

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №5, Том 11 / 2019, No 5, Vol 11 <https://esj.today/issue-5-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/85SAVN519.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Скворцов Д.С., Краев А.Н., Краев А.Н., Жайсамбаев Е.А. Способы борьбы с морозным пучением сезоннопромерзающих грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений // Вестник Евразийской науки, 2019 №5, <https://esj.today/PDF/85SAVN519.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Skvortsov D.S., Kraev A.N., Kraev A.N., Zhaisambaev E.A. (2019). Ways to combat frost heaving of seasonally freezing soils in the foundations of buildings and structures. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(11). Available at: <https://esj.today/PDF/85SAVN519.pdf> (in Russian)

УДК 624.1

ГРНТИ 67.11.29

**Скворцов Дмитрий Сергеевич<sup>1</sup>**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Ассистент-стажер

Аспирант, направление подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства»,  
направленность «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

E-mail: [tmn.skvorcov@mail.ru](mailto:tmn.skvorcov@mail.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=824443](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=824443)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196094749>

**Краев Андрей Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [kraev-an@mail.ru](mailto:kraev-an@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5679-2084>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=761631](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761631)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57195595139>

**Краев Алексей Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [kraev\\_aln@mail.ru](mailto:kraev_aln@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2316-246X>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=546741](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546741)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190858254>

**Жайсамбаев Еркен Аскерович**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Ассистент-стажер

Магистрант

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

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1028545](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1028545)

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202306280>

---

<sup>1</sup> <https://vk.com/dimon72ru>

## Способы борьбы с морозным пучением сезоннопромерзающих грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений

**Аннотация.** В статье авторами рассматривается проблема строительства фундаментов мелкого заложения на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах связанная с неравномерными деформациями грунтового основания и удорожанием стоимости строительства при заложении фундаментов зданий и сооружений ниже глубины промерзания. Авторами систематизирована информация по существующим способам борьбы с морозным пучением сезоннопромерзающих грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений, среди которых: тепловая мелиорация грунтов, гидромелиорация, физико-химические мероприятия, строительно-конструктивные мероприятия и армирование геосинтетическими материалами (как частный случай строительно-конструктивных мероприятий). Описаны используемые строительные материалы с указанием их характеристик. Приведены результаты экспериментальных исследований ученых по данным способам. Приведены схемы и рисунки рассматриваемых способов борьбы с морозным пучением грунтов. Отражены достоинства и недостатки рассматриваемых способов борьбы с морозным пучением грунтов. Отражены исследования применения геосинтетических материалов как в талых, так и мерзлых грунтах. Приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований, выполненных авторами статьи по изучению эффективности армированной по контуру песчаной подушки, расположенной в основании сезоннопромерзающих пучинистых грунтов. Сформулированы основные выводы по рассмотренным способам борьбы с морозным пучением грунтов.

**Ключевые слова:** сезоннопромерзающие грунты; деформации морозного пучения; пучинистый грунт; морозное пучение; тепловая мелиорация; гидромелиорация; засоление грунтов; гидрофобизация грунтов; фундаменты с обратным уклоном; анкерные сваи ТИСЭ; песчаная подушка; замена грунта; геосинтетики; экспериментальные исследования; мелкозаглубленный фундамент

Строительство фундаментов мелкого заложения на сезоннопромерзающих грунтах сопровождается определенными сложностями в связи с неравномерными деформациями грунтового основания, вызванными морозным пучением, а заглубление фундаментов ниже глубины промерзания грунтов приводит к значительному увеличению стоимости фундамента.

Как показывает практика строительства, расположение фундаментов мелкого заложения ниже глубины промерзания и, даже устройство фундаментов глубокого заложения (свайных), на пучинистых грунтах не всегда целесообразно, а именно, у зданий и сооружений с недостаточной нагрузкой на основание. Данную закономерность отмечали В.П. Марахтанов [1], В.В. Пазиняк [2]. В связи с этим, определение оптимальных способов снижения влияния пучинистости грунтов на конструкции зданий и сооружений становится актуальной задачей.

На данный момент существующие способы уменьшения пучинистости грунтов можно условно разделить на следующие методы:

1. тепловая мелиорация;
2. гидромелиорация;
3. физико-химические мероприятия;
4. строительно-конструктивные мероприятия;

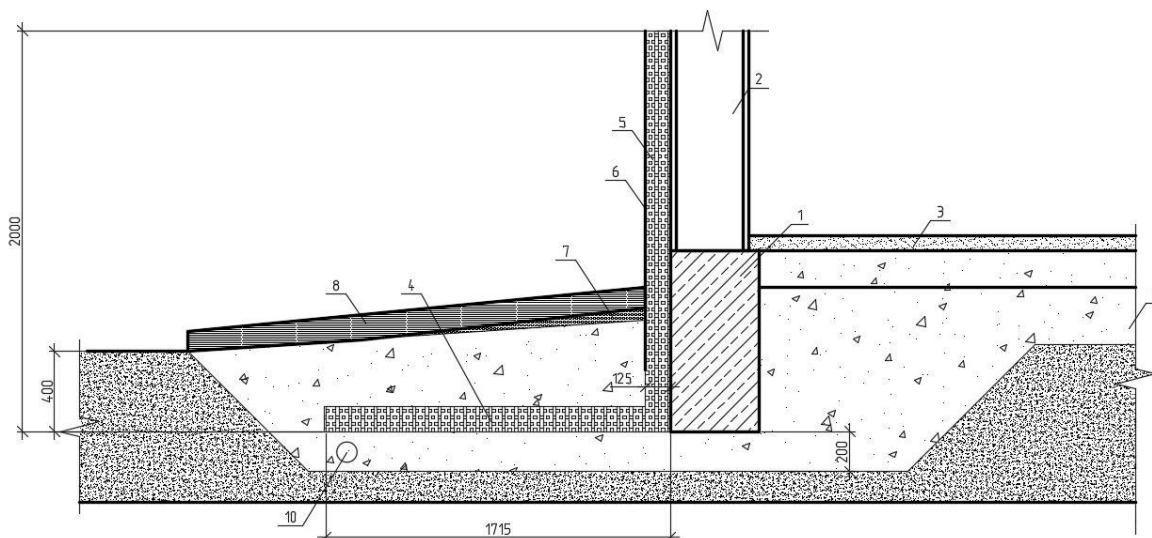
5. армирование геосинтетическими материалами (частный случай конструктивных мероприятий).

**1. Тепловая мелиорация** – мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение деформаций морозного пучения, путем регулирования температурного режима грунтового основания.

Одним из таких способов является устройство местной теплоизоляции грунтов оснований фундаментов. В качестве теплоизоляционных материалов выступают:

- пенопласт ( $\lambda = 0,037-0,049$  Вт/м·С);
- экструдированный пенополистирол ( $\lambda = 0,029-0,030$  Вт/м·С);
- стеклянная и каменная вата ( $\lambda = 0,030-0,053$  Вт/м·С);
- пенополиуретан ( $\lambda = 0,020-0,041$  Вт/м·С);
- пеноизол ( $\lambda = 0,047$  Вт/м·С);
- керамзит ( $\lambda = 0,070-0,016$  Вт/м·С);
- перлитовый песок ( $\lambda = 0,040-0,060$  Вт/м·С);
- пеностекло ( $\lambda = 0,040-0,080$  Вт/м·С);
- крупнозернистый керамзитобетон и пенобетон ( $\lambda = 0,011-0,029$  Вт/м·С).

Эффективность способа заключается в уменьшении промерзания грунтового основания, и, как следствие, уменьшении объемной льдистости грунта. Исследования в этом направлении отражены в работах А.В. Мельникова [3], А.А. Дорофеева [4], И.В. Шестакова [5], С.В. Четкаревой [6], Е.Е. Нуховой [7]. Допустимость применения теплоизоляции малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах описана в СТО 36554501-012-2008 НИИОСП<sup>2</sup>, где в качестве материала утеплителя рассматриваются плиты полистирольные вспененные экструзионные (см. рис. 1).



**Рисунок 1.** Схема укладки теплоизоляции в фундаментах отапливаемых зданий без теплоизоляции пола по СТО 36554501-012-2008 (составлено авторами)

<sup>2</sup> Применение теплоизоляции из плит полистирольных вспененных экструзионных ПЕНОПЛЭКС при проектировании и устройстве малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова; ООО «Пеноплекс СПб». – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008.

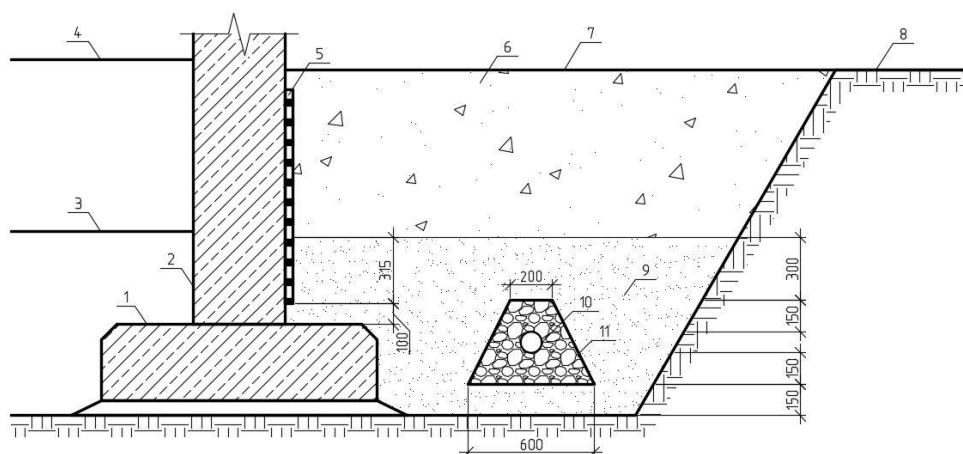
На схеме: 1 – фундамент; 2 – стена здания; 3 – пол здания; 4 – горизонтальная теплоизоляция; 5 – вертикальная теплоизоляция; 6 – защитное покрытие; 7 – песчаная подготовка под отмостку; 8 – асфальтовая или бетонная отмостка; 9 – непучинистый грунт; 10 – дренаж;  $L_c$ ,  $D_h$ ,  $\delta_h$  – габаритные размеры теплоизоляционной юбки.

Достоинством данного способа является уменьшение глубины заложения фундаментов с сопутствующим снижением стоимости и трудозатрат по устройству нулевого цикла строительства за счет уменьшения объема земляных работ по откопке котлована.

К данной группе мероприятий так же относятся применение калориферных установок, прокладка вдоль контура фундаментов системы электропрогрева, инженерных сетей и коммуникаций, выделяющих теплоту, препятствующую промерзанию грунтов. Однако данные мероприятия приводят к значительному удорожанию строительства и увеличению эксплуатационных расходов.

**2. Гидромелиорация** – мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение деформаций морозного пучения, путем уменьшения влажности промерзающего основания фундамента. Эффективность метода заключается в уменьшении льдистости промерзшего массива грунта, и, как следствие, уменьшение морозного пучения.

Наиболее распространенным мероприятием является устройство дренажных систем для отвода поверхностных и подземных вод. Одним из авторов, изучавших данный метод, является А.И. Ярмолинский, предложивший устройство водоотводящего фильтра типа "мягкой дрены" из нетканого иглопробивного геотекстильного материала, сложенный определенным образом и устроенный в грунтовом основании [8]. Данный метод хорошо зарекомендовал себя, однако работы по его выполнению достаточно трудоемки и дорогостоящи, поэтому данный способ не получил широкого распространения в строительстве. Применение дренажей при проектировании зданий и сооружений достаточно подробно отражено и обосновано расчетами в РМД 50-06-2009<sup>3</sup> (см. рис. 2).



**Рисунок 2.** Схема устройства дренажа с изоляционным геокомпозитом по РМД 50-06-2009 (составлено авторами)

На схеме: 1 – фундамент; 2 – стена здания; 3 – пол подвала здания; 4 – чистый пол 1 этажа здания; 5 – геокомпозит; 6 – обратная засыпка; 7 – проектная поверхность; 8 – существующая поверхность; 9 – песок с  $k_f \geq 5$  м/с; 10 – дренажная труба; 11 – Щебень М1000-1200 фракции 3–10 мм.

<sup>3</sup> Дренажи в проектировании зданий и сооружений / ОАО "ЛЕННИИПРОЕКТ"; СПбГАСУ; СПб.: ЗАО "Инженерная ассоциация "Ленстройинжсервис", 2009.

**3. Физико-химические мероприятия** – мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение деформаций морозного пучения, путем изменения физико-химического состава грунтов. Основными способами данных мероприятий являются: пропитка грунтов раствором гидроксида натрия с добавкой негашеной извести, засоление грунтов, гидрофобизация грунтов вяжущим материалом при определенных гидротермических условиях.

Исследования А.Б. Самойленко и В.Н. Шестакова [9] показали, что пропитка грунта раствором гидроксида натрия с добавкой негашеной извести, позволяет снизить относительную деформацию морозного пучения грунта до трех раз.

Эффективность засоления грунтов заключается в уменьшении температуры замерзания грунтовой влаги, и, как следствие, в уменьшении объемной льдистости грунтов, что в свою очередь уменьшает их пучение.

Вопросом эффективности гидрофобизации (придание грунту водоотталкивающих свойств) занимались И.Н. Хаббибулина и М.Е. Бешенов [10]. В качестве вяжущего материала обычно используют: смолы, нефтяные битумы, древесные, торфяные и жидкие каменноугольные дегти.

Данные способы достаточно сложны в устройстве, и к тому же имеют ряд серьезных недостатков, что мешает их повсеместному распространению:

- увеличение теплопроводности грунта;
- увеличение агрессивности рН среды для конструкций;
- непродолжительное действие (до 5–7 лет);
- возможность увеличения пучинистости грунта, после его опреснения (для гидрофобизации грунтов);
- высокая токсичность и огнеопасность (для гидрофобизации грунтов);
- сложность и необходимость переработки и утилизации грунта после прекращения действия добавок.

Перечисленные недостатки накладывают ограничения на использование данных мероприятий для улучшения свойств оснований фундаментов зданий и сооружений капитального строительства, однако не препятствуют использованию физико-химических мероприятий для улучшения свойств оснований фундаментов вспомогательных временных хозяйственно-бытовых сооружений в сезоннопромерзающих пучинистых грунтах.

**4. Строительно-конструктивные мероприятия** – мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение деформаций морозного пучения, путем устройства различных конструктивных мероприятий, направленных на изменение работы системы основание-фундамент-сооружение.

Достаточно большое количество строительно-конструктивных мероприятий было предложено еще в XX веке, большая часть из которых отражена в руководстве по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах<sup>4</sup> разработанном НИИОСП им. Герсеванова в 1979 г., а именно: анкеровка фундаментов и сооружений, устройство жестких подвижных оболочек вокруг фундаментов, снижение площади поперечного сечения и увеличение нагрузки на фундаменты, устройство наклонных боковых граней фундаментов, устройство обмазок и пленок по боковым поверхностям фундаментов. Перечисленные способы

---

<sup>4</sup> Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1979.



хорошо зарекомендовали себя, однако не были универсальными и не решали проблему строительства на пучинистых грунтах повсеместно, что привело к необходимости разработки новых мероприятий. Некоторые из данных мероприятий отражены на рис. 3.

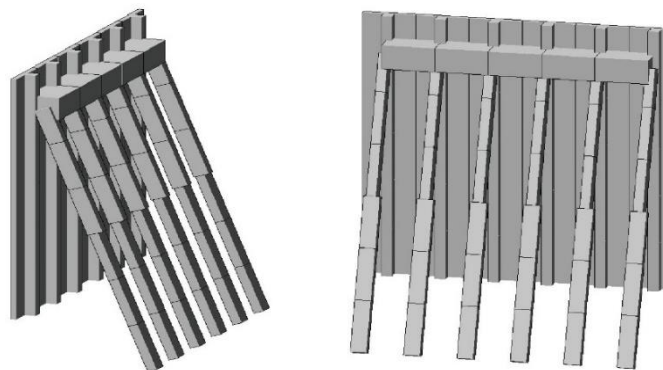


**Рисунок 3.** Строительно-конструктивные мероприятия: а) сваи, покрытые кремнийорганической эмалью; б) фундаменты с обратным уклоном и анкерровкой; в) анкерные сваи по технологии индивидуального строительства и экологии (ТИСЭ) (составлено авторами)

Замена пучинистого грунта на непучинистый. Данный способ позволяет значительно снизить деформации морозного пучения грунтового основания оставляя их в допустимых значениях либо полностью их исключить при замене грунта на всю толщину промерзающего слоя. В качестве замены используют: песчаные грунты крупной и средней крупности [11], щебень, гравий, шлак [12], асбестовый балласт [13], пеностекольный щебень [14]. Недостатком данного способа является достаточно большой объем работ нулевого цикла.

Увеличение прочностных свойств грунтов цементными растворами. Исследованиями в данном направлении занимались Н.М. Красникова, О.В. Хохряков и В.Г. Хозин, установившие в результате проведенных лабораторных экспериментов, что применение ЦНВ (цемента низкой водопотребности, 16 % от массы грунта при содержании ЦНВ-30 4,8 %) позволяет снизить деформации морозного пучения с чрезмернопучинистого до непучинистого состояния [15]. Недостатком данного мероприятия является значительное увеличение стоимости работ за счет проведения цементации грунтов под давлением, и, следовательно, использование специализированной техники нагнетания раствора высокого давления.

Устройство свай фундаментов с обратным уклоном и переменным сечением. О.В. Третьякова и Б.С. Юшков разработали и предлагают использовать данные мероприятия для восприятия сил морозного пучения и снижения деформаций за счет статического потенциала свай. В пределах наклонной поверхности возникает вертикальная составляющая сил морозного пучения, направленная вниз от дневной поверхности частично компенсируя касательные силы [16; 17]. Схема применения анкерных свай переменного сечения в конструкции подпорной стены представлена на рис. 4.



**Рисунок 4.** Анкерные сваи переменного сечения в конструкции подпорной стен [17]

Устройство винтовых и винтовых конусно-спиральных свай. В.И. Аксенов с соавторами определили эффективность и возможность использования винтовых свай в мерзлых грунтах<sup>5</sup>.

И.В. Носков и А.В. Свиридских при проведении ряда лабораторных и натурных экспериментов установили, что применение винтовых конусно-спиральных свай (СВКС) с небольшой площадью соприкосновения сваи с грунтом не позволяет свае перемещаться даже при глубоком его промерзании. Причиной значительного уменьшения деформаций морозного пучения грунтов авторы считают уплотнение грунта в межветвевых промежутках и отжатие грунтовой воды [18]. Общий вид данных свай представлен на рис. 5.

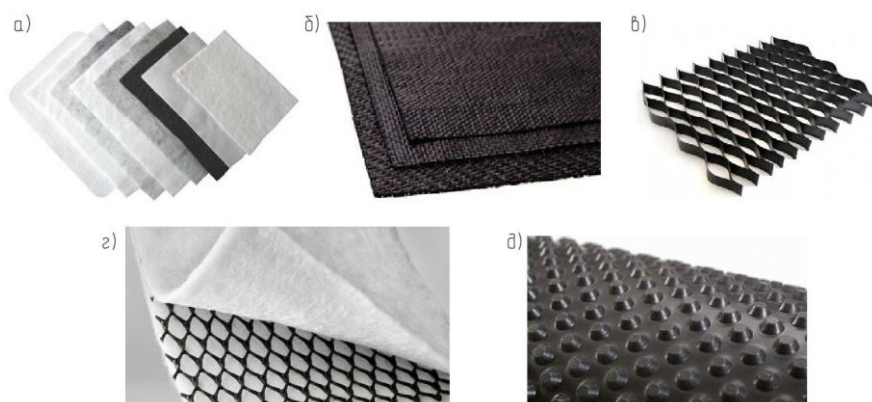


**Рисунок 5.** Винтовые конусно-спиральные сваи (СВКС) [18]

Одним из новых направлений данной группы мероприятий является армирование оснований фундаментов геосинтетическими материалами, исследованиям работы которых в мерзлых грунтах на текущий момент посвящено небольшое количество работ.

**5. Армирование геосинтетическими материалами** – мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение деформаций морозного пучения, путем устройства в грунтовом основании армирующих элементов, обладающих высокой прочностью на растяжение. Данные мероприятия являются одним из эффективных методов улучшения свойств грунтов [19] и относятся к строительно-конструктивной группе.

В настоящее время синтетические материалы (геосинтетики) – быстроразвивающееся семейство материалов. Основными видами, из которых являются: геотекстиль, георешетки, геомембраны, геокомпозиты. Перечисленные геосинтетические материалы отражены на рис. 6.



**Рисунок 6.** Современные геосинтетические материалы: а) геотекстиль; б) тканый геотекстиль; в) георешетка; г) геокомпозит; д) геомембрана (составлено авторами)

<sup>5</sup> Аксенов, В.И. Работа винтовых свай в мерзлых грунтах / В.И. Аксенов, С.Г. Геворкян, А.В. Иоспа, Д.Н. Кривов, И.В. Шмелев // Пространство и время, 2016, т.11, вып. 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/rabota-vintovyh-svay-v-myorzlyh-gruntah>.

Исследованиям применимости геосинтетических материалов в талых грунтах посвящено достаточно большое количество работ авторов: И.Т. Мирсяпов и Р.А. Шарафутдинов [20]; Д.А. Татьянникова и А.Б. Пономарев [21]; Б.С. Юшков и О.А. Санникова [22]; Ан.Н. Краев [23; 24]; Ю.А. Новиков [25]; А.С. Гришина, А.В. Машенко, А.Б. Пономарев [26], А.С. Кузнецова, В.Г. Офрихтер [27]. Авторами установлено, что применение армирующих материалов позволяет в несколько раз увеличить несущую способность грунтового основания в зависимости от расположения и количества армирующих элементов.

Вопросам применимости геосинтетиков в мерзлых грунтах посвящено значительно меньше исследований. А.В. Машенко и А.Б. Пономарев установили недопустимость применения фиброармирования глинистых грунтов по причине значительного (до 2 раз) увеличения деформаций морозного пучения [28]. И.А. Чернышева и А.В. Машенко определили, что армирование пучинистых грунтов тканым геотекстилем и геокомпозитом позволяет снизить деформаций морозного пучения грунтов до 25 % [29]. С.И. Сушков и А.С. Сергеева по результатам лабораторных экспериментов установили, что применение геосинтетической решетки и геотекстильного материала в конструкции дорожной одежды уменьшает накопление влаги и водонасыщение глинистого грунта на стыке с песком, что приводит к уменьшению морозного пучения грунтов [30].

Авторами было предложено и проведено экспериментальное исследование в лабораторных условиях песчаной армированной по контуру подушки в сезоннопромерзающих глинистых грунтах. По результатам проведенных экспериментов было установлено, что применение контурного армирования позволяет снизить деформации морозного пучения на 10 % и исключает процесс смерзания глинистого грунта с песком, снижает усадку грунтового основания в начальный период промерзания на 24 % и просадку грунта после оттаивания на 29 % по сравнению с песчаной подушкой без армирования [31]. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 7.



*Рисунок 7. Общий вид экспериментальной установки, помещенной в морозильную камеру (составлено авторами)*

Исследования конструкций из армированного грунта вышеперечисленными авторами и опыт их применения показали ряд преимуществ по сравнению с традиционными конструкциями и материалами: возможность использования местного грунта в качестве основного строительного материала, возможность строительства в любых условиях, невысокая стоимость при быстроте и простоте возведения, уменьшение затрат на устройство работ нулевого цикла строительства.



Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. На текущий момент не существует универсальных мероприятий, направленных на предотвращение или снижение влияния от сил морозного пучения на конструкции фундаментов зданий и сооружений.
2. Гидромелиорация и цементация грунтов являются эффективными способами позволяющие практически полностью исключить морозное пучение грунтов, однако достаточно дорогостоящи по сравнению с другими мероприятиями, вследствие чего не получили широкого применения на текущий момент.
3. Физико-химические мероприятия сложны в производстве и имеют большое количество недостатков при устройстве оснований фундаментов зданий и сооружений капитального строительства, однако данные недостатки не критичны для устройства оснований фундаментов временных хозяйственно-бытовых сооружений.
4. По совокупности факторов тепловая мелиорация и строительно-конструктивные мероприятия получили наибольшее распространение на текущий момент.
5. Использование геосинтетических армирующих материалов для улучшения свойств сезоннопромерзающих грунтов является перспективным направлением, требующим дальнейшего изучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марахтанов, В.П. Криогенные деформации свайного основания трубопроводов / В.П. Марахтанов // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2013, №5(39). – С. 18–22.
2. Пазиняк, В.В. Экспериментальные исследования устойчивости трубопроводов на крупномасштабной грунтовой модели / В.В. Пазиняк, Н.Б. Кутвицкая, М.А. Минкин // Криосфера земли. 2006. т. X. №1 – С. 51–55.
3. Мельников, А.В. Влияние теплоизоляции фундаментов на изменение температурного режима сезонно-промерзающего основания в районе глубокого сезонного промерзания / А.В. Мельников // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2012, № 6(35). – С. 77–83.
4. Дорофеев, А.А. Влияние использования теплоизоляционных материалов на пучинистые свойства грунтов основания дорог / А.А. Дорофеев, В.А. Крутиков // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – №2(16). – С. 51–56.
5. Шестаков, И.В. Исследование температурного режима пучинистых грунтов южных районов Дальнего Востока / И.В. Шестаков // Фундаментальные исследования. – 2016. – №11–2. – С. 328–332.
6. Четкарева, С.В. Способ защиты фундамента от морозной пучинистости заторфованного грунта с помощью пеноплекса / С.В. Четкарева, Е.Е. Нухова, И.Н. Чернышов, В.А. Крутиков, Т.М. Михалкина, Г.И. Яковлев // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке. – 2015. – С. 830–834.
7. Нухова, Е.Е. Эффективность использования керамзита в качестве теплоизоляционного материала при возведении фундамента на глинистом основании / Е.Е. Нухова, И.Н. Чернышов, С.В. Четкарев, В.А. Крутиков, Т.М.

- Михалкина, Г.И. Яковлев // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке. – 2015, С. 964–969.
8. Ярмолинский, А.И. Использование геосинтетических материалов для улучшения водно-теплового режима автомобильных дорог / А.И. Ярмолинский, В.В. Лопашук, А.В. Лопашук, В.С. Светенок // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения, 2013. – С. 87–92.
  9. Самойленко, А.Б. Влияние раствора гидроксида натрия на морозное пучение глинистого грунта / А.Б. Самойленко, В.Н. Шестаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. – Челябинск 2010. – №33(209). – С. 29–31.
  10. Хабибуллина, И.Н. Использование укрепленных грунтов для устройства противопучинистых слоев на автомобильных дорогах / И.Н. Хабибуллина, М.Е. Бешенов, Т.И. Гелеверя // Известия КазГАСУ, 2011, №2(16). – С. 257–261.
  11. Карлов, В.Д. Сезоннопромерзающие грунты как основания сооружений: дис. на соиск. уч. степ. д-ра. техн. наук (05.23.02) / Карлов Владислав Дмитриевич; СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 1998, 349 с.
  12. Шорин, В.А. Научные разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах / В.А. Шорин, Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: технические науки, 2018, №1(1). – С. 94–99.
  13. Щепотин, Г.К. Повышение морозоустойчивости земляного полотна автомобильных дорог / Г.К. Щепотин, М.А. Машкин // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2015, №3. – С. 85–91.
  14. Мосолов, Г.В. Опытное применение пеностекольного щебня при строительстве объектов магистральных трубопроводов в сложных геокриологических условиях / Г.В. Мосолов, В.А. Кумаллагов // Наука и технологии трубопроводного транспорта и нефтепродуктов, 2019, №2(9). – С. 174–180.
  15. Красникова, Н.М. Влияние цемента низкой водопотребности на степень пучинистости пылеватых грунтов / Н.М. Красникова, О.В. Хохряков, В.Г. Хозин // Известия КГАСУ, 2012, №3(21). – С. 139–143.
  16. Третьякова, О.В. Сваи с обратным уклоном поверхности для транспортных сооружений в сезонно промерзающих грунтах / О.В. Третьякова // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика. Материалы международной научно-практической конференции. – Новосибирск 2017. – С. 207–214.
  17. Третьякова, О.В. Вопросы оптимизации формы свай тонких подпорных стен / О.В. Третьякова, Б.С. Юшков // Материалы конференции. Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – Пермь 2015. – С. 522–533.
  18. Носков, И.В. Работа свай винтовых конусно-спиральных в условиях морозного пучения грунтов / И.В. Носков, А.В. Свидаерских // Вестник гражданских инженеров, 2019, №1(72). – С. 67–75.
  19. Гришина, А.С. Результаты исследований прочностных характеристик глинистых грунтов, армированных различными геосинтетическими материалами / А.С. Гришина, А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – Пермь 2015. – №4. – С. 9–21. DOI 10.15593/240935125/2015.04.01.
  20. Мирсаяпов, И.Т. Несущая способность и осадки грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами / И.Т.

- Мирсаяпов, Р.А. Шарафутдинов // Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – СПб 2017. – С. 169–174.
21. Татьянаникова, Д.А. Модельные штамповые испытания по исследованию работы армированных фундаментных подушек под нагрузкой / Д.А. Татьянаникова, А.Б. Пономарев // Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – СПб 2017. – С. 219–223.
  22. Юшков, Б.С. Устройство и разработка конструкции земляного полотна на слабых грунтах / Б.С. Юшков, О.А. Санникова // Транспортные сооружения, 2014, №4(4). – С. 1–8.
  23. Краев, А.Н. Исследование работы песчаной армированной подушки с криволинейной подошвой в условиях слабых грунтов / А.Н. Краев, В.Ф. Бай // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2014, № 3. – С. 107–110.
  24. Краев, А.Н. Экспериментальные исследования работы слабого глинистого основания, усиленного песчаной армированной подушкой с криволинейной подошвой / А.Н. Краев // Научно-технический вестник Поволжья, 2013, № 5. – С. 221–224.
  25. Новиков, Ю.А. Исследование работы песчаных армированных по контуру свай в слабых глинистых основаниях под ленточными фундаментами: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук (05.23.02) / Новиков Юрий Александрович; ТюмГАСУ. – Тюмень, 2015, 140 с.
  26. Гришина, А.С. Результаты исследований прочностных характеристик глинистых грунтов, армированных различными геосинтетическими материалами / А.С. Гришина, А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика – Пермь 2015. – №4. – С. 9–21.
  27. Кузнецова, А.С. Оценка прочности фиброармированного песка по результатам испытаний на трехосное сжатие / Вестник ПНИПУ. Геотехника – Пермь 2012. – №2. – С. 37–44.
  28. Мащенко, А.В. Анализ влияния армирования фиброволокном на свойства глинистых грунтов в условиях сезонного промерзания и оттаивания / А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – Волгоград 2016. – №44–1(63). – С. 40–50.
  29. Чернышева, И.А. Сравнение методов защиты от морозного пучения грунта / И.А. Чернышева, А.В. Мащенко // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – Пермь 2016. – Том 4, №4. – С. 64–72.
  30. Сушков, С.И. Экспериментальное сравнение двух конструкций дорожных одежд с применением георешеток, устраиваемых на склонах лесовозных дорог, в основании которых водонасыщенный глинистый грунт / С.И. Сушков, А.С. Сергеев // Лесотехнический журнал. – Воронеж 2017. – №1. – С. 126–136.
  31. Скворцов, Д.С. Экспериментальные исследования песчаной подушки с контурным армированием в сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / Д.С. Скворцов, Ан.Н. Краев, Ал.Н. Краев, П.И. Васенин // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2017, № 5(64). – С. 98–102.

**Skvortsov Dmitriy Sergeevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: tmn.skvorcov@mail.ru

**Kraev Andrey Nikolaevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: kraev-an@mail.ru

**Kraev Aleksey Nikolaevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: kraev\_aln@mail.ru

**Zhaisambaev Erkn Askerovich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: zhaisambaeverkn@mail.ru

## **Ways to combat frost heaving of seasonally freezing soils in the foundations of buildings and structures**

**Abstract.** In the article, the authors consider the problem of building shallow foundations on seasonally freezing heaving soils associated with uneven deformations of the soil base and the cost of construction when laying the foundations of buildings and structures below the freezing depth. The authors systematized information on existing methods of dealing with frost heaving of seasonally freezing soils in the foundations of buildings and structures, including: thermal reclamation of soils, hydromelioration, physical and chemical measures, construction and structural measures and reinforcement with geosynthetic materials (as a special case of construction and construction measures). The building materials used are described with an indication of their characteristics. The results of experimental studies of scientists using these methods are presented. Schemes and drawings of the considered methods of dealing with frost heaving of soils are given. The advantages and disadvantages of the considered methods of combating frost heaving of the soil are reflected. Studies of the use of geosynthetic materials in both thawed and frozen soils are reflected. The results of experimental laboratory studies carried out by the authors of the article on the effectiveness of the contour reinforced along the contour of a sand cushion located at the base of seasonally freezing heaving soils are presented. The main conclusions on the considered methods of combating frost heaving of soils are formulated.

**Keywords:** seasonally freezing soils; frost heaving deformations; heaving soil; frost heaving; thermal reclamation; hydromelioration; soil salinization; soil hydrophobization; reverse slope foundations; TISE anchor piles; sand cushion; soil replacement; geosynthetics; experimental studies; shallow