты МЗЛФ с использованием математического планирования эксперимента. В качестве инструмента оптимизации выбран трехфакторный план второго порядка, реализованный на гиперкубе. Полученная планарная матрица обладает свойствами, приближенными к Д-оптимальным, и включает шесть центральных точек. Данный подход обеспечивает возможность аппроксимации исследуемых зависимостей полиномиальной моделью второго порядка. Для обработки экспериментальных данных применялось современное программное обеспечение Statistica версии 13.2, что позволило провести комплексный анализ полученных результатов.

3. Результаты и обсуждение

Для эффективного использования теплоизоляционных материалов при проектировании малозаглубленного фундамента важно правильно рассчитать параметры утепляющего слоя (его вертикальную и горизонтальную составляющие, а также конфигурацию их размещения). Это позволит поддерживать грунт под фундаментом в незамерзающем состоянии и предотвратить его пучение в холодное время года, которое может привести к деформации конструкций здания.

На первом этапе, путем численного моделирования в ПК Elcut, проведены исследования по определению влияния глубины заложения горизонтальной теплоизоляции H_h и ширины теплоизоляционной юбки D_h на температуру грунта под подошвой МЗЛФ. При моделировании МЗЛФ и расчете вариантов для определения оптимального значения глубины заложения горизонтальной теплоизоляции H_h приняли следующие параметры: глубину заложения горизонтальной теплоизоляции варьировали в диапазоне от 100 до 600 мм от уровня поверхности земли; толщина вертикальной теплоизоляции $\delta_v = 0,15$ м; толщина горизонтальной теплоизоляции по периметру здания $\delta_h = 0,1$ м; ширина теплоизоляционной юбки $D_h = 1,2$ м.

Результаты исследования приведены на рисунке 2.

По результатам исследований построен график зависимости температуры под подошвой МЗЛФ от изменения глубины заложения горизонтальной теплоизоляции H_h (рисунок 2а). Как видно из графика на рисунке 2а и результатов расчета температурного поля модели МЗЛФ при $H_h = 400$ мм (рисунок 2б), в случае глубины заложения горизонтальной теплоизоляции равной 100 и 200 мм под подошвой фундамента наблюдается отрицательная температура грунта, при увеличении глубины заложения до

340 мм и выше наблюдаются положительные значения температуры. Полученные данные подтверждаются с результатами исследований в работе [16]. В дальнейших исследованиях принимаем глубину заложения горизонтальной теплоизоляции $H_h = 400$ мм.

При моделировании МЗЛФ и расчете вариантов для определения оптимального значения ширины теплоизоляционной юбки D_h приняли следующие параметры: ширину теплоизоляционной юбки варьировали в диапазоне от 600 до 1500 мм; $\delta_v = 0,15$ м; $\delta_h = 0,1$ м; $H_h = 400$ мм.

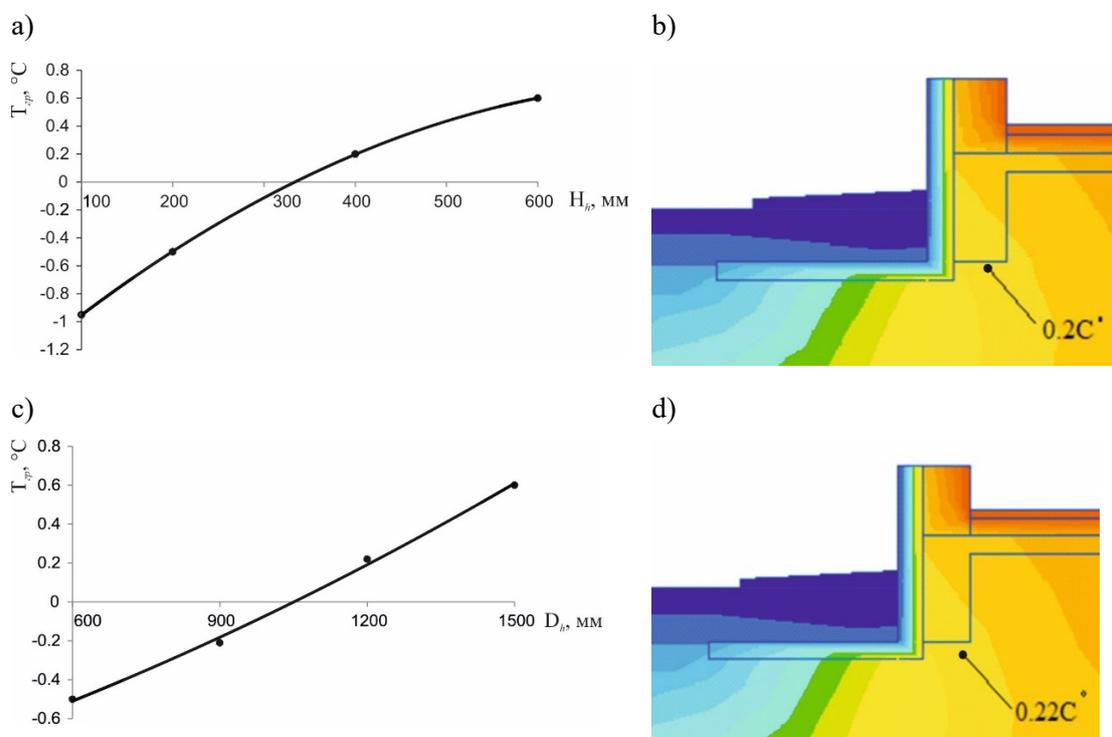


Рис. 2. График зависимости температуры под подошвой МЗЛФ от изменения глубины заложения горизонтальной теплоизоляции H_h (а), от изменения ширины теплоизоляционной юбки D_h (с). Результаты теплотехнического расчета вариантов конструирования узла МЗЛФ с изменением глубины заложения горизонтальной теплоизоляции H_h (b), от изменения ширины теплоизоляционной юбки D_h (d) (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graph of the dependence of the temperature under the SHSF base on a change in the depth of the horizontal thermal insulation H_h (a), on a change in the width of the thermal insulation skirt D_h (c). The results of the thermal engineering calculation of the design options for the SHSF node with a change in the depth of the horizontal thermal insulation H_h (b), on a change in the width of the thermal insulation skirt D_h (d) (illustration by the authors)

На основании экспериментальных данных построена зависимость температурных показателей под подошвой МЗЛФ от параметров теплоизоляционной юбки (рисунок 2с) и представлена визуализация температурного поля для фундамента для случая $D_h=1200$ мм (рисунок 2d). Как видно из графика (рисунок 2с), в случае ширины теплоизоляционной юбки D_h равной 600 и 900 мм под подошвой фундамента наблюдается отрицательная температура грунта, при увеличении ширины горизонтальной теплоизоляции от 1050 мм и более наблюдаются положительные значения температуры.

Оптимизация расхода теплоизоляции проводилась для конструкции МЗЛФ (узел приведен на рисунке 1) с применением метода математического планирования эксперимента. В качестве исходных независимых переменных определены следующие параметры: толщина вертикальной теплоизоляции δ_v – 90-150 мм; толщина горизонтальной теплоизоляции по периметру здания δ_h – 60-100 мм; ширина теплоизоляционной юбки D_h – 900-1300 мм. В качестве отклика выбрана температура грунта ($T_{гр}$) под подошвой фундамента.

Произведенная обработка результатов математического планирования позволила получить следующие математические зависимости:

$$T_{гр} = -2,06 \cdot 10^4 + 342,56X_1 + 0,6X_2 - 5,35 \cdot 10^{-3} X_3 - 4,76 \cdot 10^{-3} X_1 X_2 - 5,95 \cdot 10^{-5} X_1 X_3 + 2,98 \cdot 10^{-6} X_2 X_3 - 1,42X_1^2 - 1,6 \cdot 10^{-4} X_2^2 - 5,8 \cdot 10^{-7} X_3^2 \quad (3)$$

Графическая интерпретация результатов обработки характерных зависимостей приведена на рисунке 3.

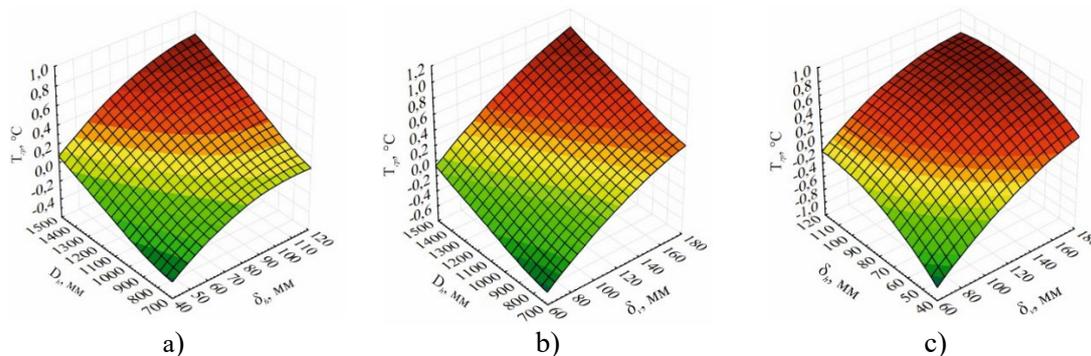
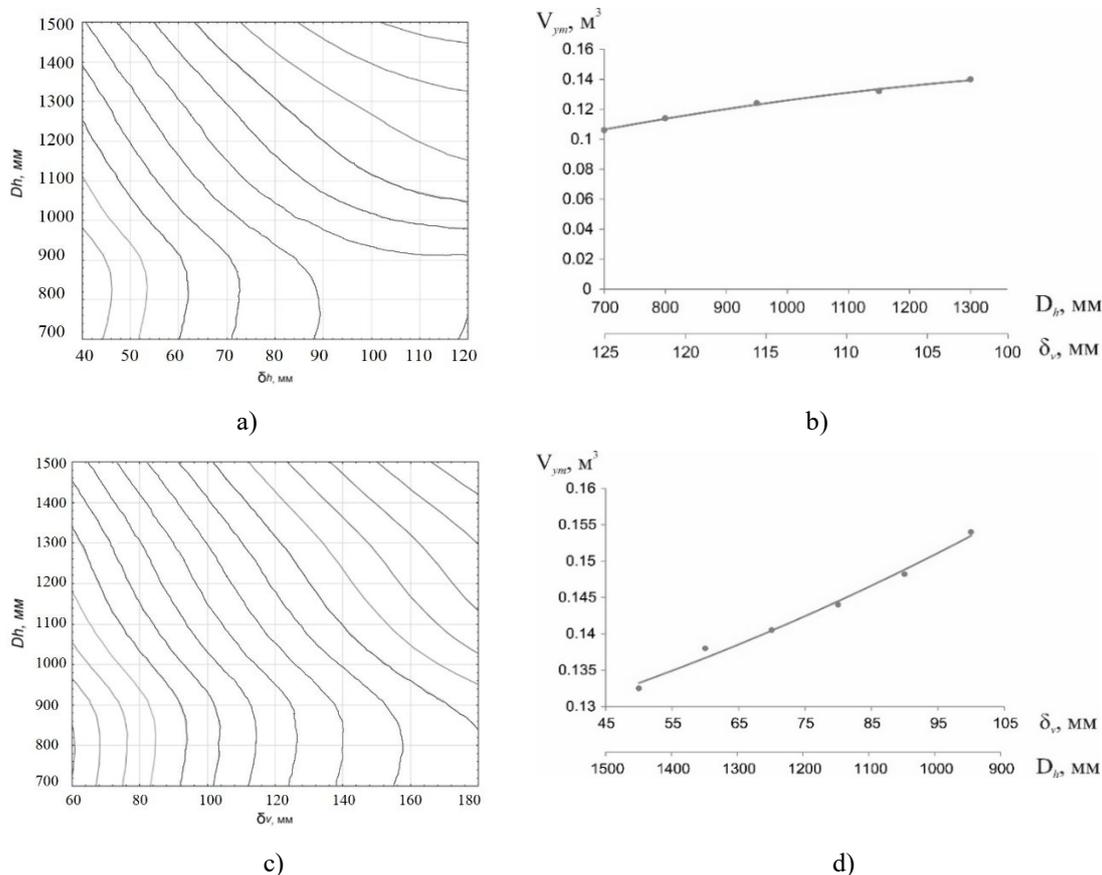


Рис. 3. Влияние параметров теплоизоляции МЗЛФ на температуру грунта под подошвой фундамента ($T_{гр}$): а) $X_1 - \delta_v - \text{const}$; б) $X_2 - \delta_h - \text{const}$; в) $X_3 - D_h - \text{const}$ (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. The influence of the SHSF thermal insulation parameters on the ground temperature under the foundation base ($T_{гр}$): where $X_1 - \delta_v$; $X_2 - \delta_h$; $X_3 - D_h$ (illustration by the authors)

Как видно из рисунка 3 с увеличением толщины вертикальной и горизонтальной теплоизоляции по периметру здания, а также ширины теплоизоляционной юбки возрастает температура грунта под подошвой фундамента. Однако при этом увеличивается расход теплоизоляционного материала. С целью выявления оптимального соотношения параметров теплоизоляции МЗЛФ, при которых обеспечивается положительная температура под подошвой фундамента, а также минимизируется расход утеплителя, построены зависимости на рисунке 4.



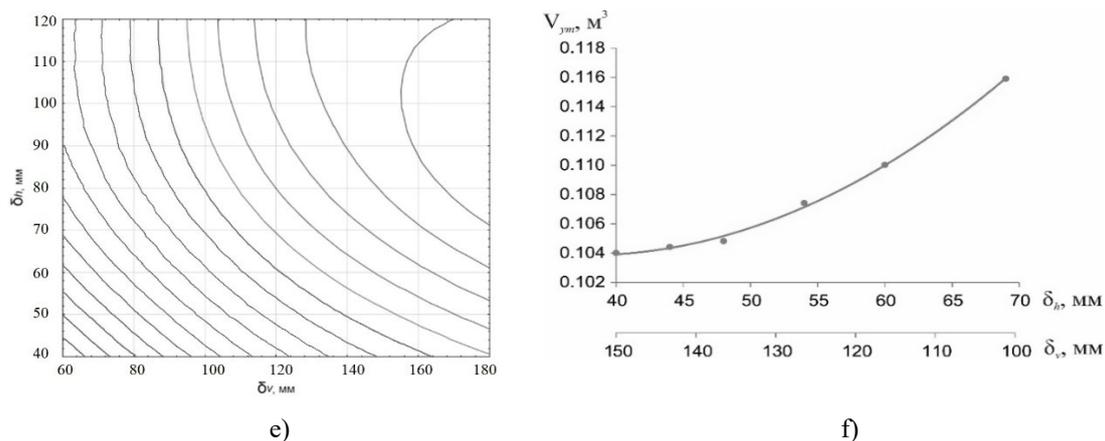


Рис. 4. Влияние параметров теплоизоляции МЗЛФ на T_{gr} ($^{\circ}\text{C}$) (а, с, е) и расход утеплителя (V_{ins} , м³) (б, д, ф): где а), б) $X_1 - \delta_v - \text{const}$; с), д) $X_2 - \delta_h - \text{const}$; е), ф) $X_3 - D_h - \text{const}$ (иллюстрация авторов)
 Fig. 4. The influence of the SHSF thermal insulation parameters on the T_{gr} ($^{\circ}\text{C}$) (а, с, е) and the insulation consumption (V_{ins} , м³) (б, д, ф): where а), б) $X_1 - \delta_v - \text{const}$; с), д) $X_2 - \delta_h - \text{const}$; е), ф) $X_3 - D_h - \text{const}$ (illustration by the authors)

На основе анализа зависимостей по расходу теплоизоляции в зависимости от изменения параметров утепления МЗЛФ (рисунок 4) определены оптимальные параметры теплоизоляции МЗЛФ:

- толщина вертикального слоя утеплителя $\delta_v = 120$ мм;
- толщина горизонтального слоя утеплителя $\delta_h = 60$ мм;
- ширина горизонтальной теплоизоляции по периметру здания $D_h = 1100$ мм.

Для сравнительного анализа полученных данных по теплоизоляции МЗЛФ выполним расчет согласно рекомендациям, СТО 36554501-012-2008. Для г. Казань согласно схематической карте в приложении А рекомендаций индекс мороза равен 70000 градусо-часов. В таблице 2 рекомендаций индексу мороза ИМ = 70000 градусо-часов соответствуют следующие параметры теплоизоляции: $\delta_v = 0,14$ м; $\delta_h = 0,091$ м; $D_h = 1,2$ м.

Сравнение полученных результатов свидетельствует о существенной эффективности предлагаемых решений: требуемая толщина горизонтальной теплоизоляции под отмосткой на 34 % меньше рекомендуемой в СТО 36554501-012-2008, ширина теплоизоляционной юбки на 8,3 % меньше рекомендуемой, толщина вертикальной теплоизоляции фундамента согласно расчетам, меньше рекомендуемой на 14 %. Требуемый объем утеплителя согласно предложенным параметрам утепления МЗЛФ на 31% меньше по сравнению с рекомендуемыми параметрами в СТО 36554501-012-2008.

4. Заключение

1. Анализ литературных данных показал, что применение в малоэтажном строительстве малозаглубленных фундаментов, является одним из наиболее экономичных решений, по сравнению с другими типами фундаментов, так как требует минимальных материальных и трудовых затрат на устройство. Строительство на пучинистых грунтах осложняется проблемой морозного пучения при устройстве малозаглубленных фундаментов. Эффективное решение этой проблемы найдено в использовании фундаментов с теплоизоляцией из экструдированного пенополистирола, которая препятствует промерзанию грунта и исключает негативное воздействие сил морозного пучения на основание.

2. В процессе исследования определены наиболее эффективные параметры теплоизоляционного контура малозаглубленного фундамента. Чтобы исключить промерзание грунта под основанием, необходимо обеспечить следующие минимальные размеры: заглубление горизонтального слоя теплоизоляции не менее 340 мм, ширина теплоизоляционной юбки от 1050 мм. При этом наиболее экономичное решение с точки зрения расхода теплоизоляционных материалов следующее: толщина вертикальной теплоизоляции 120 мм, горизонтальной – 60 мм, ширина юбки 1100 мм.

3. Предложенные решения по теплоизоляции малозаглубленных фундаментов обеспечивают значительную оптимизацию расхода материалов: толщина горизонтального слоя утеплителя сокращается на 34%, вертикального – на 14% меньше, а ширина юбки – на 8,3% по сравнению с рекомендациями СТО 36554501-012-2008. При этом общая экономия теплоизоляционных материалов достигает 31% от рекомендованного объема, что не влияет на эксплуатационную надежность конструкции.

Список литературы/ References

1. Карabanова Л.Е., Ашихмин О.В. Анализ зарубежного и отечественного опыта устройства фундаментов в пучинистых грунтах для малоэтажного строительства: сб. ст. Материалы Всероссийских (национальных) научных конференций – Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» / Санкт-Петербург, 2021. С. 23-29.
Karabanova L.E., Ashikhmin O.V. Analysis of foreign and domestic experience in building foundations in heaving soils for low-rise construction: dig. of art. Materials of All-Russian (national) scientific conferences - A collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute "National Development" / St. Petersburg. 2021. P. 23-29.
2. Селезнев К.А. Струйная цементация грунтов или инъектирование // Universum: технические науки. 2023. № 11-3 (116). С. 22-32.
Seleznev K.A. Jet cementation of soils or injection // Universum: technical sciences. 2023. No. 11-3 (116). P. 22-32.
3. Жадановский Б.В., Гранева А.В., Абрамова С.В. Современные возможности струйной цементации грунтов // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1 (109). С. 1-13.
Zhadanovskiy B.V., Grineva A.V., Abramova S.V. Modern possibilities of jet cementation of soils // Engineering Bulletin of the Don. 2024. No. 1 (109). P. 1-13.
4. Шакиров И.Ф., Кутляева Р.К. Применение метода напорной цементации для укрепления грунтового основания, сложенного из слабых водонасыщенных суглинков: сб. ст. Международной научно-практической конференции – Инновационные подходы к решению современных проблем: комплексный анализ и практическое применение / Уфа, 2024. С. 28-32
Shakirov I.F., Kutlyayeva R.K. Application of the pressure cementation method to strengthen a soil base composed of weak water-saturated loams: dig. of art. International Scientific and Practical Conference – Innovative approaches to solving modern problems: comprehensive analysis and practical application / Ufa. 2024. P. 28-32.
5. Безусова Е.А., Мамаева А.А., Клевеко В.И. Исследование аналитического моделирования грунта основания, укрепленного геосеткой // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 34-40.
Bezusova E.A., Mamaeva A.A., Kleveko V.I. Investigation of analytical modeling of the foundation soil reinforced with a geogrid // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2019. Vol. 2. P. 34-40.
6. Нуждин М.Л., Пономарев А.Б. Расчетное обоснование эффективных схем усиления фундаментов мелкого заложения контурным армированием жесткими армоэлементами // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13. № 4. С. 5-16.
Nuzhdin M.L., Ponomarev A.B. Computational justification of effective schemes for reinforcing shallow foundations with contour reinforcement with rigid armoelements // Construction and Geotechnics. 2022. Vol. 13. No. 4. P. 5-16.
7. N. Ravi Kiran, Ravi S. Jakka, Yogendra Singh. Effective height based interaction surface approach for the seismic design of shallow foundations resting on homogeneous slopes // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2025. Vol. 188, Part B. 109063. DOI:10.1016/j.soildyn.2024.109063.
8. Godlewski T., Mazur L., Szlachetka O., Witowski M, Lukasik S., Koda E. Design of passive building foundations in the polish climatic conditions // Energies. 2021. 14:7855. DOI:10.3390/en14237855.

9. Оразова Д.К., Жания К. Повышение эффективности применения термоизолированных фундаментов на упругом грунтовом оснований для малоэтажных зданий // Наука и техника Казахстана. 2022. № 2. С. 104-116.
Orazova D.K., Zhania K. Improving the efficiency of thermally insulated foundations on elastic soil foundations for low-rise buildings // Science and Technology of Kazakhstan. 2022. No. 2. P. 104-116.
10. Anderson B.R. The effect of edge insulation on the steady-state heat loss through a slab-on-ground floor // Building and Environment. 1993. Vol. 28, Issue 3. P. 361-367. DOI:10.1016/0360-1323(93)90040-A.
11. Мойся А.А., Ватин Н.И. Теплоизолированный малозаглубленный фундамент на пучинистых грунтах // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3 (5). С. 7–10.
Mojsya A.A., Vatin N.I. Insulated shallow foundation on heaving soils // Engineering and Construction Journal. 2009. No. 3 (5). P. 7–10.
12. Mateusz Smoczyk, Barbara Ksit, Anna Szymczak-Graczyk. Numerical analysis of the ground temperature function depending on edge thermal insulation parameters for shallow slab foundations // Energy. 2025. Vol. 314. 134221, DOI:10.1016/j.energy.2024.134221.
13. Гареев И.Ф., Хафизов А.Ф., Ахметшина Р.Р. Цифровой сервис по регламентированному контролю качества объектов индивидуального жилищного строительства // Современные проблемы менеджмента в строительстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2023. С. 82-89.
Gareev I.F., Khafizov A.F., Akhmetshina R.R. Digital service for regulated quality control of individual housing construction facilities // Modern management problems in construction. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Saint Petersburg, 2023. P. 82-89.
14. Korobkov S.V., Mikhailov D. A., Gnyrya A.I., Titov M.M. Modeling the hardening process of monolithic reinforced concrete structures in Elcut Pro software package // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 953. P. 012030. DOI:10.1088/1757-899X/953/1/012030
15. Kraynov D., Medvedeva G., Sadykov R., Ibragimova A. Increasing the energy efficiency of ventilated facades using different insulators. Proceedings of STCCE. International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022: Lecture Notes in Civil Engineering. Switzerland, 2022. P. 299-309.
16. Бек-булатов А.И. Фундаменты мелкого заложения с применением плит «ПЕНОПЛЭКС» // Строительные материалы. 2007. № 3. С. 16-18.
Bek-bulatov A.I. Shallow foundations using "PENOPLEX" slabs // Building materials. 2007. No. 3. P. 16-18.

Информация об авторах

Богданов Руслан Равильевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: bogdanov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-1047-5400

Мухаметрахимов Рустем Ханифович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Зиятдинов Нияз Илгамович, инженер-проектировщик, ООО «Капитал», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: n_ziyatdinov@mail.ru, ORCID: 0009-0000-0541-4390

Мавлюбердинов Азат Рашидович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: mazatr73@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2111-4712

Хузин Айрат Фаритович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: airat-khuzin2010@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8811-8131

Information about the authors

Ruslan R. Bogdanov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: bogdanov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-1047-5400

Rustem Kh. Mukhametrakhimov, doctor of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Niyaz I. Ziyatdinov, design engineer, LLC “Kapital”, Kazan, Russian Federation

E-mail: n_ziyatdinov@mail.ru, ORCID: 0009-0000-0541-4390

Azat R. Mavlyuberdinov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mazatr73@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2111-4712

Airat F. Khuzin, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: airat-khuzin2010@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8811-8131