

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

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/22SAVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Скворцов Д.С., Краев А.Н., Краев А.Н. Обоснование параметров армированной по контуру теплоизоляционной подушки в условиях распространения сезоннопромерзающих пучинистых грунтов // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/22SAVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Skvortsov D.S., Kraev A.N., Kraev A.N. (2021). Substantiation of the parameters of a contour-reinforced heat-insulating cushion in the conditions of propagation of seasonally freezing heaving soils. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/22SAVN321.pdf> (in Russian)

Скворцов Дмитрий Сергеевич¹

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Ассистент-стажер кафедры «Строительные конструкции»,
аспирант, направление подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства»,
направленность «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
E-mail: tmn.skvorcov@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=824443

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

Краев Алексей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Профессор кафедры «Строительные конструкции»,
заведующий центральной научно-исследовательской лабораторией «Строительство на вечной мерзлоте»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kraev_aln@mail.ru

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

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546741

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

Краев Андрей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Доцент кафедры «Строительные конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: kraev-an@mail.ru

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

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761631

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

Обоснование параметров армированной по контуру теплоизоляционной подушки в условиях распространения сезоннопромерзающих пучинистых грунтов

Аннотация. Авторами проведен обзор существующих исследований в области армирования талых, мерзлых и сезоннопромерзающих грунтов.

Представлена схема конструктивного решения армированной по контуру теплоизоляционной подушки под малозаглубленным фундаментом для малоэтажных зданий и

¹ <https://vk.com/dimon72ru>

вспомогательных хозяйственно-бытовых сооружений на ленточных фундаментах с нагрузками на основание как правило не превышающих 80–120 килоньютон на 1 погонный метр фундамента. Авторами произведено обоснование применимости теплоизолятора в виде гранулированной пеностеклокерамики.

Описаны основные параметры предложенного конструктивного решения: толщина подушки, ширина подушки, угол наклона боковых граней подушки к вертикали, величина заполнения материала подушки теплоизолятором.

В статье отражена необходимость использования и работа контурного армирования в виде тканого геосинтетического материала Геоспан с водонепроницаемой пленкой. Приведены технические характеристики данных материалов.

Авторами приводятся результаты исследования влияния соотношения ширины фундамента к ширине представленной подушки на величину пучения грунта, влияния толщины подушки на величину пучения грунта. Авторами рассмотрены варианты предложенного конструктивного решения с различными геометрическими параметрами.

Приведены результаты численного моделирования промерзания и напряженно-деформированного состояния грунтового основания с предложенным конструктивным решением, выполненных авторами статьи по изучению эффективности армированной по контуру теплоизоляционной подушки, расположенной в основании сезоннопромерзающих пучинистых грунтов под ленточными малозаглубленными фундаментами.

По проведенному исследованию определены параметры представленного конструктивного решения, эффективность работы которого будет исследована в натурном эксперименте.

Сформулированы основные выводы по проведенному исследованию.

Ключевые слова: мелкозаглубленный фундамент; сезоннопромерзающие грунты; деформации морозного пучения; пучинистый грунт; морозное пучение; тепловая мелиорация; песчаная подушка; замена грунта; геосинтетики; пеностеклокерамика; численное моделирование; qFrost; Femmodels; Termoground

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] и др. В связи с этим, разработка способов снижения влияния пучинистости грунтов на конструкции зданий и сооружений является актуальной задачей. Данная работа является частью диссертационного исследования Скворцова Д.С.

На текущий момент армирование оснований геосинтетическими материалами в талых грунтах нашло широкое применение при строительстве (см. рис. 1). Изучением армированных оснований в талых грунтах занимались: А.С. Полуновский [3], К.Д. Джоунс [4], Г.Ф. Новожилов [5], Х.Ф. Ахмед [6], Х.А. Турсунов [7], О.А. Ещенко [8], В.И. Клевеко [9], В.Д. Казарновский [10], А.Г. Полуновский [11], Ф.Ф. Зехниев [12], А.Б. Пономарёв [13], А.П. Кремнёв [14], О. Бизиман [15], В.В. Воронцов [16], Ал.Н. Краев [17; 18], А.А. Тажигулов

[19], В.М. Антонов [20], И.Т. Мирсаяпов [21], Д.А. Татьянаникова [22], Б.С. Юшков [23], А.С. Гришина [24], А.С. Кузнецова [25], I. Abdullah [26], F. Ahmad [27], M. Nataraj [28] и др.

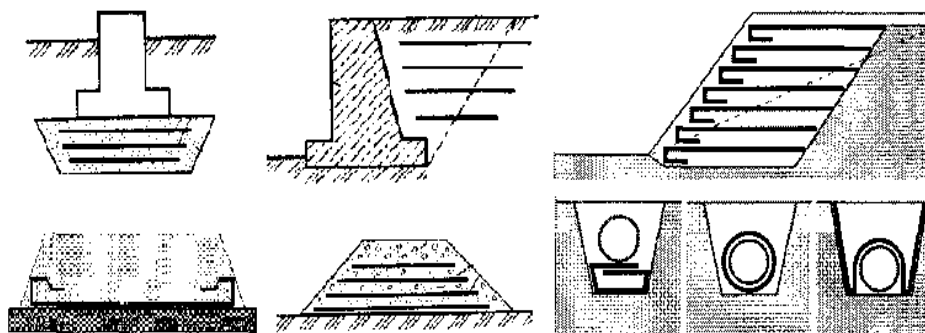
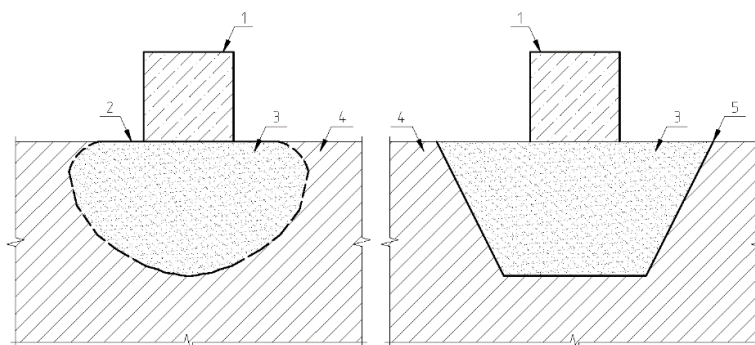


Рисунок 1. Различные схемы существующих армированных грунтовых талых оснований (составлено авторами)

Количество работ, посвященных изучению армированных оснований в мерзлых и сезоннопромерзающих грунтах на текущий момент значительно меньше, ими занимались: А.В. Машенко и А.Б. Пономарев [29], И.А. Чернышева [30], С.И. Сушков [31] и др.

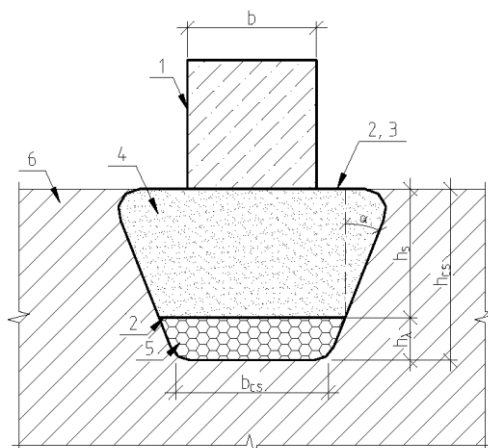
Эффективность применения песчаных подушек с контурным армированием в талых грунтах подтверждена исследованиями Краева Ан.Н. [32], а в сезоннопромерзающих грунтах без армирования Карловым В.Д. [33] и др. (см. рис. 2). На основании данных исследований было предложено использовать трапецевидную форму подушки с применением тканого геосинтетического материала в условиях сезоннопромерзающих грунтов для малоэтажных зданий и вспомогательных хозяйственно-бытовых сооружений на ленточных фундаментах. Дополнительно, для уменьшения величины промерзания грунта под подушкой, и, как следствие, уменьшения деформаций морозного пучения в конструктиве подушки произведена замена части материала заполнения (песка) на гранулированный сыпучий теплоизоляционный материал имеющий достаточные прочностные и деформационные характеристики для восприятия предполагаемой нагрузки от фундамента, которая чаще всего не превышает 80–120 кН (килоньютон) на 1 погонный метр для малозаглубленных фундаментов². Полученная схема конструктивного решения представлена на рис. 3.



1 – ленточный фундамент; 2 – тканый геосинтетик; 3 – песок; 4 – грунтовое основание; 5 – водонепроницаемая пленка

Рисунок 2. Схемы песчаной подушки Краева Ан.Н. (слева) и Карлова В.Д. (справа), расположенные в талом и сезоннопромерзающем грунтовом основании соответственно. На схеме (составлено авторами)

² Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М., 1985 год.



1 – ленточный фундамент; 2 – тканый геосинтетик; 3 – водонепроницаемая пленка; 4 – песок; 5 – гранулированный сыпучий теплоизоляционный материал; 6 – грунтовое основание; b_{cs} – ширина подушки; h_{cs} – толщина подушки; h_l – толщина заполнения подушки гранулированным сыпучим теплоизоляционным материалом; h_s – толщина заполнения подушки песком; α – угол наклона боковых граней к вертикали

Рисунок 3. Предложенная исследуемая подушка с определяемыми параметрами. На схеме (составлено авторами)

В качестве гранулированного сыпучего теплоизоляционного материала была выбрана пеностеклокерамика производства ООО (общество с ограниченной ответственностью) «Заполяэнергорезерв» (см. рис. 4), технические характеристик которой представлены в таблице 1.



Рисунок 4. Общий вид пеностеклокерамики производства ООО «Заполяэнергорезерв» (составлено авторами)

Таблица 1

Технические характеристики пеностеклокерамики

| Показатель | Значение |
|---|----------|
| Фракция, мм | 10–12 |
| Плотность насыпная ρ , г/см ³ | 0,300 |
| Модуль общей деформации, МПа | 29,0 |
| Предел прочности при сжатии, МПа | 4,84 |
| Теплопроводность в засыпке λ , Вт/м*°С | 0,100 |
| Стойкость против силикатного распада, %, не более | 3 |

Составлено авторами

Физико-механические характеристики песка подушки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики песка подушки

| Показатель | Значение |
|--|----------|
| Плотность грунта ρ , г/см ³ | 1,88 |
| Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³ | 1,75 |
| Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³ | 2,64 |
| Коэффициент пористости e , д.ед. | 0,58 |
| Влажность грунта w , % | 6,0 |
| Степень водонасыщения S_r , д.ед. | 0,273 |
| Модуль деформации E , МПа | 11,0 |
| Удельное сцепление, кПа | 2,0 |
| Угол внутреннего трения, град. | 31 |

Составлено авторами

В качестве материала, формирующего подушку по наружному контуру, а также материала выполняющего функцию разделителя сред заполнителей подушки (песок и гранулированный утеплитель) выбран тканый геосинтетик «Геоспан ТН 50» уложенный поверх полиэтиленовой пленки толщиной 200 микрон для исключения проникновения влаги в подушку и, как следствие, увеличения ее теплопроводности и ухудшения прочностных и деформационных характеристик в процессе промерзания-оттаивания грунтового основания. Армирующий элемент по контуру подушки ограничивает поперечные деформации материала заполнения подушки при нагружении фундамента как в талом состоянии грунтового основания, так и в процессе промерзания-оттаивания деятельного слоя при котором прочностные и деформационные характеристики грунта ухудшаются, а также исключает процесс смерзания глинистого грунта основания с материалом заполнения подушки, что уменьшает деформации морозного пучения.

Расположение гранулированного утеплителя производится в нижней части подушки по причине необходимости распределения и уменьшения давления на пеностеклокерамику, а также предотвращения проникновения со стороны боковых поверхностей подушек и формирования фронта промерзания под фундаментом.

Технические характеристики «Геоспан ТН 50» представлены в таблице 3.

Таблица 3

Технические характеристики «Геоспан ТН 50»

| Показатель | Значение |
|--|------------|
| Плотность, г/м ² | 365 |
| Разрывная нагрузка в продольном и поперечном направлении, кН/м / кгс | 50,0/500,0 |
| Прочность при продавливании, кН | 9,0 |
| Водопроницаемость при давлении 10 кПа, л/м*с | 24 |
| Предельное удлинение по длине, % | 18 |
| Предельное удлинение по ширине, % | 15 |

Составлено авторами

Для моделирования грунтовых условий использовались данные инженерно-геологических изысканий предполагаемой площадки проведения натурного эксперимента. Физико-механические характеристики ИГЭ (инженерно-геологических элементов) грунтового основания представлены в таблице 4.

Таблица 4

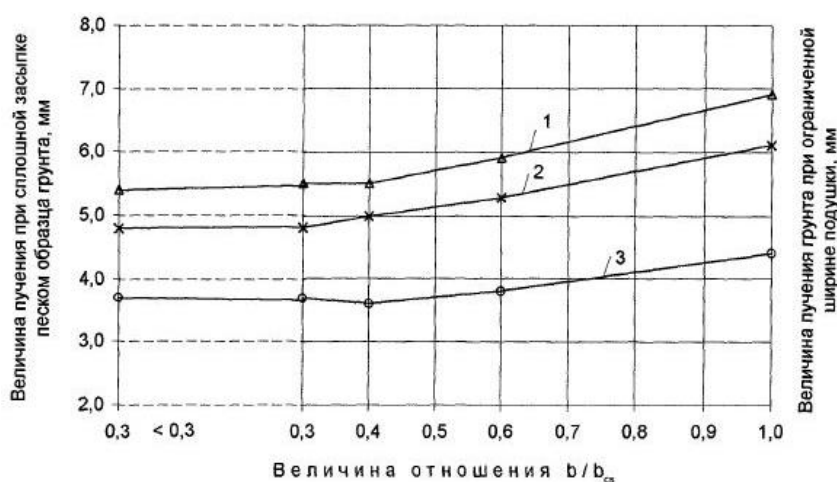
Физико-механические характеристики ИГЭ-1, ИГЭ-2

| Показатель | Значения | |
|--|----------|-------|
| | ИГЭ-1 | ИГЭ-2 |
| Плотность грунта ρ , г/см ³ | 1,87 | 1,97 |
| Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³ | 1,52 | 1,54 |
| Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³ | 2,70 | 2,70 |
| Коэффициент пористости e , д.ед. | 0,78 | 0,76 |
| Число пластичности I_p , д.ед. | 22 | 21 |
| Показатель текучести I_L , д.ед. | 0,19 | 0,38 |
| Влажность грунта w , % | 23,0 | 28,0 |
| Влажность на границе пластичности w_p , % | 20,1 | 19,5 |
| Влажность на границе текучести w_l , % | 40,3 | 40,5 |
| Степень водонасыщения S_r , д.ед. | 0,796 | 0,995 |
| Степень морозной пучинистости ϵ_{fb} , % | 3,4 | 4,6 |
| Модуль деформации E , МПа | 4,3 | 4,5 |
| Удельное сцепление, кПа | 21 | 22 |
| Угол внутреннего трения, град. | 13 | 15 |

Составлено авторами

1. Влияние соотношения ширины фундамента к ширине подушки b/b_{cs} на величину пучения грунта

На величину пучения грунтового основания под фундаментом влияет как величина нагрузки, так и соотношение ширины фундамента (b) к ширине подушки (b_{cs}). Влияние ширины подушки (b_{cs}) на величину пучения грунта основания имеет место в пределах $b \leq b_{cs} \leq 2,5b$, что при ширине предполагаемого фундамента $b = 500$ мм (миллиметров) составит $500 \leq b_{cs} \leq 1250$. Для данной ширины фундамента давление на грунтовое основание составит 160–240 кПа (килопаскаль) при величине нагрузки 80–120 кН. По причине того, что наибольшее пучение грунтового основания происходит при меньшем давлении для расчетного случая принято давление равное 160 кПа. Зависимость величины вертикального перемещения фундаментов от отношения ширины подошвы фундамента (b) и песчаной подушки (b_{cs}) при различном давлении на грунтовое основание была установлена Карловым В.Д. (см. рис. 5).



1 – при давлении 16 кПа; 2 – при давлении 33 кПа; 3 – при давлении 66 кПа

Рисунок 5. Зависимость величины вертикального перемещения моделей фундаментов от отношения ширины подошвы фундамента (b) и песчаной подушки (b_{cs}) (иллюстрация Карлова В.Д. [33])

По представленной зависимости при увеличении давления с 16 до 66 кПа происходит уменьшение величины пучения от 26 до 31 % в зависимости от величины соотношения b/b_{cs} . Следует полагать, что при увеличении нагрузки до 160 кПа будет происходить дальнейшее уменьшение величины пучения с увеличением эффективного соотношения b/b_{cs} , график зависимости величины вертикального перемещения от отношения b/b_{cs} будет стремиться к оси абсцисс (см. рис. 5).

С точки зрения экономии материалов рациональнее всего использовать подушку с параметрами соотношения b/b_{cs} стремящимся к 1,0, однако, для дальнейшего рассмотрения были приняты варианты с соотношением $b/b_{cs} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ как наиболее оптимальные для включения в работу армирующего элемента подушки с углом наклона боковых граней к вертикали 22° , согласно получаемым приближенным формам подушки трапеции к полукругу, как самой эффективной [32].

2. Влияние толщины подушки на величину пучения грунта

Величина относительной деформации при промерзании основания, включающего песчаную подушку, согласно [33] определяется из выражения (1):

$$\varepsilon_{f(cs),p} = \varepsilon_{f,p}(1 - h_{cs}/d_f) \quad (1)$$

где: $\varepsilon_{f(cs),p}$ – величина относительной деформации морозного пучения основания с подушкой, отн.ед.;

$\varepsilon_{f,p}$ – коэффициент морозного пучения пылевато-глинистого грунта, подстилающего подушку, отн. ед.;

h_{cs} – толщина подушки;

d_f – глубина промерзания основания, м.

Толщина предлагаемой подушки определяется исходя из предельно-допустимой деформации морозного пучения грунтового основания для фундаментов бескаркасных зданий равной $25 \text{ мм}^{3,4}$, а также из условия обеспечения ее устойчивости (2) [33]:

$$h_{cs} \geq 0,5b \text{ (т. е. } h_{cs} \geq 250 \text{ мм)} \quad (2)$$

3. Рассматриваемые варианты предложенного конструктивного решения

С учетом вышеизложенных зависимостей были рассмотрены варианты подушки с соотношением ширины фундамента к ширине подушки $b/b_{cs} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ и толщиной подушки 500, 600, 700 и 800 мм при угле наклона боковых граней к вертикали 22° , с послойным заполнением гранулированным утеплителем (h_λ) с шагом 100 мм от низа подушки. Температурные расчеты грунтового основания производились в ПК (программном комплексе) qFrost, Termoground (модуль ПК Femmodels), оценка напряженно-деформированного состояния в ПК Femmodels. Общий объем вариантов конструктивного решения составил 104 шт. Основные геометрические параметры конструктивного решения представлены в таблице 5.

² Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М., 1985 год.

⁴ ВСН 29-85 Проектирование мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных сельских зданий на пучинистых грунтах / ЦНИИЭПсельстрой Министерства сельского строительства СССР; НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М., 1985 год.

Таблица 5

Геометрические параметры конструктивного решения

| №подушки | b_{cs} (по верху), мм | b_{cs} (по низу), мм | h_{cs} , мм | b/b_{cs} |
|----------|-------------------------|------------------------|---------------|------------|
| 1 | 1550 | 1250 | 500 | 0,4 |
| 2 | 1300 | 1000 | 500 | 0,5 |
| 3 | 1130 | 830 | 500 | 0,6 |
| 4 | 1000 | 710 | 500 | 0,7 |
| 5 | 1630 | 1250 | 600 | 0,4 |
| 6 | 1380 | 1000 | 600 | 0,5 |
| 7 | 1210 | 830 | 600 | 0,6 |
| 8 | 1090 | 710 | 600 | 0,7 |
| 9 | 1710 | 1250 | 700 | 0,4 |
| 10 | 1460 | 1000 | 700 | 0,5 |
| 11 | 1290 | 830 | 700 | 0,6 |
| 12 | 1170 | 710 | 700 | 0,7 |
| 13 | 1790 | 1250 | 800 | 0,4 |
| 14 | 1540 | 1000 | 800 | 0,5 |
| 15 | 1370 | 830 | 800 | 0,6 |
| 16 | 1250 | 710 | 800 | 0,7 |

Составлено авторами

4. Результаты температурных расчетов предложенного конструктивного решения

В численном моделировании задавались граничные условия III рода с учетом солнечной радиации и инфильтрации осадков. Значения среднемесячных температур воздуха задавались согласно СП 131.13330.2018⁵ (см. таблицу 6).

Таблица 6

Среднемесячная температура воздуха в г. Тюмень

| Месяц | Температура воздуха, °С | Месяц | Температура воздуха, °С | Месяц | Температура воздуха, °С |
|---------|-------------------------|--------|-------------------------|----------|-------------------------|
| Январь | -16,2 | Май | +11,0 | Сентябрь | +9,6 |
| Февраль | -14,3 | Июнь | +16,5 | Октябрь | +2,2 |
| Март | -5,7 | Июль | +18,6 | Ноябрь | -6,8 |
| Апрель | +3,3 | Август | +15,4 | Декабрь | -13,5 |

Составлено авторами

Теплофизические характеристики грунтового основания и материалов заполнения подушки представлены в таблице 7.

Таблица 7

Теплофизические характеристики грунта моделируемого основания и материала заполнения подушки

| Вид грунта/материала | λ_f , Вт/(м*°С) | λ_{th} , Вт/(м*°С) | C_f , кДж/(м ³ *°С) | C_{th} , кДж/(м ³ *°С) | L_v , МДж/м ³ |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| ИГЭ-1 | 1,593 | 1,358 | 2770,862 | 2912,320 | -* |
| ИГЭ-2 | 1,791 | 1,549 | 2911,320 | 3274,040 | -* |
| Песок | 1,470 | 0,995 | 1382,967 | 1712,088 | 52,809 |
| Пеностеклокерамика | 0,150 | 0,100 | 576,0 | 576,0 | 7,450 |

Примечание: * – задавались данные функции количества незамерзшей воды (составлено авторами)

Численное моделирование производилось на 100 лет без учета тренда потепления для создания условий с максимальной величиной промораживания грунтового основания.

⁵ СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.

Ниже на рисунках 6–9 представлены результаты температурных расчетов предложенного конструктивного решения.

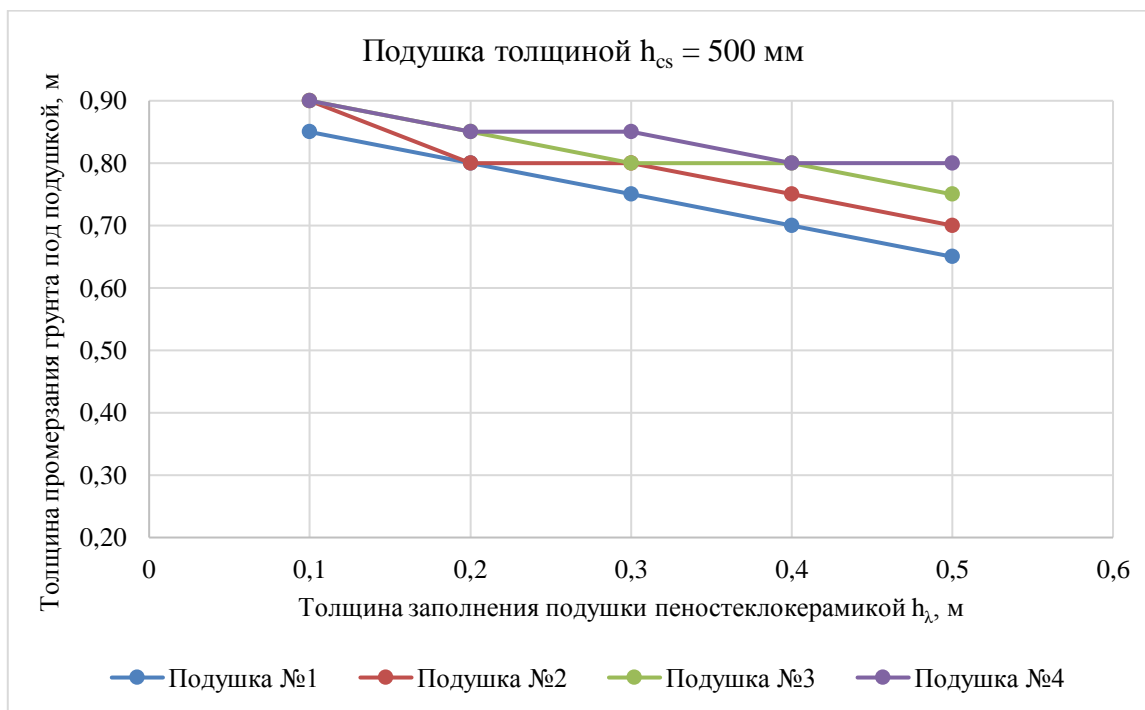


Рисунок 6. Зависимость величины промерзания грунта под подушкой (d_f) от ширины подушки (b_{cs}) и толщины слоя гранулированного утеплителя (h_λ). Толщина подушки $h_{cs} = 500$ мм (составлено авторами)

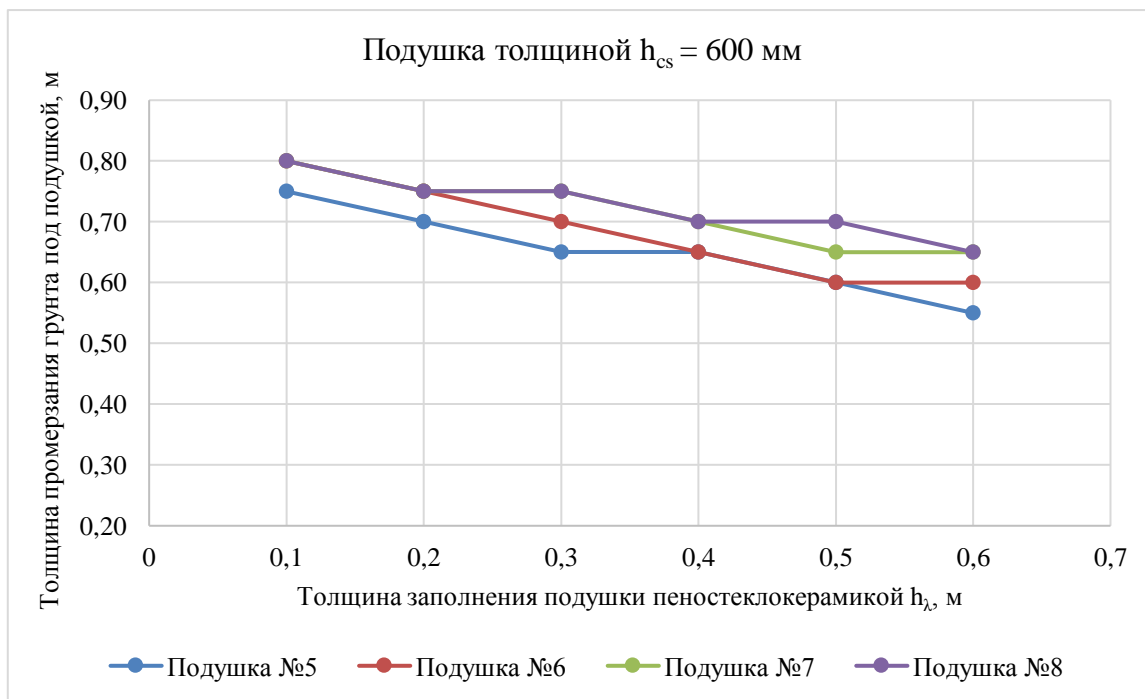


Рисунок 7. Зависимость величины промерзания грунта под подушкой (d_f) от ширины подушки (b_{cs}) и толщины слоя гранулированного утеплителя (h_λ). Толщина подушки $h_{cs} = 600$ мм (составлено авторами)

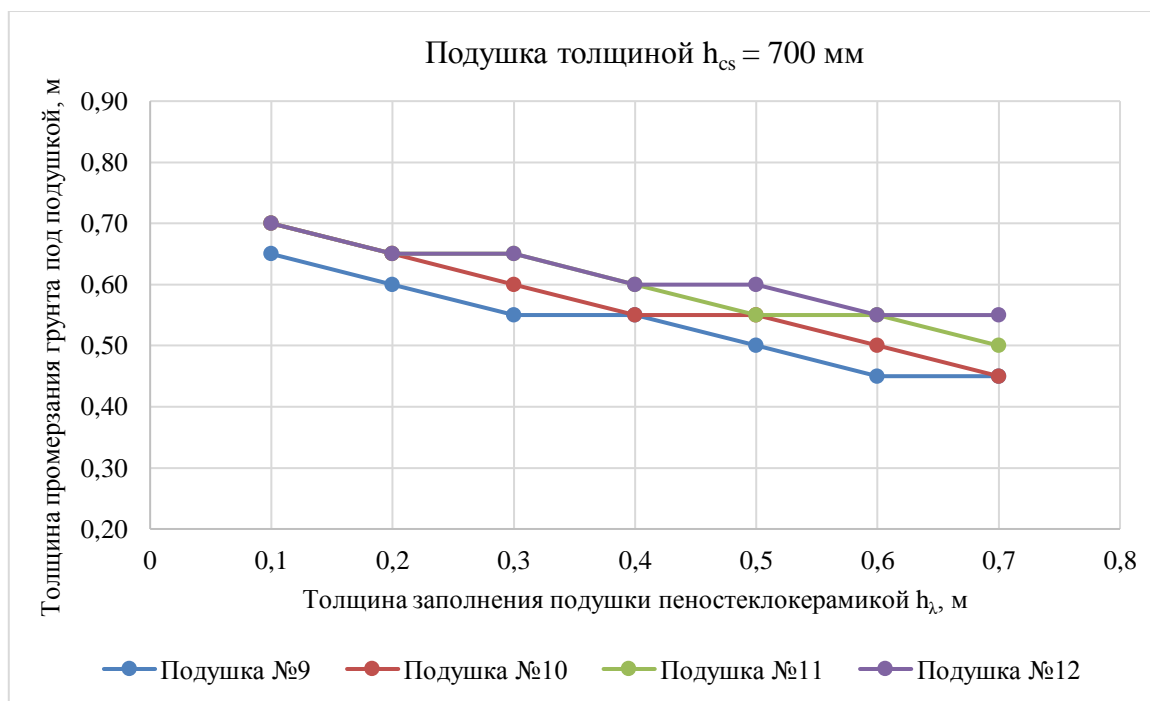


Рисунок 8. Зависимость величины промерзания грунта под подушкой (d_f) от ширины подушки (b_{cs}) и толщины слоя гранулированного утеплителя (h_λ). Толщина подушки $h_{cs} = 700$ мм (составлено авторами)

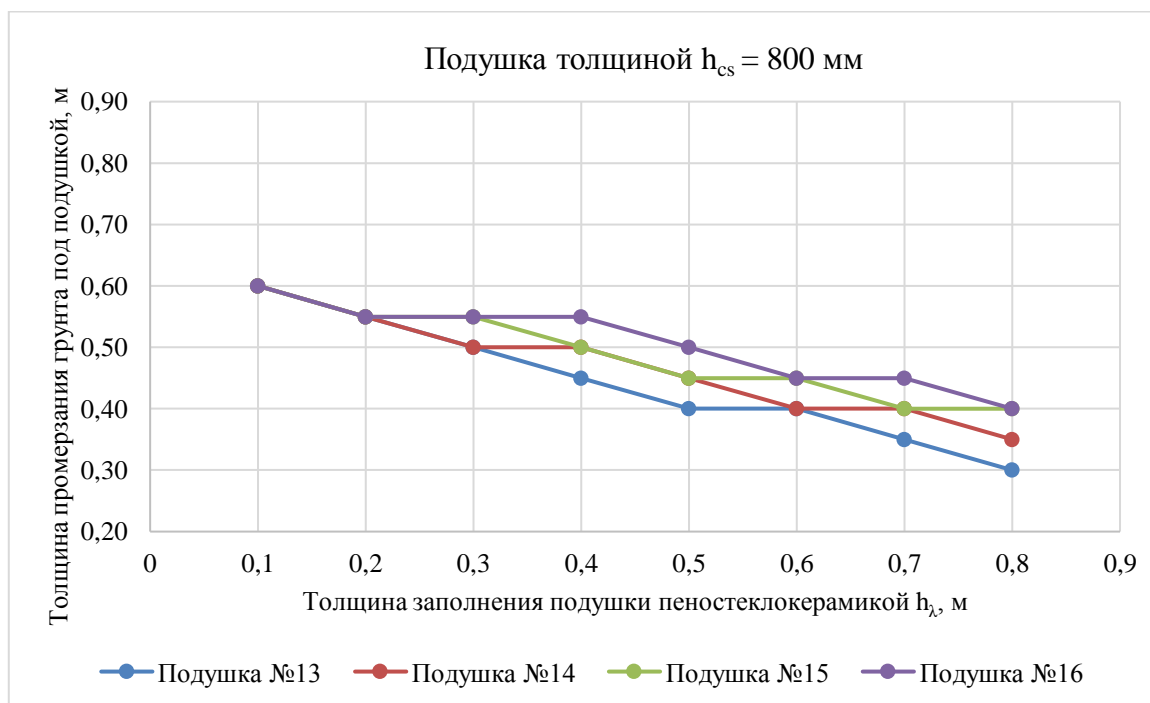


Рисунок 9. Зависимость величины промерзания грунта под подушкой (d_f) от ширины подушки (b_{cs}) и толщины слоя гранулированного утеплителя (h_λ). Толщина подушки $h_{cs} = 800$ мм (составлено авторами)

По полученным значениям толщины промерзшего слоя грунта (d_f) были определены расчетные деформации пучения оснований с учетом их увеличения на 16 % при угле наклона боковых граней подушки к вертикали в 22° против 0° , согласно исследований Карлова В.Д. [33]. Полученные расчетные деформации пучения оснований представлены в таблице 8.

Таблица 8

Расчетные деформации морозного пучения оснований

| №Подушки | Величина пучения в зависимости от толщины заполнения утеплителем | | | | | | | |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| 1 | 33.5 | 31.6 | 29.6 | 27.6 | 25.6 | - | - | - |
| 2 | 35.5 | 31.6 | 31.6 | 29.6 | 27.6 | - | - | - |
| 3 | 35.5 | 33.5 | 31.6 | 31.6 | 29.6 | - | - | - |
| 4 | 35.5 | 33.5 | 33.5 | 31.6 | 31.6 | - | - | - |
| 5 | 29.6 | 27.6 | 25.6 | 25.6 | 23.7 | 21.7 | - | - |
| 6 | 31.6 | 29.6 | 27.6 | 25.6 | 23.7 | 23.7 | - | - |
| 7 | 31.6 | 29.6 | 29.6 | 27.6 | 25.6 | 25.6 | - | - |
| 8 | 31.6 | 29.6 | 29.6 | 27.6 | 27.6 | 25.6 | - | - |
| 9 | 25.6 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | 19.7 | 17.7 | 17.7 | - |
| 10 | 27.6 | 25.6 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | 19.7 | 17.7 | - |
| 11 | 27.6 | 25.6 | 25.6 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | 19.7 | - |
| 12 | 27.6 | 25.6 | 25.6 | 23.7 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | - |
| 13 | 23.7 | 21.7 | 19.7 | 17.7 | 15.8 | 15.8 | 13.8 | 11.8 |
| 14 | 23.7 | 21.7 | 19.7 | 19.7 | 17.7 | 15.8 | 15.8 | 13.8 |
| 15 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | 19.7 | 17.7 | 17.7 | 15.8 | 15.8 |
| 16 | 23.7 | 21.7 | 21.7 | 21.7 | 19.7 | 17.7 | 17.7 | 15.8 |

Составлено авторами

Рассмотренные подушки с толщиной $h_{cs} = 500, 600$ мм в данных грунтовых условиях получившие расчетные деформации пучения превышающие предельно-допустимое значение (25 мм) были исключены из дальнейших расчетов, увеличение заполнения данных подушек гранулированным утеплителем (h_{λ}) позволяет снизить деформации пучения менее предельно-допустимого значения, однако это приводит к значительному удорожанию конструктивного решения по сравнению с подушками большей толщины и меньшим заполнением гранулированным утеплителем, по этой причине все варианты конструктивного решения с толщиной подушки $h_{cs} = 500, 600$ мм были исключены из дальнейших расчетов.

Увеличение толщины подушки более $h_{cs} > 800$ мм приводит к дальнейшему уменьшению величины морозного пучения, однако получаемые деформации значительно меньше предельно-допустимых значений, что также приводит к удорожанию стоимости конструктивного решения, поэтому подушки с толщиной более $h_{cs} > 800$ мм не рассматривались.

Таким образом, расчетную величину морозного пучения грунтового основания с предложенным конструктивным решением можно уменьшить путем увеличения толщины подушки (замена местного грунта песком) либо увеличения толщины слоя утеплителя, в виде гранулированной пеностеклокерамики. Для получения расчетной величины деформаций морозного пучения грунтового основания с предложенным конструктивным решением без утеплителя ниже предельно-допустимой величины (25 мм) требуется значительно (более 1100 мм) увеличивать толщину подушки, что приводит к удорожанию стоимости по сравнению с подушкой с утеплителем, поэтому песчаные армированные подушки без утеплителя в дальнейших исследованиях не рассматривались.

5. Определение влияния армирующего элемента предложенного конструктивного решения на осадку фундамента

Определение эффективности работы армирующего элемента (Геоспан ТН 50) производилось с использованием модели грунта Мора-Кулона при давлении под подошвой

фундамента 160 кПа и полном заполнении материала подушки песком. Результаты расчетов подушек №9–16 с толщиной 700 и 800 мм в талом грунте представлены в таблице 9.

Таблица 9

Определение осадки фундамента на основании с конструктивным решением

| №подушки | Осадка фундаментов при давлении под подошвой 160 кПа | | |
|----------|--|----------------------|----------------------|
| | без армирования S, мм | с армированием S, мм | уменьшение осадки, % |
| 9 | 72 | 70 | 2,9 |
| 10 | 70 | 69 | 1,5 |
| 11 | 68 | 67 | 1,5 |
| 12 | 67 | 66 | 1,5 |
| 13 | 72 | 70 | 2,9 |
| 14 | 70 | 69 | 1,5 |
| 15 | 69 | 68 | 1,5 |
| 16 | 67 | 61 | 9,8 |

Составлено авторами

По полученным результатам расчета осадки фундамента было установлено, что получаемая геометрия поперечного сечения конструктивного решения подушек №9–15 не позволяет достаточно включиться в работу армирующему элементу, в отличие от подушки №16. Замена части материала заполнения подушки песком с модулем деформации 11,0 МПа (мегапаскаль) на гранулированную пеностеклокерамику с модулем деформации 29,0 МПа позволит дополнительно уменьшить осадку грунтового основания. По причине значительного запаса по осадке фундамента по сравнению с предельно-допустимым значением равному 100 мм дальнейшие уточняющие расчеты с послойным заполнением конструктива подушки пеностеклокерамикой на данном этапе не производились.

Для сравнения эффективности работы предлагаемого конструктивного решения с апробированным решением в виде применения песчаной подушки в пучинистых грунтах был произведен подбор конструктивного решения подушки №16, при послойном заполнении пеностеклокерамикой с аналогичными геометрическими параметрами песчаной подушкой без армирования при одинаковой стоимости устройства. Аналогичной по стоимости песчаной подушке установлена подушка №16 с геометрическими размерами 1250x710x800 и величиной заполнения гранулированной пеностеклокерамикой равной 200 мм.

В результате для выполнения натурного эксперимента в качестве сопоставления были приняты следующие конструктивные решения:

1. Армированная по контуру теплоизоляционная подушка №16 с основными геометрическими размерами $b_{cs} = 710$ мм, $h_{cs} = 800$ мм, углом наклона боковых граней к вертикали 22° и величиной утеплителя в виде слоя гранулированной пеностеклокерамики толщиной $h_\lambda = 200$ мм;
2. Песчаная подушка с аналогичными подушке №16 геометрическими размерами $b_{cs} = 710$ мм, $h_{cs} = 800$ мм, углом наклона боковых граней к вертикали 22° без армирования и утеплителя в виде слоя гранулированной пеностеклокерамики.

Выводы по проведенному исследованию

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование геосинтетических армирующих материалов для улучшения свойств талых грунтов получило широкое применение в строительной отрасли, в отличие от их применения в мерзлых и сезоннопромерзающих грунтах, что требует дальнейшего изучения.

2. На величину пучения грунтового основания с песчаной подушкой значительно влияет как соотношение ширины фундамента к ширине подушки b/b_{cs} так и толщин подушки и теплоизолятора. При конструировании подушек требуется тщательно анализировать расчетную величину пучения во избежание перерасхода дорогостоящего заполнителя подушки в виде крупного и средней крупности песка.
3. Применение подушек №1–8 с толщиной 500 и 600 мм с разным по толщине заполнением материала подушки гранулированной пеностеклокерамикой в данных грунтовых условиях недопустимо по причине превышения предельно-допустимых деформаций пучения грунтового основания, а дальнейшее увеличение толщины утеплителя нецелесообразно по причине значительного удорожания стоимости конструктивного решения по сравнению с подушками большей толщины и меньшим заполнением утеплителем.
4. Применение контурного армирования подушек №9–15 не позволяет полностью включить в работу армирующий элемент по причине полученных геометрических размеров подушек и несоответствия поперечного сечения подушек криволинейной форме, уменьшение осадки составляет 1,5–2,9 % при незначительной величине нагрузки под подошвой фундамента равной 160 кПа;
5. Применение контурного армирования подушки №16 трапециевидной формы позволяет снизить осадку фундамента на 9,8 % по сравнению с аналогичной подушкой без армирования при величине нагрузки под подошвой фундамента равной 160 кПа.

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. Полуновский, А.С. Применение нетканых синтетических материалов при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах / А.С. Полуновский. – М.: Оргтрансстрой, 1979 – С. 17–18.
4. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта / К.Д. Джоунс // Под ред. д-ра техн. Наук В.Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
5. Новожилов, Г.Ф. Новые способы усиления береговых устоев мостов / Г.Ф. Новожилов // Строительные свойства слабых и мерзлых грунтов, используемых в качестве оснований сооружений: Межвузовский тематический сборник трудов. – Ленинград, межвузовская типография (3) СППО-2 Ленуприздата, 1991. – С. 4–12.
6. Хамдан Фуад Ахмед. Повышение несущей способности глинистых грунтов методом армирования базальтовым волокном: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Киев, 1990. – 21 с.
7. Турсунов, Х.А. Напряженно-деформированное состояние двухслойных лессовых оснований: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Пермь, 1991. – 17 с.

8. Ещенко, О.А. Армогрунтовые насыпи и основания: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Санкт-Петербург, 1991. – 21 с.
9. Клевко, В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Уфа, 2002. – 17с.
10. Казарновский, В.Д. Учет остаточного порового давления при прогнозе конечной осадки насыпей на слабых грунтах / В.Д. Казарновский, А.И. Складнев, Е.Ю. Штырхун // Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог. – М., 1993. – С. 133–136.
11. Полуновский, А.С. Применение нетканых синтетических материалов при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах / А.С. Полуновский. – М.: Оргтрансстрой, 1979 – С. 17–18.
12. Зехниев, Ф.Ф. Стабилизация оснований с плоскими вертикальными песчаными дренами: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – М., 1988. – 22 с.
13. Пономарёв, А.Б. О некоторых теоретических подходах к расчёту свай из щебня в георешетке / А.Б. Пономарёв, А. Пауль // Труды международной научно-практической конференции по проблемам механики грунтов: Сборник трудов. – Пермь, 2004. – С. 248–256.
14. Кремнёв, А.П. Исследование влияния армирования на деформируемость сильносжимаемых водонасыщенных грунтов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – М: 1993. – 25 с.
15. Бизиман, О. Устройство сооружений из армированного грунта: Автореф. дис. канд. техн. наук: (05.23.02) – Москва, 1985. – 20 с.
16. Воронцов, В.В. Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Тюмень, 2006. – 18с.
17. Краев, А.Н. Повышение несущей способности водонасыщенного глинистого основания за счёт внедрения песчаных армированных свай / А.Н. Краев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск: 2008 №4 – С. 146–150.
18. Краев, А.Н. Экспериментальные исследования влияния гибких армирующих элементов на деформированное состояние основания из водонасыщенного суглинка / А.Н. Краев // Сборник Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири». – Тюмень: 2007. – С. 147–150.
19. Тажигулов, А.А. Песчаные подушки с геотекстилем на слабых водонасыщенных глинистых грунтах: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – М: 1993. – 20 с.
20. Антонов, В.М. Экспериментальные исследования армированных оснований / В.М. Антонов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.
21. 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.

22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Кузнецова, А.С. Оценка прочности фиброармированного песка по результатам испытаний на трехосное сжатие / Вестник ПНИПУ. Геотехника – Пермь 2012. – №2. – С. 37–44.
26. Abdullah I. Al-Mhaidib. Effects of Fiber on Swell of Expansive Soils // Proceedings of the Twentieth International Offshore and Polar Engineering Conference. 2010. С. 663–669.
27. Ahmad F., Bateni F., Azmi M. Performance evaluation of silty sand reinforced with fibers // Geotextiles and Geomembranes. 2010. Vol. 28. Iss. 1. С. 93–99.
28. Nataraj M. S., McManis K. L. Strength and deformation properties of soil reinforced with fibrillated fibers // Geosynthetics International Journal. 1997. Vol. 4. №1. С. 65–79.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Краев, А.Н. Обоснование использования песчаной армированной подушки в слабых глинистых грунтах под ленточными фундаментами: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: (05.23.02) – Тюмень, 2014, 23 с.
33. Карлов, В.Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах: научное издание / В.Д. Карлов. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – 362 с.

Skvortsov Dmitriy Sergeevich

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

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=824443

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

Kraev Aleksey Nikolaevich

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

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

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546741

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

Kraev Andrey Nikolaevich

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

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

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761631

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

Substantiation of the parameters of a contour-reinforced heat-insulating cushion in the conditions of propagation of seasonally freezing heaving soils

Abstract. This work is part of the dissertation research by D.S. Skvortsov.

In the author's article, the problem of building shallow foundations on seasonally freezing heaving soils associated with uneven deformations of the soil base and the rise in construction costs when the foundations of buildings and structures are laid below the freezing depth.

The authors reviewed the research in the field of reinforcement of thawed, frozen and seasonally freezing soils.

A diagram of auxiliary solutions for a reinforced heat-insulating cushion under a shallow foundation of low-rise buildings and utility structures on strip foundations with loads based, as a rule, not exceeding 80–120 kilonewtons per 1 running meter of the foundation is presented. The authors substantiated the applicability of a heat insulator in the form of granular glass-ceramic foam.

The main parameters of the design solution are described: the thickness of the pillow, the width of the pillow, the angle of inclination of the side edges of the pillow to the vertical, filling the proposed material of the pillow with a heat insulator.

The article reflects the need for the use and operation of contour reinforcement in the form of a woven geosynthetic material Geospan with a waterproof film. The technical characteristics of these materials are given.

The authors present the results of the influence of the width of the foundation on the width of the presented heaving cushion of the soil, the thickness of the cushion on heaving of the soil. The authors considered the variants of the proposed constructive solution with various geometric elements.

The results of numerical modeling of freezing and stress-strain state of the soil base with the proposed constructive solution made by the authors of the article on studying the effectiveness of a contoured heat-insulating cushion located at the base of seasonally frozen heaving soils under strip shallow foundations are presented.

Based on the study of the parameters of the study, effective design solutions were presented, which are to be investigated in a full-scale experiment.

The main conclusions of the study are formulated.

Keywords: shallow foundation; seasonally freezing soils; frost heaving deformations; heaving soil; frost heaving; thermal reclamation; sand cushion; soil replacement; geosynthetics; glass ceramic foam; numerical modeling; qFrost; Femmodels; Termograund