



УДК 693.55, 699.86

**Богданов Руслан Равильевич**

ассистент

E-mail: [bogdanov.r.r@yandex.ru](mailto:bogdanov.r.r@yandex.ru)

**Ибрагимов Руслан Абдирашитович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Давлятшин Булат Ильнурович**

инженер-проектировщик

E-mail: [bulatdav@yandex.ru](mailto:bulatdav@yandex.ru)

**ООО «Торговый дом КРАФТЦ»**

Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Родины, д. 41

### Совершенствование технологии устройства малозаглубленных энергоэффективных фундаментов

#### Аннотация

*Постановка задачи.* Анализ зарубежного опыта при устройстве фундаментов малоэтажных зданий показывает, что одними из наиболее экономичных, энергоэффективных и требующих меньших трудозатрат на устройство являются малозаглубленные теплоизолированные фундаменты. В этой связи актуально изучение особенностей технологии их устройства и утепления с учетом климатических условий нашей страны. Цель исследования – моделирование тепловых полей под подошвой фундамента для снижения как сил морозного пучения толщины утепления, так и трудоемкости устройства утеплителя.

*Результаты.* Моделированием и расчетом в программном комплексе «Elcut» выявлено, что отсутствие промерзания грунта под подошвой фундамента возможно при горизонтальном утеплении отмостки длиной 1000 мм и толщиной утеплителя 50 мм, при вертикальном утеплении толщиной 100 мм. При таком варианте утепления достигается уменьшение расхода горизонтальной теплоизоляции в 2 раза, а вертикальной – в 1,5 раза по сравнению с требованиями действующих стандартов. При этом происходит существенная экономия на трудозатратах устройства утепления.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в повышении эффективности устройства утепления малозаглубленных фундаментов при обеспечении их эксплуатационной надежности, рационального использования материалов и трудозатрат.

**Ключевые слова:** малозаглубленный фундамент, утепленная шведская плита, экструдированный пенополистирол, теплотехнический расчет, Elcut.

#### Введение

В настоящее время малозаглубленные фундаменты (МЗФ), в том числе малозаглубленные плитные фундаменты типа «утепленная шведская плита» (УШП), активно внедряются при устройстве фундаментов для малоэтажного строительства [1]. В отличие от фундаментов мелкого заложения, глубина заложения которых превышает глубину промерзания грунта в холодное время года, малозаглубленные фундаменты устраиваются в слоях сезоннопромерзающих грунтов [2]. В этой связи при устройстве малозаглубленных фундаментов сокращаются трудовые и материальные затраты, сокращаются сроки строительства [1].

Однако на территории нашей страны широко распространены пучинистые грунты, которые, при определенной влажности и отрицательных температурах, увеличиваются в объеме, что приводит к подъему слоя грунта, находящегося в пределах глины промерзания, и подъему фундамента в случае, если нагрузки от здания, действующие на него, не уравновешивают сил пучения [2, 3]. Данные процессы приводят к

неравномерным деформациям фундамента и надфундаментных конструкций здания, что отрицательно сказывается на их работе [1].

Использование заглубленных фундаментов, глубина заложения которых ниже глубины промерзания грунтов, способствует освобождению подошвы фундамента от воздействия нормальных сил пучения [4-6]. Но в то же время на развитую боковую поверхность глубоко заложённых фундаментов действуют значительные касательные силы пучения [2].

При проектировании фундаментов на основаниях, сложенных пучинистыми грунтами, следует учитывать возможность повышения влажности грунта за счет подъема уровня подземных вод, инфильтрации поверхностных вод и экранирования поверхности [2, 3, 7].

Таким образом, использование МЗФ является приоритетным направлением при устройстве фундаментов малоэтажных зданий в зоне пучинистых грунтов.

Исследования, проведенные в XX веке, показали, что для борьбы с силами морозного пучения есть несколько способов: создание подушки из непучинистых грунтов под фундаментом и вокруг него, а также утепление фундамента и грунта вокруг него [2, 8]. Конструкцию утепленного фундамента впервые в мире использовал архитектор Фрэнк Ллойд Райт в Чикаго (США) в 1930-х годах. Технологию утепленного малозаглубленного фундамента была разработана в Швеции и Норвегии. Итогом разработок стал проект Норвежского Королевского совета по научным и промышленным исследованиям «Мороз и Грунт», результаты которого начали публиковаться в 1976-1978 гг. в виде рекомендаций по технологиям малозаглубленных утепленных фундаментов для строительства частных домов [2, 5, 8].

Более раннее рассмотрение проблемы устройства МЗФ зарубежом способствовало разработке статей, рекомендаций, книг, а также нормативных документов по данной теме, в то время как в нашей стране данный вопрос недостаточно изучен. В нашей стране одним из первых нормативных документов по проектированию МЗФ был ВСН 29-85. Проектирование мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных сельских зданий на пучинистых грунтах. Также рекомендации по расчету МЗФ содержатся в СП 22.13330.2016.

В СП 22.13330.2016 имеются следующие рекомендации по расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах. Следует определить величину относительной деформации (интенсивность) морозного пучения  $\varepsilon_{fh}$  – отношение абсолютной деформации морозного пучения –  $h_f$  к толщине промерзающего слоя –  $d_f$ . Допускается вычислить ее значение через параметр  $R_f$ , определяемого по формуле:

$$R_f = 0,67 \rho_d \left[ 0,012 (\omega - 0,1) + \frac{\omega(\omega - \omega_{cr})^2}{\omega_{sat} \omega_p \sqrt{M_0}} \right], \quad (1)$$

где  $\omega$ ,  $\omega_p$  – влажность в пределах слоя промерзающего грунта соответственно природная и на границе раскатывания, доли единицы;

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

$\omega_{sat}$  – полая влагоемкость грунта, доли единицы;

$\rho_d$  – плотность сухого грунта, т/м<sup>3</sup>;

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

По степени пучинистости грунты подразделяют в зависимости от  $\varepsilon_{fh}$  на пять групп. Принадлежность глинистого грунта к одной из групп также может быть оценена по параметру  $R_f$ .

Помимо традиционного расчета оснований и фундаментов (п. 5 СП 22.13330.2016), необходимо выполнить расчет устойчивости фундаментов по формуле:

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

где  $\tau_{fh}$  – 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,  $m^2$ ;

$F$  – расчетная постоянная нагрузка, кН, при коэффициенте надежности по нагрузке  $\gamma_f = 0,9$ ;

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

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,1;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1.

В СП 22.13330.2016, СП 50-101-2004 и ВСН 29-85 приведены расчеты несущей способности фундаментов на пучинистых грунтах. Также в них даются рекомендации по противопучинным мероприятиям. Одним из методов по устранению эффектов от морозного пучения оснований фундаментов является устройство горизонтальной и вертикальной теплоизоляции, чтобы грунт под фундаментом не промерзал и имел положительную температуру.

Основная идея малозаглубленных фундаментов заключается в изолировании бетонной плиты основания от грунта с помощью утеплителя, в качестве которого применяется экструдированный пенополистирол [8]. Слой утеплителя выполняет одновременно три задачи:

- теплоизоляция плиты фундамента;
- распределение нагрузки на грунт;
- амортизация морозного пучения грунта.

В своих расчетах М.Б. Кассахун [8] подтвердил влияние устройства теплоизоляции фундамента и отмостки здания на глубину промерзания грунта. На рис. 1. представлен график зависимости относительной глубины промерзания грунта основания от толщины слоя пенополистирола:

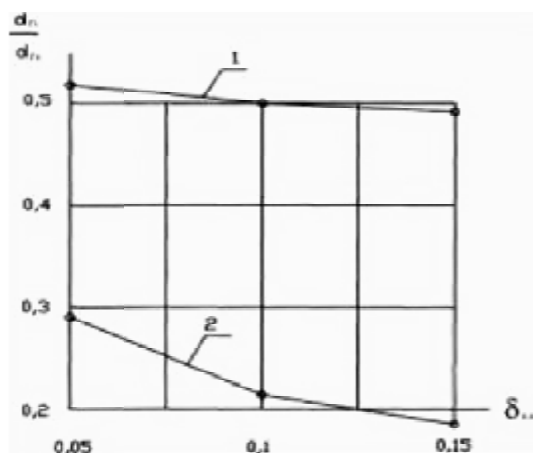


Рис. 1. График зависимости относительной глубины промерзания грунта основания отапливаемого здания от толщины слоя пенополистирола при ширине отмостки: 1 – 0,5 м; 2 – 1,0 м [8]

Анализ полученных данных свидетельствует о существенном влиянии утепления грунта на глубину его промерзания, увеличивающегося по мере роста толщины и ширины слоя утеплителя [8].

В статье В.В. Веселова и В.А. Белякова [9] представлен вариант теплового расчета промерзания-оттаивания грунтов с помощью компьютерных программ.

Одной из востребованных программ для теплового расчета является Elcut [8-9]. Elcut – это программный комплекс для инженерного моделирования физических полей методом конечных элементов [10, 11]. Модуль теплопередачи может быть использован для проектирования и анализа теплового состояния различных систем. Можно вычислять как установившееся распределение температуры, так и изучать процессы нагрева и охлаждения: нелинейные или анизотропные свойства; распределенные, линейные и точечные источники тепла; источники тепла в зависимости от температуры и времени;

задание температур и потоков тепла на границах; граничные условия с теплоотводом конвекцией или излучением [12, 13].

В настоящее время одним из немногих нормативных документов, в котором содержатся рекомендации по теплоизоляции малозаглубленных фундаментов для снижения сил морозного пучения, является СТО 36554501-012-2008 «Применение теплоизоляции из плит полистирольных вспененных экструзионных ПЕНОПЛЭКС при проектировании и устройстве малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах». Однако рекомендации, представленные в данном СТО, выглядят избыточными в плане расхода утеплителей, что неудивительно, так как ПЕНОПЛЭКС является производителем ЭППС. В связи с этим возникает необходимость выполнения расчетов температурных полей с целью определения оптимальных вариантов утепления малозаглубленных фундаментов при обеспечении их эксплуатационной надежности и рационального использования требуемых материалов.

### Методы, материалы и оборудование, применяемые в исследовании

Определение оптимальной толщины утепления малозаглубленного фундамента выполнено путем расчета температурных полей методом конечных элементов в программном комплексе Elcut. В модели использовались следующие параметры: температура окружающей среды (средняя) -15 градусов Цельсия; температура воздуха в помещении 20 градусов Цельсия; теплопроводность использованных материалов (бетон, ЭППС, песок в естественной влажности, грунт) принята по СП 50.13330.2012.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны типовые узлы МЗЛФ и УШП, которые представлены на рис. 2.

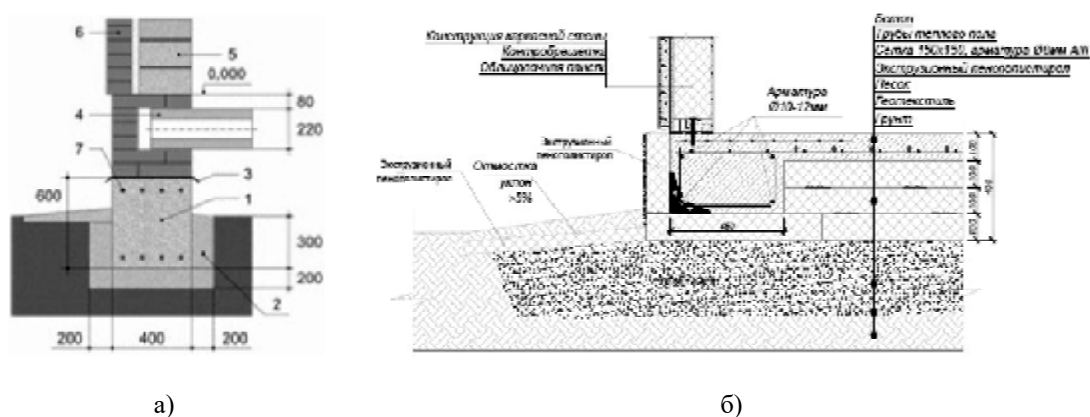


Рис. 2. Типовые узлы МЗЛФ и УШП: а) МЗЛФ; б) УШП [2]

### Результаты исследования

С целью оптимизации узла МЗЛФ необходимо определить требуемые характеристики теплоизоляции (толщина, расположение, длина), которая будет обеспечивать положительную температуру грунта основания под конструкцией фундамента для недопущения увеличения объема пучинистого грунта в зимний период.

Для проведения расчетов МЗЛФ были выделены 4 варианта конструирования узла теплоизоляции данного типа фундамента:

1. только вертикальное утепление (без утепления отмотки) толщиной 100 мм;
2. горизонтальное утепление отмотки длиной 700 мм, толщина утеплителя 50 мм до глубины середины фундамента; вертикальное утепление до глубины середины фундамента толщиной 100 мм;
3. горизонтальное утепление отмотки длиной 700 мм, толщина утеплителя 50 мм до глубины заложения фундамента; вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 100 мм;
4. горизонтальное утепление отмотки длиной 1000 мм, толщина утеплителя 50 мм до глубины заложения фундамента; вертикальное утепление до глубины середины фундамента толщиной 100 мм.

Температурное поле узла МЗЛФ для вышеперечисленных вариантов представлено на рис. 3.

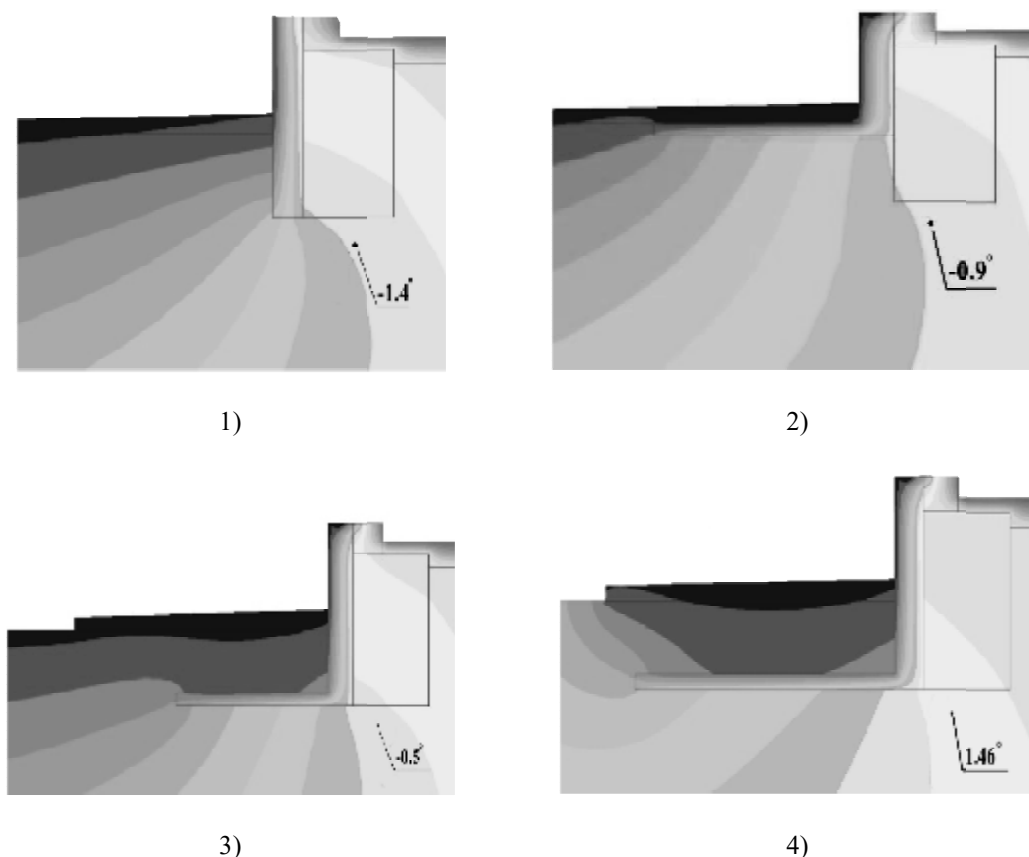


Рис. 3. Температурное поле узла МЗЛФ (иллюстрация авторов):  
1) вариант 1; 2) вариант 2; 3) вариант 3; 4) вариант 4

По результатам моделирования (рис. 3) можно сделать следующие выводы:

В вариантах 1-3 наблюдается отрицательная температура грунта под подошвой фундамента, что впоследствии приводит к расширению и поднятию пучинистого грунта вследствие его промерзания. При этом увеличение толщины утеплителя не приводит к значительному повышению температуры грунта.

В варианте 4 увеличение длины теплоизоляции под отступкой, а также расположение ее в толще грунта приводит к появлению положительной температуры грунта под фундаментом, что говорит о положительном результате. Оптимизация узла МЗЛФ, при которой под фундаментом грунт имеет положительную температуру и, следовательно, не расширяется, говорит об отсутствии деформации пучения грунта.

Для проведения расчетов УШП были выделены несколько вариантов конструирования узла теплоизоляции данного типа фундамента:

1. горизонтальное утепление отступки отсутствует, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 300 мм (3 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 100 мм;

2. горизонтальное утепление отступки 700×50 мм, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 300 мм (3 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 100 мм;

3. горизонтальное утепление отступки 1000×50 мм, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 300 мм (3 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 100 мм;

4. горизонтальное утепление отступки 1000×100 мм, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 300 мм (3 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 100 мм;

5. горизонтальное утепление отмостки  $1000 \times 100$  мм, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 300 мм (3 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 150 мм;

6. горизонтальное утепление отмостки  $1000 \times 100$  мм, горизонтальное утепление под бетоном пола, толщина утеплителя 200 мм (2 слоя по 100 мм); вертикальное утепление до глубины заложения фундамента толщиной 150 мм.

Температурное поле узла УШП для вышеперечисленных вариантов представлено на рис. 4.

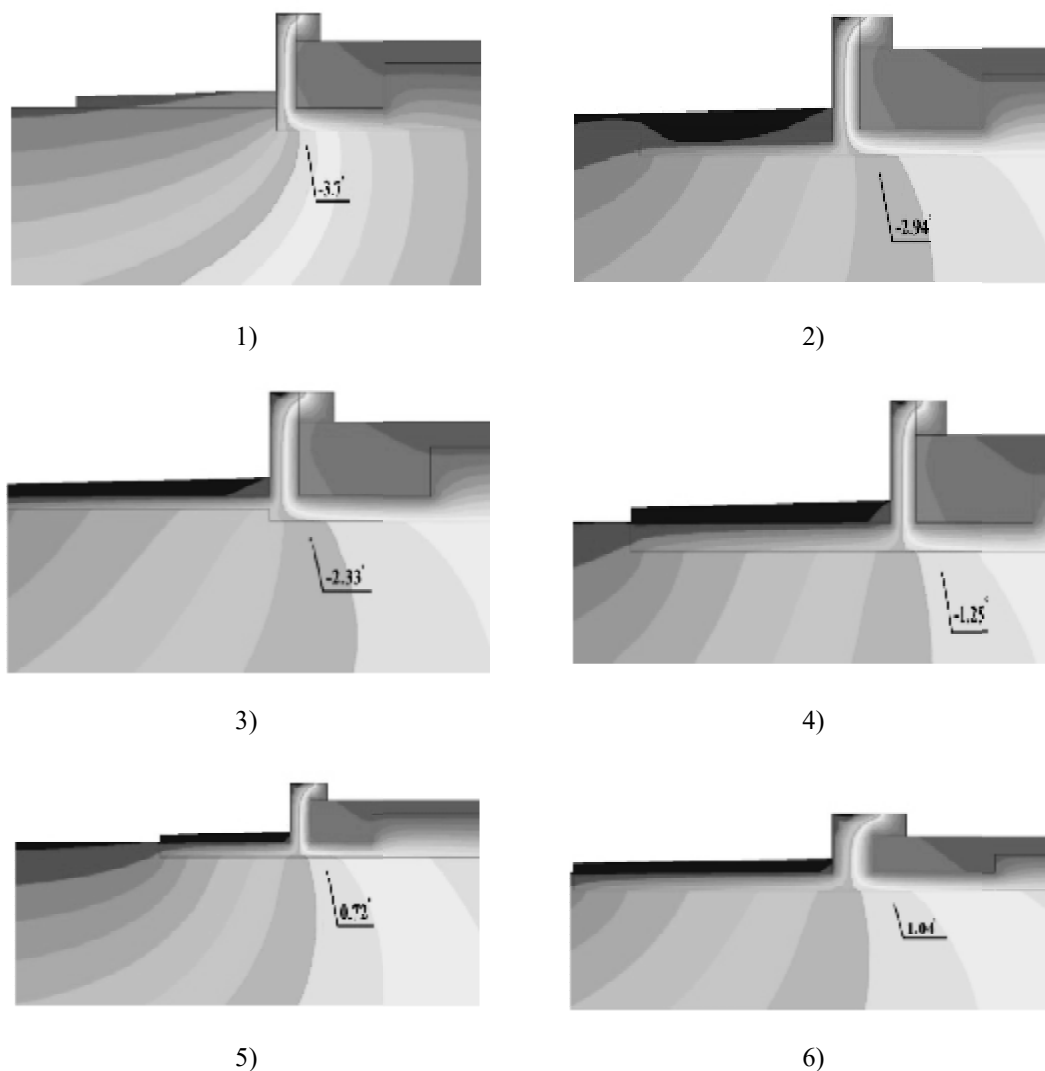


Рис. 4. Температурное поле узла УШП (иллюстрация авторов):

1 – вариант 1; 2 – вариант 2, 3 – вариант 3, 4 – вариант 4; 5 – вариант 5; 6 – вариант 6

По результатам моделирования (рис. 4) можно сделать следующие выводы:

- в вариантах 1-4 наблюдается отрицательная температура грунта под фундаментом, что приводит к расширению и поднятию пучинистого грунта вследствие его промерзания;

- в варианте 5 увеличение длины теплоизоляции под отмосткой, а также положения ее в толще грунта привели к появлению положительной температуры грунта под фундаментом, что говорит о положительном результате. Но для оптимизации узла УШП важно было проверить необходимость толщины теплоизоляции в 300 мм под плитой фундамента, для этого был проведен расчет варианта 6;

- в варианте 6 наблюдается положительная температура грунта под фундаментом при меньшей толщине теплоизоляции, что говорит о достаточном слое утепления в 200 мм.

Снижение толщины утепления по результатам расчета приводит и к снижению трудоемкости выполнения данных работ. Так, по результатам исследования трудоемкости устройства утепления на объекте методом хронометража выявлено уменьшение трудоемкости выполнения работ до 1,5 раз. В дальнейших исследованиях необходимо установить пооперационное снижение трудоемкости выполняемых работ и их взаимосвязь от условий возведения на примере объекта «малый Токио».

### Заключение

1. Анализ литературных данных показал, что одним из наиболее экономичных, энергоэффективных и требующих малых трудозатрат на устройство являются малозаглубленные теплоизолированные фундаменты. При этом оптимизация расхода материалов для теплоизоляции фундамента возможна путем моделирования температурных полей в программных комплексах.

2. По результатам моделирования и расчета, температурных полей МЗЛФ выявлено, что отсутствие промерзания грунта под подошвой фундамента возможно при горизонтальном утеплении отмостки длиной 1000 мм и толщиной утеплителя 50 мм, вертикальном утеплении толщиной 100 мм. При таком варианте утепления достигается уменьшение расхода горизонтальной теплоизоляции в 2 раза, а вертикальной – в 1,5 раза по сравнению с рекомендациями, содержащимися в СТО 36554501-012-2008.

3. При расчете температурных полей узла УШП установлено, что для обеспечения положительной температуры грунта под фундаментом достаточно утеплителя под фундаментной плитой толщиной 200 мм, что на 33 % меньше рекомендуемой толщины. Полученные результаты свидетельствуют о возможности сокращения расхода теплоизоляции при обеспечении эксплуатационной надежности конструкции.

### Список библиографических ссылок

1. Mojsya A. A., Vatin N. I. Теплоизолированный малозаглубленный фундамент на пучинистых грунтах // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2009. № 3 (5). P. 7–10.
2. Design guide for frost-protected shallow foundations / U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research. 1994. 46 p.
3. Chao Bao, Fangze Xu, Gang Chen, Xiaotong Ma, Mingjie Mao, Shangrong Zhang. Seismic Vulnerability Analysis of Structure Subjected to Uneven Foundation Settlement // *Appl. Sci.* 2019. № 9. P. 3507.
4. Байджанов Д. О., Абдрахманова К. А., Кропачев П. А., Рахимова Г. М. Модифицированные бетоны для производства свайных фундаментов // *Инженерно-строительный журнал*. 2019. № 2 (86). С. 3–10.
5. Hongwei Liu, Pooneh Maghoul, Ahmed Shalaby. 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. Vol. 130. P. 613–639.
6. Коровкин В. С. Инженерная кинематическая теория в приложении к расчету свайных фундаментов // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. № 2 (70). С. 57–71.
7. Фурман Б. В., Ярмолинский А. И. Причины и способы борьбы с морозным пучением на автомобильных дорогах : сб. мат. 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института / ТОГУ. Хабаровск, 2017. С. 323–329.
8. Кассахун М. Б. Влияние утепления грунта на глубину его промерзания. // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2002. № 8. С. 39–47.
9. Веселов В. В., Беляков В. А., Сальников В. Б. Решение нестационарной и нелинейной тепловой задачи промерзания – оттаивания грунта методом конечных элементов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 2 (674). С. 95–102.
10. 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.

11. Секарина О. С., Крайнов Д. В., Медведева Г. А., Гиниятулин А. И. Расчетный способ определения коэффициента теплопроводности строительного изделия // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 13. С. 64–65.
12. Glagolev Sergey, Shevtsova Anastasia, Shekhovtsova Svetlana. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 193–198.
13. Lagutkina D. Yu., Saikin M. S. The research and development of inclination angle magnetic fluid detector with a movable sensing element based on permanent magnets // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2017. Vol. 4311. P. 149–151.

**Bogdanov Ruslan Ravil'evich**

assistant

E-mail: [bogdanov.r.r@yandex.ru](mailto:bogdanov.r.r@yandex.ru)**Ibragimov Ruslan Abdirashitovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Davlyatshin Bulat Ilnurovich**

design engineer

E-mail: [bulatdav@yandex.ru](mailto:bulatdav@yandex.ru)**LLC «Trading House KRAFTZ»**

The organization address: 420087, Russia, Kazan, Rodina st., 41

**Improving the device technology of shallow energy-efficient foundations****Abstract**

*Problem statement.* The analysis of foreign experience in the construction of foundations of low-rise buildings shows that one of the most economical, energy-efficient and requiring little labour costs for the device is a shallow heat-insulated foundation. In this regard, it is important to study the features of the technology of their installation and insulation, taking into account the climatic conditions of our country. The purpose of the study is to determine the optimal thickness of the insulation of a shallow foundation.

*Results.* Modelling and calculation in the «Elcut» software package revealed that the lack of freezing of soil under the basement of the foundation is possible with horizontal insulation of the blind area 1000 mm long and 50 mm thick insulation, with vertical insulation 100 mm thick. With this option of insulation, a reduction in the consumption of horizontal thermal insulation by 2 times, and vertical – by 1,5 times is achieved in comparison with the requirements of current standards. At the same time, significant savings are made on the labour costs of the insulation device.

*Conclusions.* The significance of the results of the work for the construction industry is to increase the efficiency of insulation of shallow foundations while ensuring their operational reliability and rational use of the required materials.

**Keywords:** shallow foundation, insulated Swedish plate, extruded polystyrene foam, heat engineering, Elcut.

**References**

1. Mojsya A. A., Vatin N. I. Heat-insulated, shallow foundation on heaving soils // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2009. № 3 (5). P. 7–10.
2. Design guide for frost-protected shallow foundations / U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research. 1994. 46 p.



3. Chao Bao, Fangze Xu, Gang Chen, Xiaotong Ma, Mingjie Mao, Shangrong Zhang. Seismic Vulnerability Analysis of Structure Subjected to Uneven Foundation Settlement // *Appl. Sci.* 2019. № 9. P. 3507.
4. Bajjanov D. O., Abdrakhmanova K. A., Kropachev P. A., Rakhimova G. M. Modified concrete for the production of pile foundations // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal.* 2019. № 2 (86). P. 3–10.
5. Hongwei Liu, Pooneh Maghoul, Ahmed Shalaby. 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. Vol. 130. P. 613–639.
6. Korovkin V. S. Kinematic engineering theory as applied to the calculation of pile foundations // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal.* 2017. № 2 (70). P. 57–71.
7. Furman B. V., Yarmolinsky A. I. Causes and methods of combating frost heaving on highways : the coll. of mat. of the 57<sup>th</sup> student scientific and technical conference / TOGU. Khabarovsk, 2017. P. 323–329.
8. Kassahun M. B. The effect of soil insulation on the depth of freezing // *Stroitel'nye materialy, oborudvane, tekhnologii XXI veka.* 2002. № 8. P. 39–47.
9. Veselov V. V., Belyakov V. A., Salnikov V. B. The solution of non-stationary and non-linear thermal problems of freezing – thawing the soil by the finite element method // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo.* 2015. № 2 (674). P. 95–102.
10. Petrov A. S., Kupriyanov V. N. On the influence of a computer model of structural units with thermal engineering heterogeneity on the accuracy of thermal engineering calculations // *Privolzhskij nauchnyj zhurnal.* 2019. № 1 (49). P. 32–38.
11. Sekarina O. S., Krajnov D. V., Medvedeva G. A., Giniyatulin A. I. The calculation method for determining the thermal conductivity of a building product // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta.* 2017. T. 20. № 13. P. 64–65.
12. Glagolev Sergey, Shevtsova Anastasia, Shekhovtsova Svetlana. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // *Transportation Research Procedia.* 2018. Vol. 36. P. 193–198.
13. Lagutkina D. Yu., Saikin M. S. The research and development of inclination angle magnetic fluid detector with a movable sensing element based on permanent magnets // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2017. Vol. 4311. P. 149–151.