

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2785329**

**СПОСОБ ЗАЩИТЫ НЕСУЩЕЙ ОПОРНОЙ  
КОНСТРУКЦИИ НАДЗЕМНОГО  
МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ОТ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ  
ГРУНТА**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Шаммазов Ильдар Айратович (RU), Сидоркин Дмитрий Иванович (RU), Батыров Артур Магомедович (RU)*

Заявка № 2022124679

Приоритет изобретения **20 сентября 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **06 декабря 2022 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **20 сентября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
E02D 27/35 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022124679, 20.09.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.09.2022

Дата регистрации:  
06.12.2022

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 20.09.2022

(45) Опубликовано: 06.12.2022 Бюл. № 34

Адрес для переписки:  
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", ИВАНОВ МИХАИЛ  
ВЛАДИМИРОВИЧ

(72) Автор(ы):  
Шаммазов Ильдар Айратович (RU),  
Сидоркин Дмитрий Иванович (RU),  
Батыров Артур Магомедович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2622681 C1, 19.06.2017. RU  
2391594 C1, 10.06.2010. RU 2601683 C1,  
10.11.2016. SU 1062465 A1, 23.12.1983. US 4128219  
A1, 05.12.1978.

(54) СПОСОБ ЗАЩИТЫ НЕСУЩЕЙ ОПОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ НАДЗЕМНОГО  
МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТА

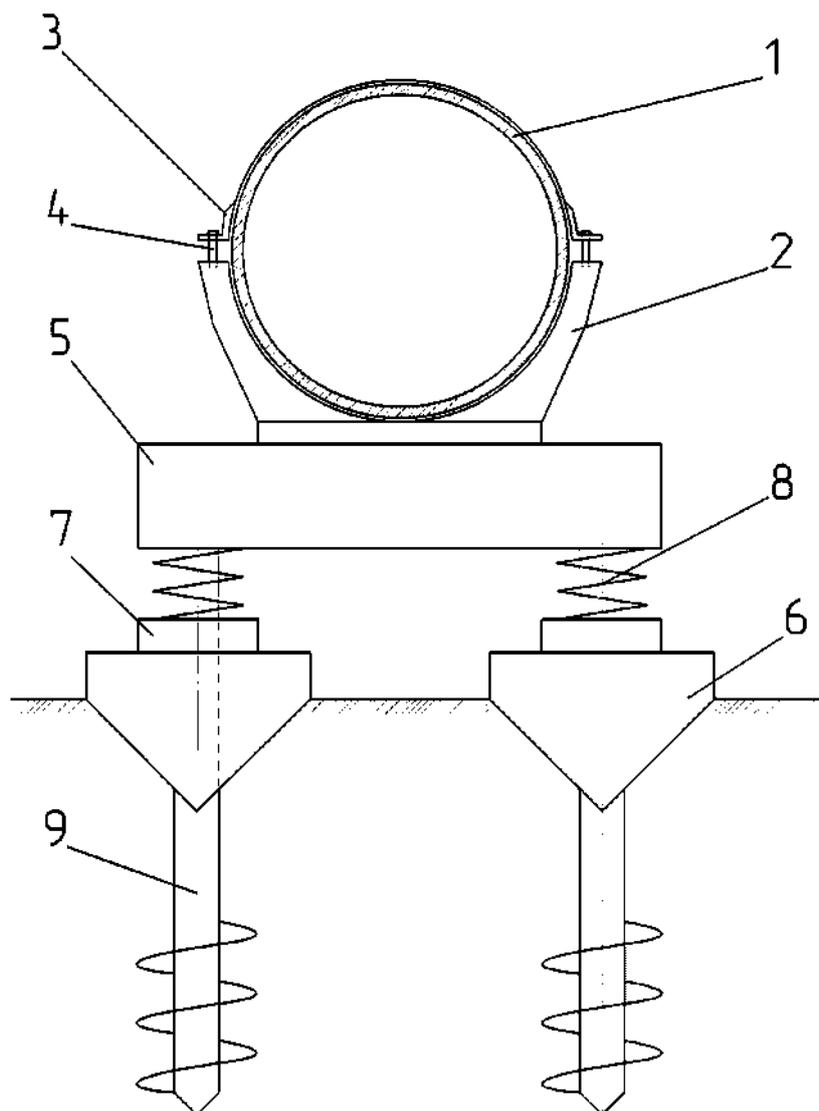
(57) Реферат:

Изобретение относится к области строительства, а именно к опорным конструкциям для отдельных несущих опор, впервые возводимых или восстанавливаемых при выполнении ремонтно-восстановительных работ в слабонесущих грунтах или глубокого сезонного промерзания грунта с применением технических мер защиты от воздействия сил морозного пучения грунта, и может быть использовано при проектировании и сооружении надземных магистральных трубопроводов. Способ защиты несущей опорной конструкции надземного магистрального трубопровода от воздействий сил морозного пучения грунта включает разработку траншеи на участках распространения мерзлых просадочных грунтов, разработку выемок для установки опор и установку опор. Выкапывают выемку, при этом учитывают размер опорной плиты, затем устанавливают винтовые сваи, при этом нижний конец которой опускается до глубины, которая находится вне

зоны морозного пучения, за счет установки неподвижных винтовых свай магистральный трубопровод остается в неподвижном состоянии. Далее в траншею устанавливают параллельно друг другу не менее двух опорных плит таким образом, чтобы через отверстия в них проходили винтовые сваи. В траншею устанавливают только нижнюю часть опорной плиты, выполненной в виде острой кромки, оптимальный угол которой рассчитывается для достижения эффекта резания вспученного грунта, при этом острие направлено вниз, предварительно острую кромку опорной плиты покрывают несколькими слоями пластических смазок, которые уменьшают пучение грунта. На опорную плиту сквозь винтовые сваи продевают шайбу, на неё сверху устанавливают не менее четырех демпферов, выполненных в виде пружин, которые сжимаются при подъеме опорной плиты и разжимаются при её опускании, при этом коэффициент жесткости пружины рассчитывают по приведенной зависимости.

Далее устанавливают швеллер так, чтобы верхний конец винтовой сваи соприкасался с плоскостью поверхности швеллера, на него устанавливают ложемент, на который укладывают магистральный трубопровод и с возможностью

съемы закрепляют сверху полухомутами. Технический результат состоит в снижении напряженно-деформированного состояния трубопровода. 2 табл., 10 ил.



Фиг. 1

RU 2785329 C1

RU 2785329 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*E02D 27/35 (2022.08)*

(21)(22) Application: **2022124679, 20.09.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**20.09.2022**

Registration date:  
**06.12.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **20.09.2022**

(45) Date of publication: **06.12.2022** Bull. № 34

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",  
IVANOV MIKHAIL VLADIMIROVICH**

(72) Inventor(s):

**Shammazov Ildar Airatovich (RU),  
Sidorkin Dmitrii Ivanovich (RU),  
Batyrov Artur Magomedovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR PROTECTING THE BEARING SUPPORT STRUCTURE OF ABOVE-GROUND MAIN PIPELINE FROM THE IMPACT OF THE FORCES OF FROSTY HEAVING OF SOIL**

(57) Abstract:

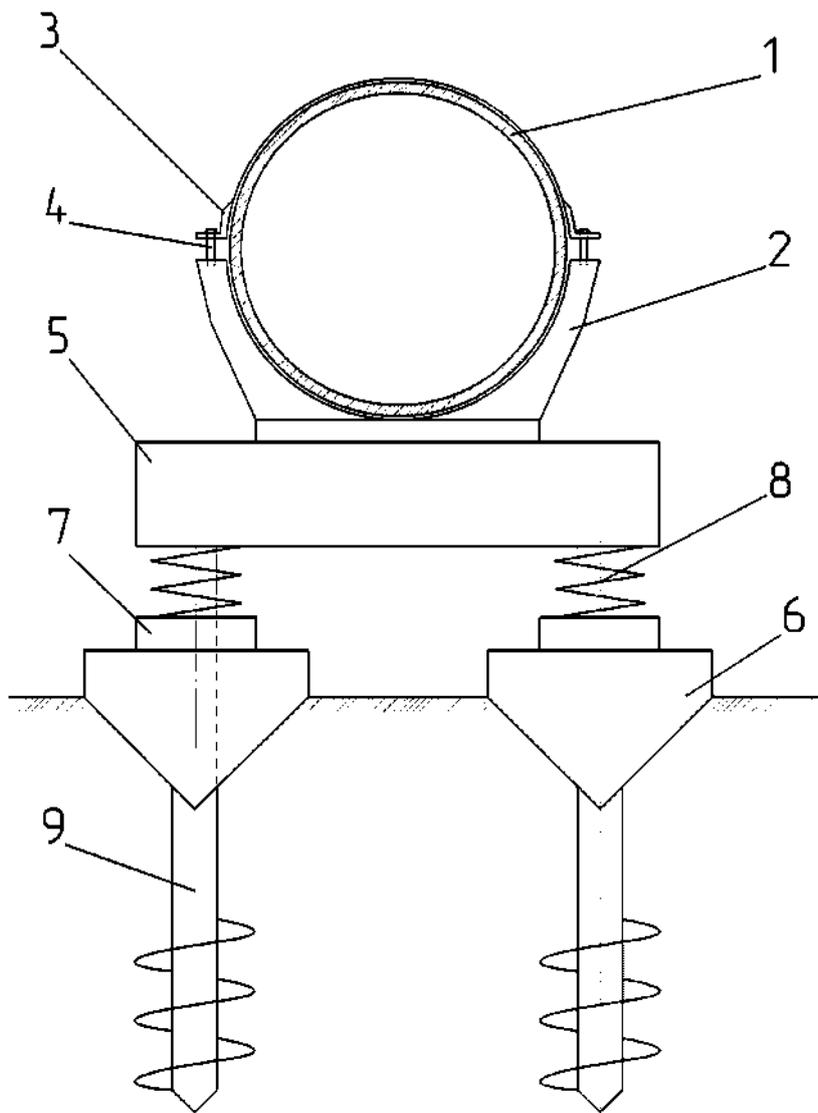
FIELD: construction.

SUBSTANCE: invention relates to the field of construction, namely to support structures for individual bearing supports, erected or restored for the first time when performing repair and restoration work in weakly bearing soils or deep seasonal freezing of the soil using technical measures to protect against the effects of forces of frost heaving of the soil, and can be used in the design and construction of elevated main pipelines. A method for protecting the supporting structure of an elevated main pipeline from the effects of frost heaving forces of the soil includes the development of a trench in the areas of distribution of frozen subsidence soils, the development of excavations for the installation of supports and the installation of supports. A recess is dug, while taking into account the size of the base plate, then screw piles are installed, while the lower end of which descends to a depth that is outside the frost heaving zone, due to the installation of fixed screw piles, the main pipeline remains stationary. Further, at least two base plates are installed parallel to each other

in the trench so that screw piles pass through the holes in them. Only the lower part of the base plate is installed in the trench, made in the form of a sharp edge, the optimal angle of which is calculated to achieve the effect of cutting expanded soil, with the tip pointing downwards, the pre-sharp edge of the base plate is coated with several layers of plastic lubricants, which reduce soil heaving. A washer is threaded onto the base plate through the screw piles, at least four dampers are installed on top of it, made in the form of springs, which are compressed when the base plate is raised and unclenched when it is lowered, while the spring stiffness coefficient is calculated from the given dependence. Next, the channel is installed so that the upper end of the screw pile is in contact with the plane of the channel surface, a lodgement is installed on it, on which the main pipeline is laid and with the possibility of removal fixed on top with half-clamps.

EFFECT: technical result consists in reducing the stress-strain state of the pipeline.

1 cl, 2 tbl, 10 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к области строительства, а именно к опорным конструкциям для отдельных несущих опор, впервые возводимых или восстанавливаемых при выполнении ремонтно-восстановительных работ в слабонесущих грунтах или глубокого сезонного промерзания грунта с применением технических мер защиты от воздействия сил морозного пучения грунта, и может быть использовано при проектировании и сооружении надземных магистральных трубопроводов.

Известен способ усиления свайного фундамента опоры линий электропередачи (патент RU № 2114249, опубл. 27.06.1998), включающий заглубление анкерных стержней и соединение их со свайным фундаментом несущей опоры.

Основным недостатком этого способа является применение не усиленных металлических анкерных стержней и соединении со свайным фундаментом посредством тяг и распорных балок, что не обеспечивает необходимую эффективность противодействия силам морозного пучения грунта.

Известен способ усиления свайного фундамента опоры лэп (патент RU № 2227192, опубл. 20.04.2004), включающий бурение скважин по окружному периметру на глубину, превышающую глубину сезонного промерзания грунта, установку в каждой скважине по одному анкерному элементу в виде трубы, длиной, превышающей глубину скважины на длину надземных концов, и соединение надземных концов анкерных элементов со свайным фундаментом несущей опоры.

Основным недостатком этого способа является то, что анкерные стержни не компенсируют нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ защиты свайного фундамента несущей опоры от воздействий сил морозного пучения грунта (патент RU № 2573145, опубл. 23.01.2015), включающий анкерные элементы в виде трубы выполненные из полимерного материала, сохраняющего повышенную упругость при зимних температурах грунта, на заглубленных концевых участках анкерных элементов выполнены перфорации, через которые посредством трубопроводов, вводимых в трубчатые анкерные элементы, нагнетают твердеющий состав с образованием на дне скважин объемных противовесов в результате расширенной зоны взаимодействия и сцепления твердеющего состава с грунтом, анкерными элементами и со свайным фундаментом, соединение надземных концов анкерных элементов в виде труб со свайным фундаментом несущей опоры производят путем формирования из твердеющей массы монолитной соединительной платформы, частично заглубленной в поверхностный грунт.

Основным недостатком этого способа является то, что анкерные элементы выполненные в виде трубы из полимерного материала, не компенсируют нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ усиления фундаментов зданий и сооружений, подверженных действию сил морозного пучения грунтов (патент RU №2516037, опубл. 08.10.2010), включающий усиление фундамента буроинъекционными сваями производящиеся в момент максимально возможного поднятия здания или сооружения силами морозного пучения.

Основным недостатком этого способа является то, что усиление фундамента буроинъекционными сваями не компенсирует нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ усиления свайного фундамента опоры лэп на слабом основании (патент RU № 2380486, опубл. 20.06.2020), включающий образование вокруг сваи и под ее торцом в грунтовом массиве упрочненной зоны путем забуривания в грунтовый

массив шнекового бурового инструмента без выноса разбуренного грунта на поверхность до глубины, превышающей глубину заложения сваи, с последующим вращением шнекового бурового инструмента в обратном направлении с одновременным приложением направленного вниз осевого усилия, величину которого принимают 5 равной задаваемому значению расчетного сопротивления уплотняемого грунта, причем в процессе вращения шнекового бурового инструмента в обратном направлении производят введение в упрочняемую зону дополнительного объема грунта, и/или упрочняющего дисперсного и связующего материала, или увеличивающегося в объеме материала, например пенополиуретана

10 Основным недостатком этого способа является то, что забуривания в грунтовый массив шнекового бурового инструмента не компенсирует нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ предохранения опорных элементов от морозного выпучивания грунта (патент RU №2515246, опубл. 07.11.2012), включающий расположенный в грунте 15 опорный элемент, вокруг боковой поверхности которого в запроектированной зоне сезонного промерзания-оттаивания, а при необходимости и ниже нее, последовательно размещены слои незамерзающего материала и защитных оболочек, способные воспринять без разрушения боковое давление пучащегося грунта, отличающийся тем, что защитную оболочку изготавливают из материала, прочностные и деформационные 20 характеристики которого обеспечивают возможность подъема оболочки на величину максимального выпучивания промерзающего слоя грунта и ее обратного возврата после полного оттаивания этого слоя, при этом один из концов оболочки прикрепляют к опорному элементу, а реактивные усилия на опорный элемент должны быть меньше несущей способности опорного элемента на выдерживающие нагрузки в грунте ниже 25 нижней границы слоя сезонного промерзания-оттаивания.

Основным недостатком этого способа является то, что защитная оболочка, изготовленная из материала, прочностные и деформационные характеристики которого обеспечивают возможность подъема оболочки на величину максимального выпучивания промерзающего слоя грунта не компенсирует нагрузку от действия сил морозного 30 пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ защиты фундамента мостовой опоры от морозного пучения (патент RU №2024691, опубл. 15.12.1994), включающий образование вокруг фундамента до 35 глубины промерзания котлована шириной, равной глубине промерзания, и заполнение его крупнообломочным грунтом, заключенным в многосекционную клеть.

Основным недостатком этого способа является то, что крупнообломочный грунт, заключенный в многосекционную клеть не компенсирует нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в сильнопучинистых грунтах.

Известен способ прокладки трубопровода в просадочных и пучинистых грунтах (патент RU №2064554, опубл. 15.12.1994), включающий отсыпку подушки из щебня, а 40 между железобетонными плитами и трубопроводом размещают компенсирующие элементы, при этом участки грунта, на которых отсыпают подушки, обрабатывают противопучинным раствором, а между опорой и трубопроводом размещают компенсирующие элементы, например, винтовые домкраты, также не обеспечивает необходимую эффективность противодействия силам морозного пучения грунта, 45 поскольку в этом способе не предусмотрена сбалансированная система силового взаимодействия анкерных элементов с грунтом и свайным фундаментом несущей опоры.

Основным недостатком этого способа является то, что компенсирующие элементы, недостаточно компенсирует нагрузку от действия сил морозного пучения грунта в

сильнопучинистых грунтах.

Известен способ прокладки трубопровода, проходящего в талых с островной мерзлотой просадочных многолетнемёрзлых грунтах (патент RU № 2622681, опублик. 19.06.2017), принятый за прототип, включающий разработку траншеи, на участках распространения мерзлых просадочных грунтов, где глубину выемки под установку опор выполняют меньше ореола оттаивания мерзлого грунта и определяют расчетным путем исходя из условия прочности трубопровода.

Основным недостатком этого способа является то, что траншею разрабатывают для прокладки трубопровода под землей в глубине промерзания грунта, из-за чего происходит большая нагрузка на трубопровод от действия сил морозного пучения в сильнопучинистых грунтах, что в свою очередь ведет к серьезному изгибу трубопровода и аварии на данном линейном участке.

Техническим результатом является снижение напряженно-деформированного состояния трубопровода.

Технический результат достигается тем, что выкапывают выемку, при этом учитывают размер опорной плиты, затем устанавливают винтовые сваи, при этом нижний конец которой опускается до глубины, которая находится вне зоны морозного пучения, за счет установки неподвижных винтовых свай магистральный трубопровод остается в неподвижном состоянии, далее в траншею устанавливают параллельно друг другу не менее двух опорных плит таким образом, чтобы через отверстия в них проходили винтовые сваи, траншею устанавливается только нижняя часть опорной плиты, выполненной в виде острой кромкой, оптимальный угол которой, рассчитывается для достижения эффекта резания вспученного грунта, при этом острие направлено вниз, предварительно острую кромку опорной плиты покрывают несколькими слоями пластических смазок, которые уменьшают пучение грунта, на опорную плиту сквозь винтовые сваи продевают шайбу, на неё сверху устанавливают не менее четырех демпферов выполненных в виде пружин, которые сжимаются при подъеме опорной плиты и разжимаются при её опускании, при этом коэффициент жесткости пружины рассчитывается по формуле:

$K = P / (L - h)$ , где:

$h$  - подъема основания в результате морозного пучения грунта, м;

$L$  - длина пружины в недеформированном состоянии, м;

$P$  - расчетная нагрузка на опору, кН;

$K$  - коэффициент жесткости пружины Н/м,

далее устанавливают швеллер так, чтобы верхний конец винтовой сваи соприкасался с плоскостью поверхности швеллера, на него устанавливают ложемент, на который укладывают магистральный трубопровод и с возможностью съема закрепляют сверху полухомутами.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – устройство вид спереди;

фиг. 2 – устройство вид сбоку;

фиг. 3 – демпфер вид спереди;

фиг. 4 – модель опорной конструкции надземного магистрального трубопровода, разработанная в программном пакете Autodesk Inventor;

фиг. 5 – модель нагруженной опорной плиты, разрезающей вспученный мерзлый грунт, выполнена в программном комплексе PLAXIS;

фиг. 6 – меню для ввода данных в программном комплексе PLAXIS;

фиг. 7 – модель распределения эквивалентных напряжений острой кромки при

наиболее вероятном случае резания вспученной глины от воздействия сил морозного пучения грунта;

фиг. 8 – модель распределения эквивалентных напряжений острой кромки при наиболее вероятном случае резания вспученного песка от воздействия сил морозного пучения грунта;

фиг. 9 – модель распределения эквивалентных напряжений острой кромки при наиболее вероятном случае резания вспученной супеси от воздействия сил морозного пучения грунта;

фиг. 10 – график роста напряжения разрушения грунта, резанием острой кромкой, от значения модуля упругой деформации грунта, где:

1 - трубопровод;

2 - ложемент;

3 - полухомут;

4 - болтовое соединение;

5 - стол-ростверк;

6 - опорная плита;

7 - шайба;

8 - демпфер;

9 - винтовая свая;

10 - внешняя пружина;

11 - внутренняя пружина.

Способ осуществляется следующим образом. Для строительства конструкции опоры выкапывают выемку размером под масштабы опорной плиты 6, затем с помощью бурильной машины начинают устанавливать винтовые сваи 9 не менее 4 штук до тех пор, пока нижний конец сваи не опустится до необходимой глубины, обязательно вне зоны морозного пучения. Экскаватором разрабатывают траншею под габариты опорной плиты 6, далее в траншею при помощи кранов устанавливают опорную плиту 6 не менее 2 штук таким образом, чтобы в отверстия опорной плиты, проходили торчащие из грунта верхние части винтовых свай 9. В траншею помещается только нижняя часть опорной плиты 6, которая является острой кромкой направлением острием вниз.

Предварительно острую кромку опорной плиты 6 покрывают несколькими слоями пластических смазок, например, БАМ-3 и БАМ-4, и кремнийорганическими эмалями, например, КО-174, КО-1164. На опорную плиту 6 сквозь винтовые сваи продевают шайбу 7 не менее 4 штук вплотную к опорной плите 6. На шайбу 7 сверху устанавливают жестко демпфер 8, не менее 4 штук на опору, количество внешних пружин 10 и внутренних пружин 11 демпфера 8 подбирают исходя из нагрузки трубопровода 1 и расчетной нагрузки сил морозного пучения грунта, оказываемых на опорную плиту. На демпфер 8 при помощи кранов устанавливают швеллер 5 не менее 2 штук на опору так, чтобы верхний конец винтовой сваи 9 соприкасался с плоскостью поверхности швеллера 5. Стык сваи 9 и швеллера 5 сваривают полуавтоматами. Сверху на швеллер при помощи кранов устанавливают ложемент не менее 2 штук на опору, на ложемент 2 стреловыми кранами укладывают магистральный трубопровод 1. Магистральный трубопровод 1 закрепляют сверху полухомутами 3 с ложементом 2 болтовым соединением 4 с возможностью съема и не менее четырех полухомутов 3.

От магистрального трубопровода 1 возникает нагрузка на опору, которая рассчитывается по формуле 1

Расчет нормативного значения интенсивности поперечной весовой нагрузки по формуле:

$$Q_H = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{сн}} + Q_{\text{лед}} + Q_{\text{изол}}, \text{ где: (1)}$$

$Q_{\text{тр}}$  - нагрузка от собственного веса металла трубы, Н/м;

$Q_{\text{пр}}$  - нагрузка от веса продукта находящегося в трубопроводе, Н/м;

5  $Q_{\text{сн}}$  - снеговую нагрузку, Н/м;

$Q_{\text{лед}}$  - нагрузка от обледенения, Н/м;

$Q_{\text{изол}}$  - нагрузка от собственного веса изоляции, Н/м.

10 Определив нагрузку на опору от магистрального трубопровода 1 определяем воздействие сил морозного пучения на опорную плиту б, при достижении температуры промерзания грунта от - 3 до -8 °С, которое определяется по формуле 2.

Формула для расчета устойчивости основания на касательные силы пучения будет иметь вид

$$\tau_{\text{fh}} A_{\text{fh}} - F \leq (y_c / y_n) F_{\text{fh}}, \text{ где: (2)}$$

15  $y_c$  - коэффициент условия работы, принимаемый равным 1,0;

$y_n$  - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1;

$\tau_{\text{fh}}$  - удельная касательная сила пучения, кН;

$A_{\text{fh}}$  - площадь сдвига по мерзлым грунтам, м;

20  $F$  - расчетная постоянная нагрузка, действующая на фундамент, кН;

$F_{\text{fh}}$  - расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, в следствии трения его боковой поверхностью о талый грунт, лежащий ниже расчетной глубины промерзания, кН.

25 За счет острой кромки опорной плиты б происходит разрезание вспученного грунта, который увеличивается в объеме. Данный эффект определяется моделированием в программном комплексе PLAXIS, где необходимо задать значение несущей способности опорной плиты, которое определяется формулой 4.

Расчетная нагрузка несущей способности, допускаемая на железобетонную опорную плиту по материалу, рассчитывается по следующей формуле 3:

$$30 N = \gamma_{\text{бз}} \gamma_{\text{сб}} R_b A_b + R_{\text{сc}} A_s, \text{ где: (3)}$$

$A_s$  - площадь сечения, м<sup>2</sup>;

$R_b$  - расчетное сопротивление бетона сжатию, Па;

$R_{\text{сc}}$  - расчетное сопротивление арматуры сжатию, Па;

35  $\gamma_{\text{бз}}$  - коэффициент условий работы бетона;

$\gamma_{\text{сб}}$  - коэффициент, учитывающий влияние способа производства свайных работ.

40 За счет покрытия опорной плиты б пластическими смазками и кремнийорганическими эмалями уменьшается трение поверхности острой кромки опорной плиты б о мерзлый вспученный грунт, этим достигается больший эффект при разрезании грунта. Если нагрузка на опорную плиту б становится ниже напряжения разрушения грунта, тогда опорная плита б начнет смещаться от проектного положения. Для расчета подъема опорной плиты б воспользуемся формулой 4.

Расчет значения подъема основания от пучения рассчитывается по следующей формуле:

$$45 h_{\text{fp}} = e_{\text{fh}} d_f, \text{ где: (4)}$$

$e_{\text{fh}}$  - относительная деформация пучения грунта;

$d_f$  - глубина промерзания грунта в основании фундаментов.

При смещении опорной плиты б в вертикальном направлении в сторону трубопровода

1 начинает сжиматься демпфер 8 за счет того, что демпфер 8 имеет нагрузку меньшую, чем нагрузка, вызванная силами морозного пучения грунта. Демпфер 8 компенсирует расстояние подъема опорной плиты 6, а при оттаивании грунта демпфер 8 растягивается, и опорная плита 6 возвращается в исходное проектное положение. Для подбора демпфера необходимо рассчитать коэффициент жесткости пружины. Для этого воспользуемся формулой 5.

Выражение, позволяющее определить коэффициент жесткости пружины сжатия рассчитывается по следующей формуле:

$$K = P / (L - h), \text{ где: (5)}$$

10 h- подъема основания в результате морозного пучения грунта, м;

L - длина пружины в недеформированном состоянии, м;

P - расчетная нагрузка на опору, кН;

K - коэффициент жесткости пружины Н/м.

15 Так как винтовые сваи 9 проходят сквозь отверстия опорной плиты 6 это позволяет предотвратить смещение опорной плиты 6 в горизонтальном направлении, вызванное касательными силами пучения. Винтовые сваи 9 предотвращают смещение швеллера 5 в вертикальном направлении, вызванные лобовыми силами пучения, за счет прямого соединения со швеллером 6 и расположением винтовых свай 9 вне границы морозного пучения. Таким образом комплексная система, состоящая из разрезающей вспученный мерзлый грунт острой кромки опорной плиты 5 и компенсирующего элемента демпфера 20 8 и дополнительной удерживающей силы винтовых свай 9, препятствует смещению проектного положения трубопровода 1 при воздействии сил морозного пучения на опору. В результате значительно уменьшается напряженно-деформированное состояние трубопровода 1 и увеличивается вероятность сохранения проектного положения трубопровода 1.

Магистральный трубопровод испытывает сильные нагрузки изгибающего момента. С целью сокращения таких нагрузок подбирается оптимальный угол острой кромки опорной плиты, рассчитывается напряжение разрушения грунта для достижения эффекта резания вспученного грунта, а также подбирают демпферный элемент опоры так, чтобы он сжимался, при поднятии опорной плиты вверх, при сильном вспучивании грунта и 30 растягивался при опускании опорной плиты вниз при оттаивании грунта. Таким образом, при резании вспученного грунта острой кромкой опорной плиты и сжатии демпфера достигается снижение изгибающего момента трубопровода, тем самым напряженно-деформированное состояние трубопровода будет незначительным, что 35 позволит сократить вероятность образования изгибающих моментов, в следствии чего проектное положение трубопровода будет сохранено, даже при неравномерном и сильном пучении грунта оказываемого на опоры, расположенные между собой на проектном расстоянии.

Способ поясняется следующим примером:

40 В программном комплексе PLAXIS по результатам сбора и анализа данных, было выполнено моделирование опорной плиты с мерзлым грунтом, также был подобран оптимальный угол острой кромки равный 30 °. Расчет конструкции опоры с магистральным трубопроводом: нагрузка от трубопровода, несущая способность конструкции, сила морозного пучения, высота подъема основания от пучения грунта, коэффициент упругости демпфера рассчитывается по указанным выше формулам 1-5 45 при подборе конструкции опор для магистрального трубопровода. Исходные характеристики трубопровода и конструкции опоры представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Величина
	Нефтепровод и газопровод
Диаметр трубопровода, мм	От 720 до 1420
Размер опорной плиты, мм	2000*500*50
Длина винтовых свай, м	От 5 до 15
Протяженность балочного перехода трубопровода, м	От 30 до 70
Эквивалентная глубина заложения опорной плиты, мм	300
Коэффициент упругости демпферной пружины,	0,3
Температура в глубине промерзания грунта,	От - 3 до - 15
Количество демпферов, шт	От 4
Количество винтовых свай, шт	От 4
Количество опорных плит, шт	2
Количество ложементов, шт	2
Количество хомутов, шт	4
Эквивалентная глубина промерзания грунта, h <sub>0</sub> , мм	1000 - 3000
Угол острой кромки опорной плиты, °	30

Таблица 2 – исходные характеристики грунта

Характеристики	Песок	Глина	Супесь
Модуль деформации, кН/м <sup>2</sup>	8825985	1176798	5883990
Коэффициент Пуассона	0,1	0,2	0,13
Сцепление, кПа	195	275	300
Угол внутреннего трения	38	14	32
Удельный вес грунта, кН/м <sup>3</sup>	26.085689	26.870221	26.477955
Коэффициент пористости, д.ед.	0,55	0,55	0,55
Относительная льдистость грунта, %	70	80	90
Влагосодержание грунта, %	15	50	25
Содержание незамерзшей воды в грунте, %	1	15	5
Суммарная влажность, %	19	54	28
Морозное пучение, %	10	7	15

Ниже приведем расчет опор для надземного магистрального трубопровода используя формулы 1-5, в качестве исходных данных принимаем диаметр нефтепровода 1220 мм, диаметр газопровода 1420 мм.

Расчет нормативного значения интенсивности поперечной весовой нагрузки:

Для нефтепровода:

$$q_n = 5313 + 8478,75 + 1342,3 + 323,5 + 531,3 = 689326 \text{ Н}$$

Для газопровода:

$$q_n = 6776,7 + 11 + 1556,5 + 376,6 + 677,7 = 592112 \text{ Н}$$

Расчет устойчивости основания на касательные силы пучения:

Для нефтепровода:

$$\tau_{fh} 2,2 - 738 \leq (1 / 1,1) 77$$

$$\tau_{fh} \leq 335 \text{ кН}$$

Для газопровода:

$$\tau_{fh} 2,2 - 655 \leq (1 / 1,1) 77$$

$$\tau_{fh} \leq 298 \text{ кН}$$

Расчет нагрузки несущей способности, допускаемый на железобетонную опорную плиту по материалу:

$$N = 0,85 * 1 * 11,5 * 0,785 + 355 * 452 * 10^{-6} = 7,83 \text{ МН} = 7830 \text{ кН}$$

Расчет значения подъема основания от пучения:

$$h_{fp} = 0,07 \cdot 2,5 = 0,175 \text{ м.}$$

Расчет коэффициента жесткости пружины сжатия:

Для нефтепровода:

$$K = 738 / (0,35 - 0,175),$$

$$K = 4217 \text{ кН/м}$$

Для газопровода:

$$K = 650 / (0,35 - 0,175),$$

$$K = 3714 \text{ кН/м}$$

Известно, что грунты многолетнемерзлых пород различаются характеристиками, которые зависят от типов грунтов. Поэтому в качестве модели грунта были выбраны основные часто встречающиеся типы грунтов: глина, песок и супесь. Были заданы значения грунтов моделирующие мерзлый грунт. В зонах сплошного распространения многолетнемерзлых пород температура грунта колеблется от  $-3^\circ\text{C}$  до  $-8^\circ\text{C}$ , по характеристикам грунта из справочников видно, что при данном диапазоне температур параметры необходимые для моделирования слабо отличаются, также для  $-3^\circ\text{C}$  недостаточно информации относительно характеристик грунта в справочной литературе, поэтому в качестве расчетной температуры выбрали  $-4^\circ\text{C}$ . Еще одним важным фактором для процесса пучения многолетнемерзлых пород является содержание воды в грунте, из-за которой увеличивается объем грунта и растут силы морозного пучения, что приводит к выдергиванию опорной конструкции, поскольку при понижении температуры вода расширяется, поэтому некоторые характеристики грунтов были подобраны исходя из значений содержащейся воды в грунте.

Для расчета нагрузок, действующих в опасном сечении на опору надземного трубопровода, отклонившегося от проектного положения, определен предел прочности грунта при минимальном напряжении, когда происходит разрушение вспученного грунта острой кромкой опорной плиты при воздействии сил морозного пучения глины, песка и супеси.

Резание грунта - это уже пластическая деформация под наконечником, то есть смотрим касательные напряжения на интерфейсе наконечника, и когда  $\tau_{rel}$  (relative shear stress) будут равны 1 (представлено красным цветом) по всем боковым граням, тогда произойдет резание грунта. Для определения напряжения разрушения вспученного грунта необходимо производить фазовый подбор на основании несущей способности конструкции, как правило для первой фазы берется 10 % от значения несущей способности конструкции.

На фиг. 6 представлено меню для ввода данных в программном комплексе PLAXIS.

На фиг. 7 представлено распределение эквивалентных напряжений острой кромки при наиболее вероятном случае резания вспученной глины от воздействия сил морозного пучения грунта. В данной модели произошло резание вспученной глины на 14 фазе при напряжении разрушения мерзлой глины равное  $250 \text{ кН/м}^2$ .

На фиг. 8 представлено распределение эквивалентных напряжений острой кромки при наиболее вероятном случае резания вспученного песка от воздействия сил морозного пучения грунта. В данной модели произошло резание вспученного песка на 16 фазе при напряжении разрушения мерзлого песка равное  $17 \text{ кН/м}^2$ .

На фиг. 9 представлено распределение эквивалентных напряжений острой кромки при наиболее вероятном случае резания вспученной супеси от воздействия сил морозного пучения грунта. В данной модели произошло резание вспученной супеси на 15 фазе при напряжении разрушения мерзлой супеси равное  $16 \text{ кН/м}^2$ .

На фиг. 10 представлено изменение напряжений разрушения грунта острой кромки

опорной плиты, изготовленного из железобетона, построенных по результатам расчета. Из него видно, что темп роста напряжений разрушения грунта растет в зависимости от роста значения модуля упругой деформации грунта, что связано в первую очередь с температурой грунта и его типом.

5 По результатам математического моделирования на основании известных данных по характеристикам грунта можно предположить, что предел прочности грунта напрямую зависит от значения модуля упругой деформации грунта, что в свою очередь позволяет спрогнозировать рост или падение напряжения разрушения грунта в зависимости от его характеристик.

10 Выполненные для разработанной конечно-элементной модели конструкции опоры расчеты показали возможность использования в качестве основания опорной плиты надземной опоры (опоры для мерзлых грунтов). Для исключения возможности смещения опоры и образования разрывов надземных магистральных трубопроводов при  
15 воздействии криогенных процессов пучения предлагается разрезать мерзлый вспученный грунт путем установки при строительстве новой конструкции опоры с элементом острой кромки опорной плиты, нижняя часть которой выполнена в форме острой кромки, заглубленной в грунт. Исходя из этого, можно сделать вывод о возможности защиты несущей опорной конструкции надземного магистрального трубопровода от воздействия  
20 силы морозного пучения без применения термостабилизаторов.

Способ позволяет повысить эксплуатационную надежность, исключить процесс остаточного пучения опор под трубопроводы и снизить количество обследований надземных переходов магистральных трубопроводов во время эксплуатации.

#### (57) Формула изобретения

25 Способ защиты несущей опорной конструкции надземного магистрального трубопровода от воздействий сил морозного пучения грунта, включающий разработку траншеи на участках распространения мерзлых просадочных грунтов, разработку  
выемок для установки опор и установку опор, отличающийся тем, что выкапывают выемку, при этом учитывают размер опорной плиты, затем устанавливают винтовые  
30 сваи, при этом нижний конец которой опускают до глубины, которая находится вне зоны морозного пучения, за счет установки неподвижных винтовых свай магистральный трубопровод остается в неподвижном состоянии, далее в траншею устанавливают  
параллельно друг другу не менее двух опорных плит таким образом, чтобы через  
отверстия в них проходили винтовые сваи, в траншею устанавливают только нижнюю  
35 часть опорной плиты, выполненной в виде острой кромки, оптимальный угол которой рассчитывается для достижения эффекта резания вспученного грунта, при этом острие направлено вниз, предварительно острую кромку опорной плиты покрывают  
несколькими слоями пластических смазок, которые уменьшают пучение грунта, на  
опорную плиту сквозь винтовые сваи продевают шайбу, на неё сверху устанавливают  
40 не менее четырех демпферов, выполненных в виде пружин, которые сжимаются при подъеме опорной плиты и разжимаются при её опускании, при этом коэффициент жесткости пружины рассчитывают по формуле:

$$K = P / (L - h), \text{ где:}$$

h - подъема основания в результате морозного пучения грунта, м;

45 L - длина пружины в недеформированном состоянии, м;

P - расчетная нагрузка на опору, кН;

K - коэффициент жесткости пружины Н/м,

далее устанавливают швеллер так, чтобы верхний конец винтовой сваи соприкасался

с плоскостью поверхности швеллера, на него устанавливают ложемент, на который укладывают магистральный трубопровод и с возможностью съема закрепляют сверху полухомутами.

5

10

15

20

25

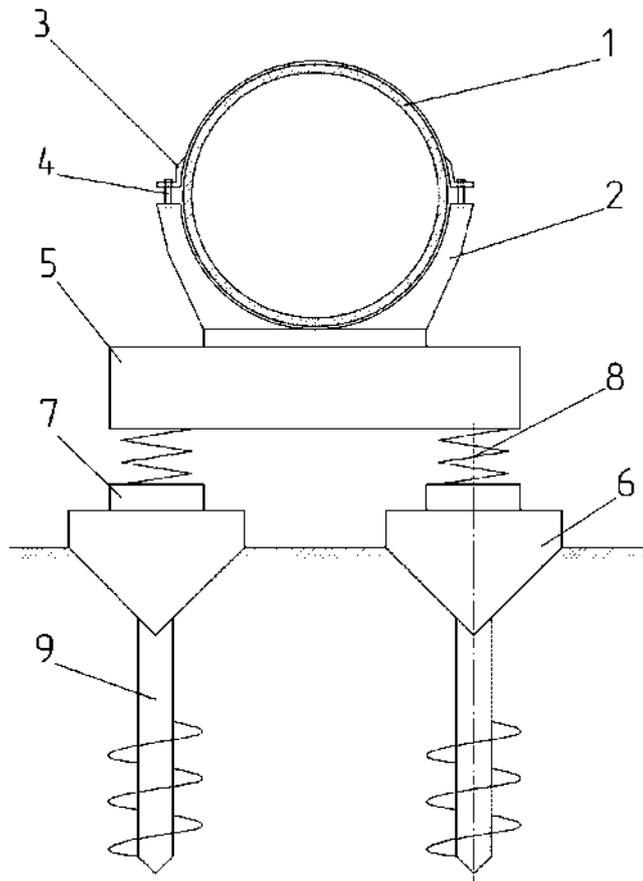
30

35

40

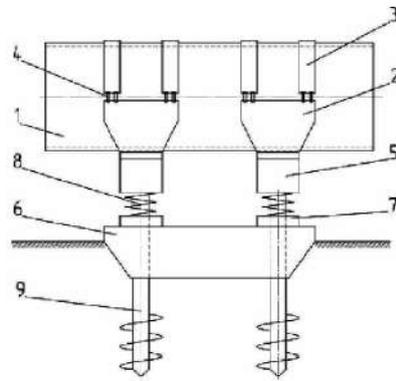
45

1



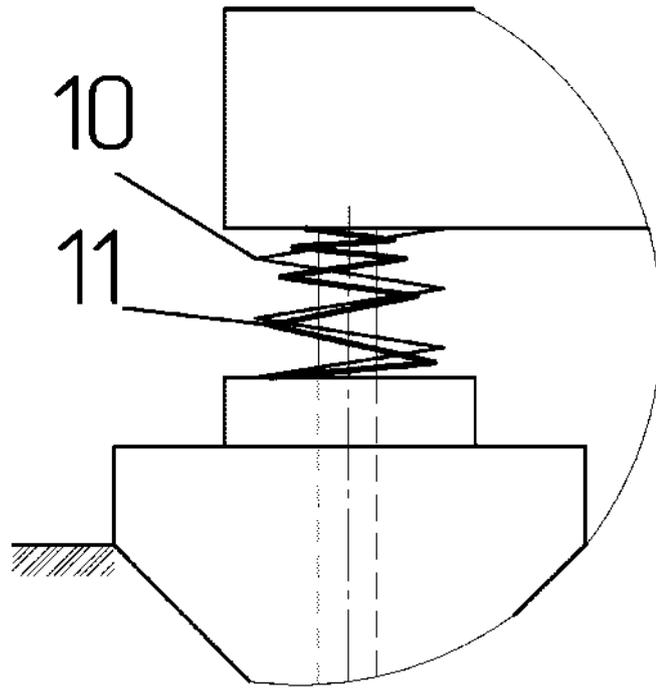
Фиг. 1

2

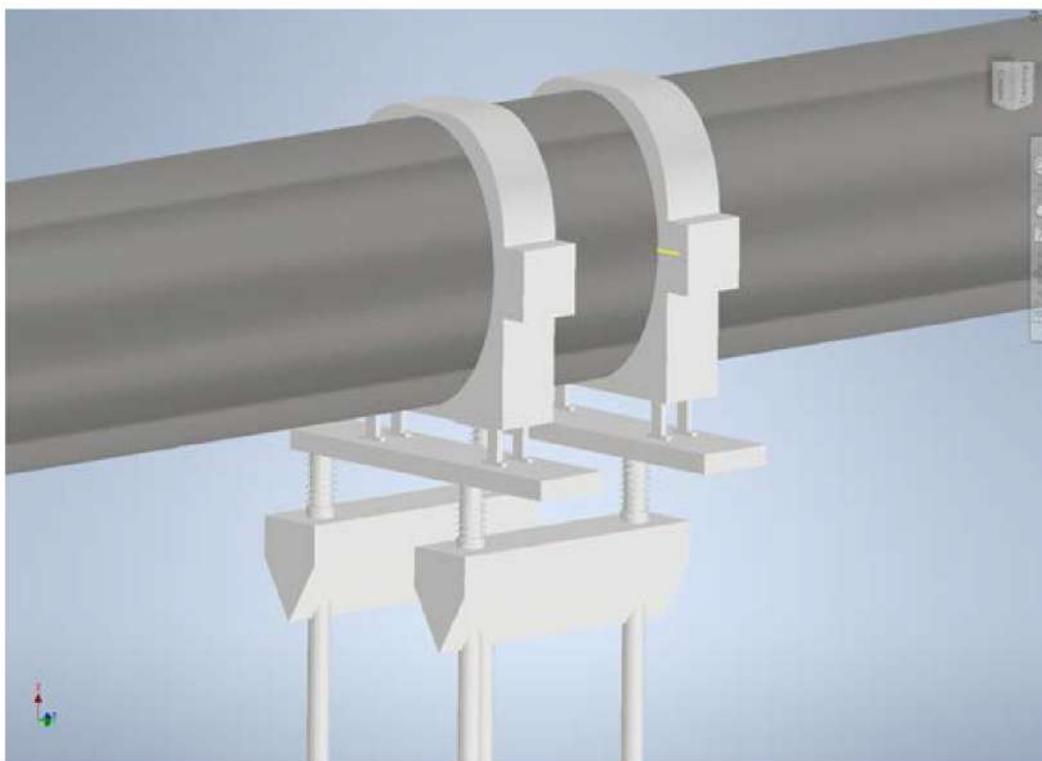


Фиг. 2

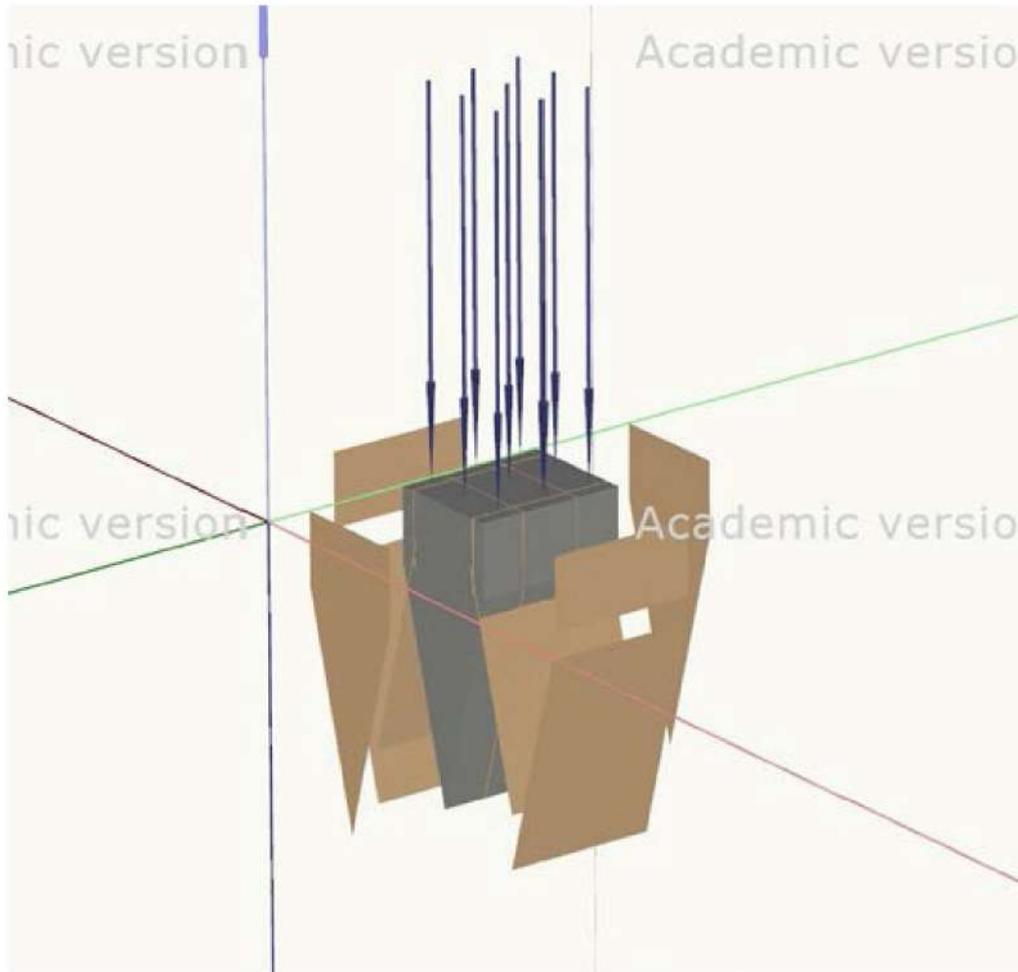
A (2,5 : 1)



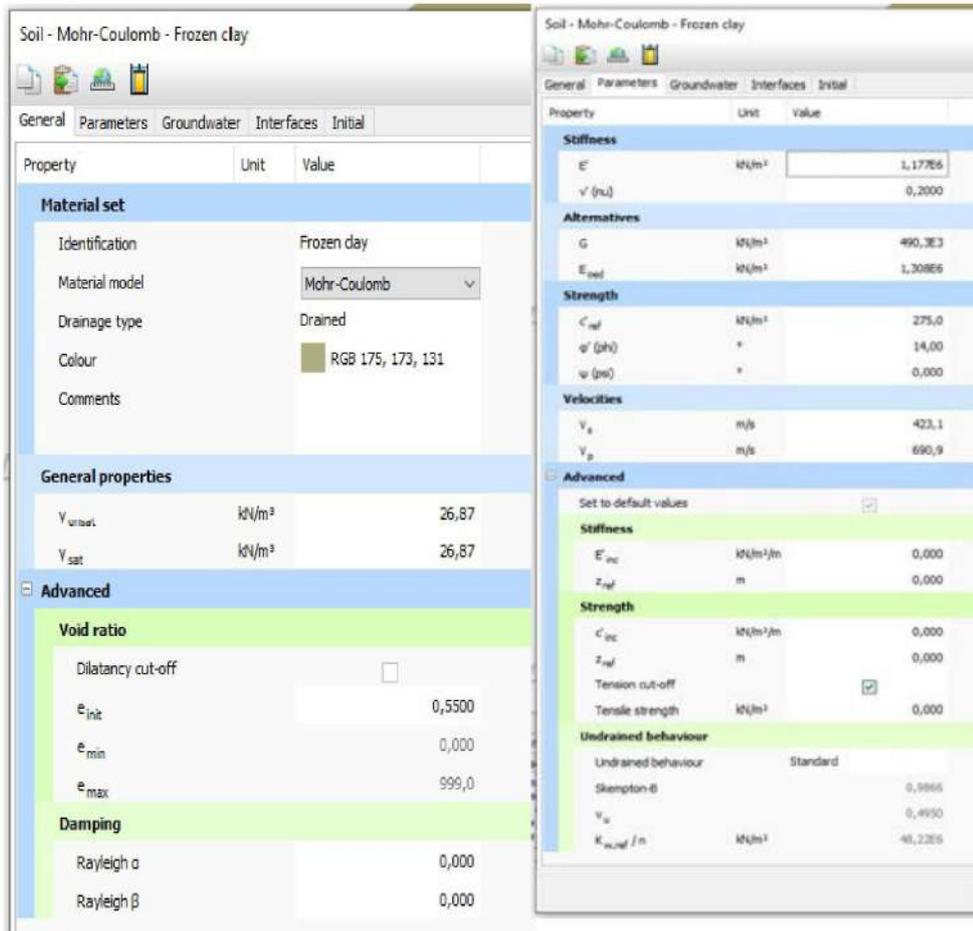
Фиг. 3



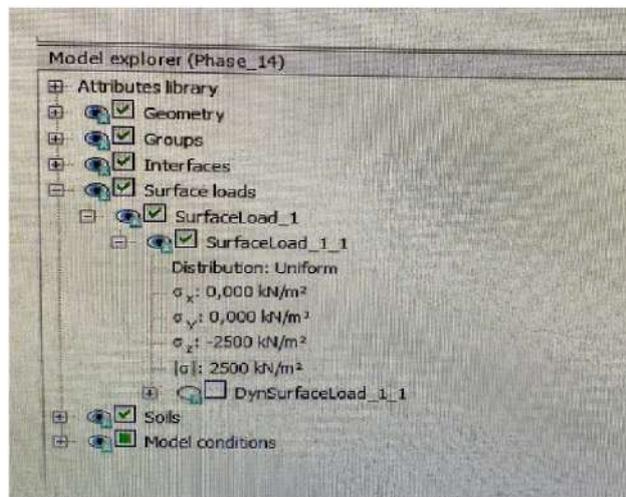
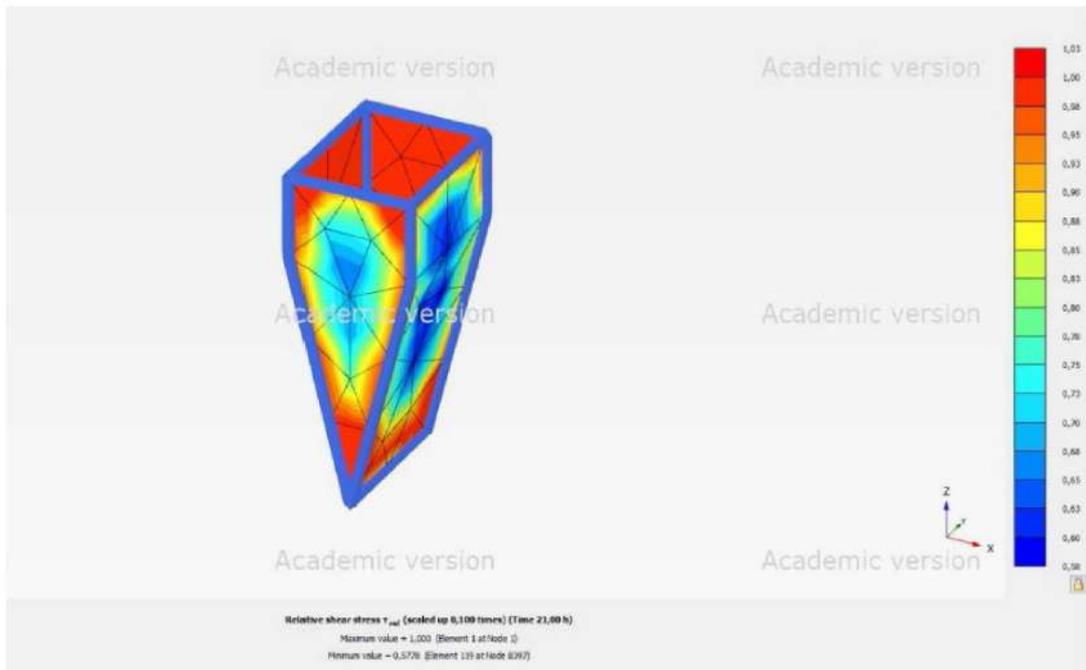
Фиг. 4



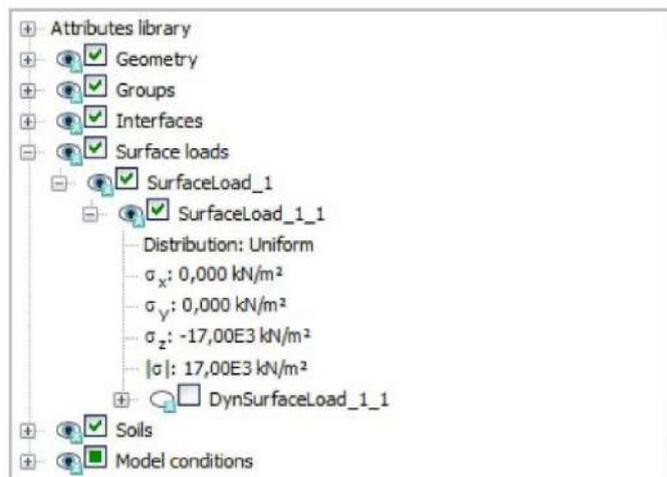
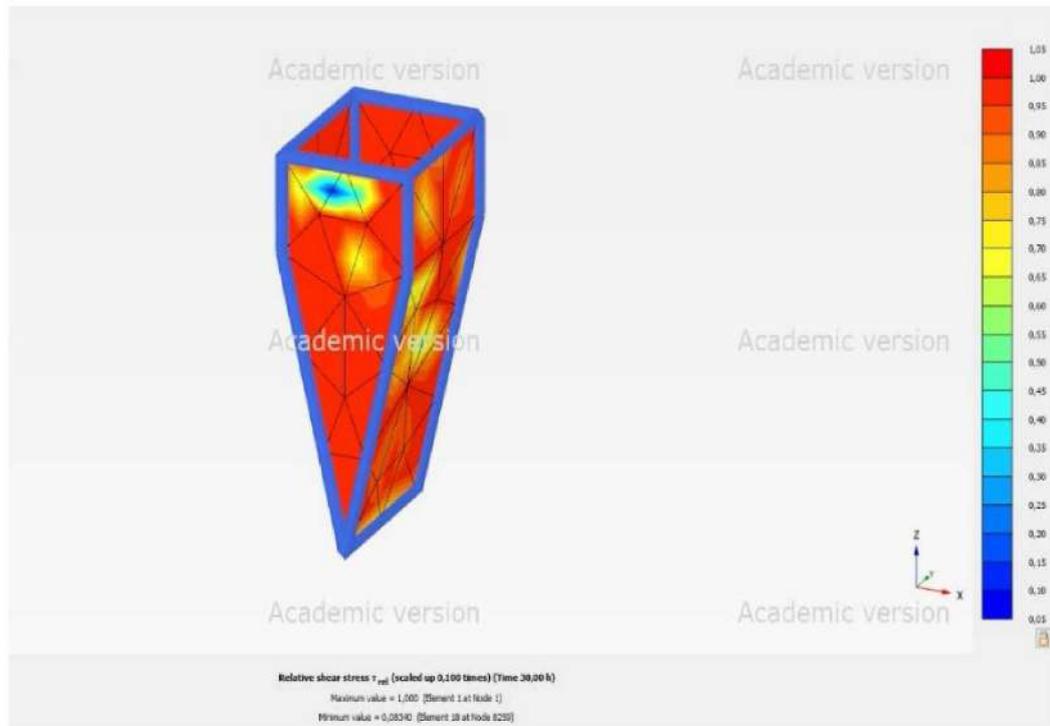
Фиг. 5



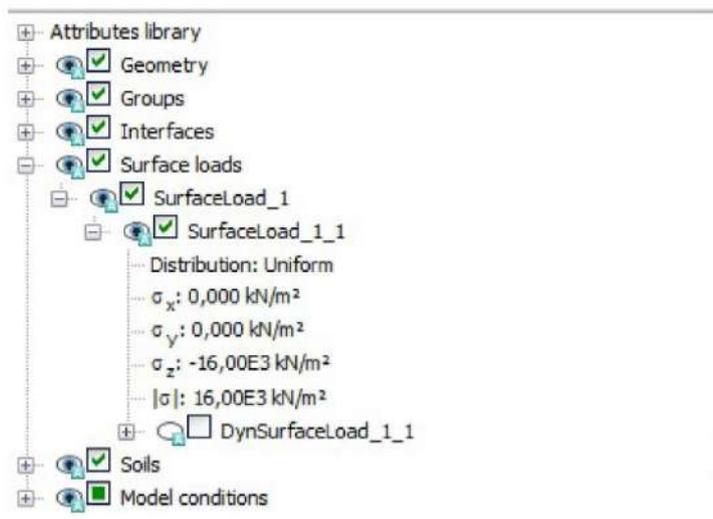
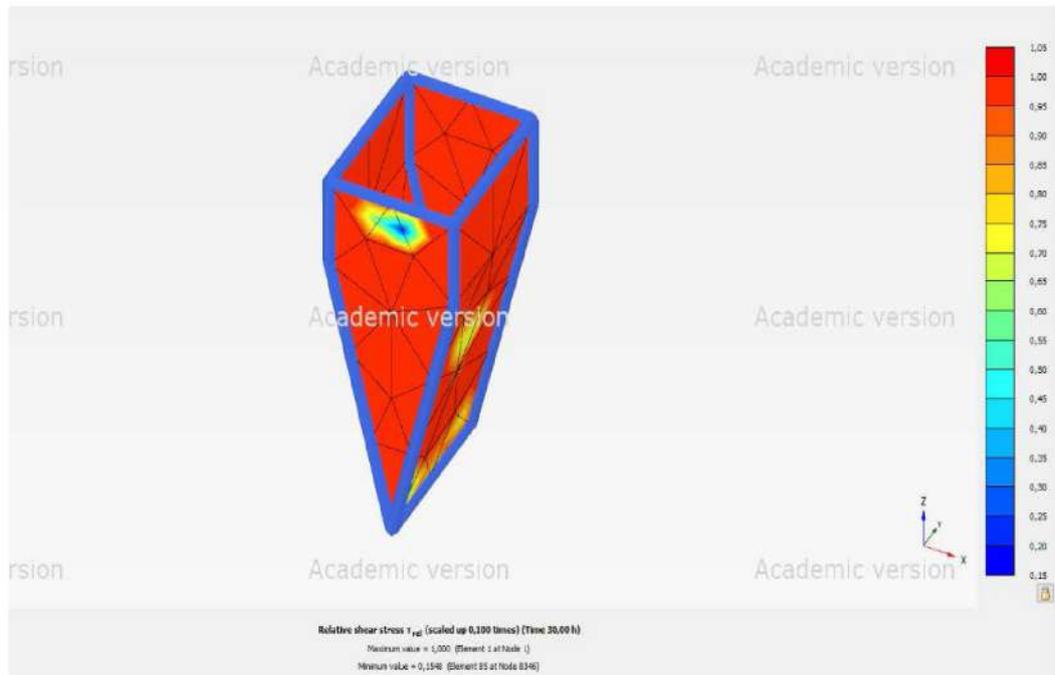
Фиг. 6



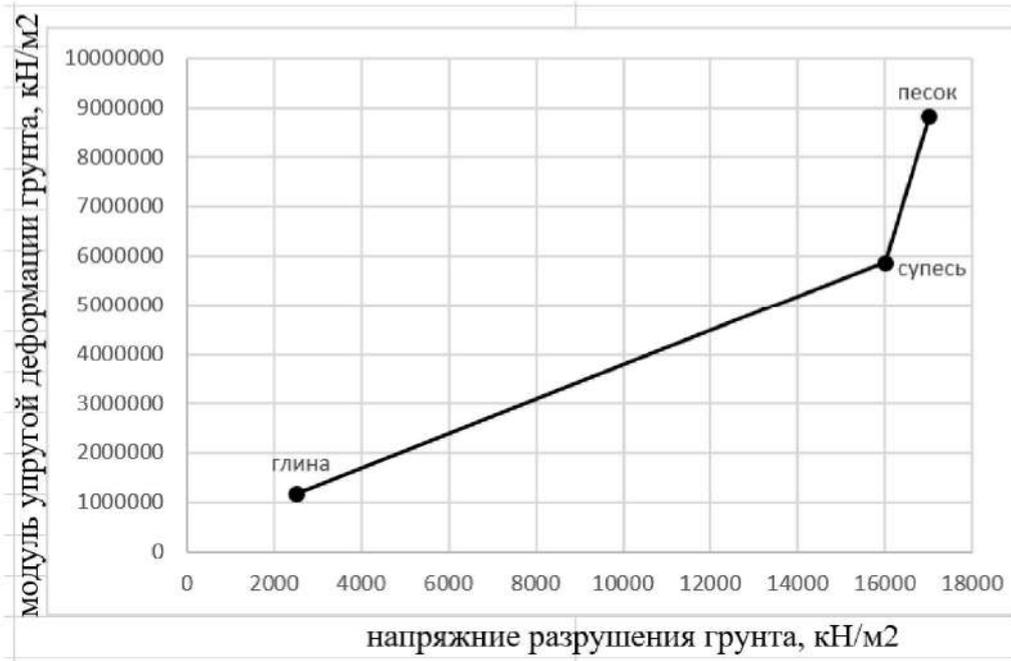
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10