

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2743547

СПОСОБ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ, СЛУЖАЩИХ ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

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

Авторы: *Потапов Анатолий Иванович (RU),
Шихов Александр Игоревич (RU)*

Заявка № 2020132560

Приоритет изобретения 02 октября 2020 г.

Дата государственной регистрации в


Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 19 февраля 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 02 октября 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.Н. Ильин





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E02D 1/00 (2021.01)

(21)(22) Заявка: 2020132560, 02.10.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.10.2020

Дата регистрации:
19.02.2021

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 02.10.2020

(45) Опубликовано: 19.02.2021 Бюл. № 5

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Потапов Анатолий Иванович (RU),
Шихов Александр Игоревич (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 2706910 C1, 21.11.2019. Статья
"Аппаратурный комплекс импульсного
акустического просвечивания и зондирования
АПЗ-1", ООО "ГЕОДИАГНОСТИКА",
расположена в интернете по адресу
<https://geodiagnosics.ru/APZ.htm>, найдена в
интернете 20.01.2020. RU 2691208 C1, 11.06.2019.
RU 2271002 C1, 27.02.2006. RU 2704074 C1,
23.10.2019. SU 894634 A1, 30.12.1981.

(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ, СЛУЖАЩИХ
ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к геотехническому мониторингу многолетнемерзлых грунтов и предназначено для прогнозирования критических осадок фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Способ мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов, служащих основанием для фундаментов зданий и сооружений, включает возбуждение колебаний, определение скорости и времени вступления продольной волны, проходящей через массив грунтов. На этапе инженерно-геологических изысканий определяют статический модуль деформации многолетнемерзлых грунтов с учетом нагрузки от будущего сооружения, после установки свайного фундамента у свай, диаметрально, бурят наблюдательные скважины, глубину и расстояние между ними определяют по результатам компьютерного моделирования

напряженно-деформируемого состояния грунтового основания. Для предотвращения обвала стенок скважин в них устанавливают бетонную обделку, а на поверхности устанавливают бетонные плиты-якоря. Затем в скважины помещают низкочастотные излучающие и приемные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом, для каждого преобразователя определен свой порядковый номер, который соответствует номеру свай. Далее последовательно производят прозвучивание грунта и определяют время распространения продольной волны при каждом положении излучающего и приемного преобразователя, полученные данные передают на ПК и производят расчет скорости распространения продольной ультразвуковой волны и динамического модуля деформации

многолетнемерзлых грунтов, после чего определяют корреляционную зависимость между динамическим модулем деформации и статическим модулем деформации грунтов. На этапе эксплуатации сооружения выполняют периодические измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, рассчитывают динамический модуль деформации грунтов, после чего по полученной

раннее корреляционной зависимости пересчитывают статический модуль деформации, выполняют расчет предполагаемых осадок фундамента сооружения и делают вывод о состоянии массива многолетнемерзлых грунтов. Технический результат состоит в обеспечении возможности непрерывного мониторинга деформационных свойств многолетнемерзлых грунтов. 2 н.п. ф-лы, 1 табл., 5 ил.

RU 274347 C1

RU 274347 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E02D 1/00 (2021.01)

(21)(22) Application: **2020132560, 02.10.2020**

(24) Effective date for property rights:
02.10.2020

Registration date:
19.02.2021

Priority:

(22) Date of filing: **02.10.2020**

(45) Date of publication: **19.02.2021** Bull. № 5

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Potapov Anatolii Ivanovich (RU),
Shikhov Aleksandr Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR MONITORING THE CONDITION OF PERMAFROST SOILS SERVING AS BASE FOR BUILDINGS AND STRUCTURES, AND DEVICE FOR IMPLEMENTING IT**

(57) Abstract:

FIELD: geotechnical monitoring.

SUBSTANCE: invention relates to geotechnical monitoring of permafrost soils and is intended for predicting the critical settlement of foundations of buildings and structures on permafrost soils. Method for monitoring the conditions permafrost soils serving as the basis for the foundations of buildings and structures includes excitation of vibrations, determination of the speed and arrival time of a longitudinal wave passing through the soil mass. At the stage of geotechnical surveys, the static modulus of deformation of permafrost soils is determined, taking into account the load out of the future structure; after the installation of the pile foundation at the pile, observation wells are drilled diametrically; the depth and distance between them are determined according to the results of computer modeling of the soil foundation stress-strain state. To prevent the collapse of the borehole walls, concrete lining is installed in them, and concrete anchor slabs are installed on the surface. Then, low-frequency emitting and receiving ultrasonic transducers with dry point contact are placed in the wells; each transducer has its own serial number,

which corresponds to the pile number. Then the ground is sequentially scanned and the time of the longitudinal wave propagation is determined at each position of the emitting and receiving transducers. The obtained data are transmitted to the PC and the velocity of propagation of the longitudinal ultrasonic wave and the dynamic deformation modulus of permafrost soils are calculated, after which the correlation dependence between the dynamic deformation modulus and the static deformation modulus of soils is determined. At the stage of the structure operation periodic measurements of the longitudinal ultrasonic wave propagation time are performed, the dynamic modulus of soil deformation is calculated, after which the static modulus of deformation is recalculated using the previously obtained correlation dependence, the estimated settlement of the structure foundation is performed, and a conclusion is drawn about the state of the permafrost mass.

EFFECT: technical result consists in providing the possibility of continuous monitoring of the permafrost soils deformation properties.

3 cl, 1 tbl, 5 dwg

RU 2 743 547 C1

RU 2 743 547 C1

Изобретение относится к геотехническому мониторингу многолетнемерзлых грунтов и предназначено для прогнозирования критических осадок фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах.

Известен способ контроля положения трубопроводов надземной прокладки в условиях вечной мерзлоты (патент RU № 2582428, опубл. 27.04.2016 г.), который включает в себя следующие этапы: установка на сваи опор трубопроводов деформационных марок, установка грунтовых глубинных реперов, установка вдоль трубопровода референтных станций, далее определяют их координаты в государственной сети и переводят их в местные координаты, после чего в местной системе координат осуществляют нулевой цикл измерений координат деформационных марок относительно грунтовых глубинных реперов, определяют нулевое планово-высотное положение трубопровода и по результатам всех измерений строят проектную цифровую модель трубопровода, далее в процессе эксплуатации трубопровода с помощью мобильных GPS/ГЛОНАСС приемников осуществляют контрольные измерения координат деформационных марок, характеризующих текущее планово-высотное положение трубопровода, передают данные измерений на сервер и строят текущую цифровую модель трубопровода.

Недостатком способа является то, что система фиксирует уже произошедшие изменения положения (осадки) трубопровода и не позволяет прогнозировать дальнейшие изменения положения трубопровода ввиду изменения свойств грунта.

Известен способ осуществления мониторинга за параметрами почвы (патент RU № 2613907, опубл. 21.03.2017 г.), который включает в себя следующие этапы: бурение скважин, размещение в скважинах почвенных датчиков температуры, на разной глубине, обратную засыпку скважин, зарегистрированная информация об измеренной температуре передается от датчиков в базу данных на удаленных серверах.

Недостатком способа является то, что при оценке состояния массива вечномерзлых грунтов информативным параметром является только температура грунта. Несмотря на то, что физико-механические свойства вечномерзлых грунтов на прямую зависят от температуры, прогнозировать потерю несущей способности, опираясь только на температурные показатели невозможно. Это объясняется тем, что переход грунтов из твердомерзлого состояния в пластично-мерзлое возможен при малейшем изменении температуры на $0,1^{\circ}\text{C}$.

Известен способ мониторинга температурных аномалий в многолетнемерзлом грунте трассы линейного объекта (патент RU № 2669602, опубл. 12.10.2018 г.), который заключается в следующем: по сигналам от датчиков температуры определяют слой с границей оттаивания, далее определяют весовые коэффициенты для вышерасположенных слоев многолетнемерзлых грунтов и находят взвешенную по слоям температурную модель, затем определяют весовые коэффициенты для термометрических скважин участка и находят взвешенную температурную модель участка, далее находят температурные отклонения и в соответствии с априорными данными выясняют максимально допустимую величину отклонения температуры участка и сравнивают ее с полученными значениями отклонений.

Недостатком способа является то, что температура оттаивания одного и того же типа грунта может значительно отличаться и зависит от химического, минерального состава грунтовых вод и многих других факторов, поэтому обнаружения участка, на котором повышена температура, не означает что в данный момент основание может потерять несущую способность на этом участке.

Известен способ прогнозирования начала разрушения оснований фундаментов

зданий и сооружений и устройство для его осуществления (патент RU № 2100806, опубл. 27.12.1997 г.), который включает измерение параметров акустической эмиссии при температуре перехода грунта из твердомерзлого состояния в пластично-мерзлое, момент начала разрушения оснований определяют по резкому снижению амплитудно-частотных параметров акустической эмиссии.

Недостатком способа является то, что применение пассивного акустического метода контроля позволяет дать только краткосрочный прогноз.

Известен способ измерения осадок фундаментов и устройство для его реализации» (патент RU № 2413055, опубл. 27.02.2011 г.), который заключается в периодическом измерении положения марки, расположенной на фундаменте, относительно практически неподвижного репера, положение марки по высоте измеряют датчиком линейных перемещений с преобразователем значений перемещений в электрический сигнал.

Недостатком способа является то, что способ не позволяет определить изменения деформационных свойств мерзлого основания, повлекших за собой осадки сооружения и прогнозировать критические осадки основания.

Известен способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов (патент RU № 2706910, опубл. 21.11.2019 г.), принятый за прототип способа, который заключается в регистрации отраженных сейсмоакустических сигналов пьезоэлектрическим сейсмоприемником. В контрольные скважины устанавливается система, состоящая из электроискрового источника сейсмических колебаний и гирлянды пьезоэлектрических сейсмоприемников. Установленную систему, смещают вдоль ствола скважины и регистрируют сейсмоакустические сигналы. Далее определяют времена вступления и скорость распространения продольных волн, на основании чего судят о толщине ледопородного массива.

Данный способ не рассматривается в качестве способа непрерывного мониторинга грунтовых оснований. Недостатком способа является, то что в результате измерений не определяются деформационные свойства грунтов и их изменение.

Известно устройство геотехнической диагностики и мониторинга магистральных трубопроводов в криолитозоне (патент RU № 139945, опубл. 27.04.2014 г.), которое включает датчик температуры грунта, датчик температуры трубопровода, датчик деформации трубопровода, блок сбора данных. Блок сбора данных содержит блок управления и блок обработки данных. Датчик деформации трубопровода состоит из трех сенсорных волоконно-оптических кабелей, закрепленных вдоль всего контролируемого объекта под теплоизоляционным слоем. Датчик температуры трубопровода состоит из сенсорного волоконно-оптического кабеля, который также расположен по всей длине контролируемого участка. Датчик температуры грунта представляет собой сенсорный волоконно-оптический кабель, расположенный в грунте, на расстоянии от теплоизоляции трубопровода. Все датчики соединены с входом сбора данных.

Недостатком устройства является то, что датчик деформации устанавливается непосредственно на трубопровод и фиксирует деформации трубопровода, которые уже произошли в результате оттаивания многолетнемерзлых грунтов, то есть данное устройство не позволяет прогнозировать деформации трубопровода и грунтовых оснований.

Известно устройство автоматизированного геотехнического мониторинга для подземных трубопроводов (патент RU № 2672243, опубл. 12.11.2018 г.) которое представляет собой закрепленный на трубопроводе с помощью гибких элементов фиксации изогнутого основания, на которое устанавливается несущая стойка, на боковой

стороне стойки закрепляется две дополнительные стойки. Внутри первой дополнительной стойки установлен датчик температуры, который соединен с логгером, установленным во второй дополнительной стойке. Внутри несущей стойки установлены два термопреобразователя. На опоре устанавливается отражатель, деформационная марка, распределительная и коммутационная коробки.

Недостатком устройства является то, что установленная деформационная марка, для измерения плано-высотного положения, является индикатором уже произошедших изменений и не позволяет прогнозировать их, с целью предотвращения, а установленные датчики температуры не позволяют достоверно оценить изменение теплофизических и деформационных свойств грунта, так как оттаивание многолетнемерзлых грунтов это сложный и многофакторный процесс, зависящий не только от изменения температуры грунтов.

Известен способ прогнозирования начала разрушения оснований фундаментов зданий и сооружений и устройство для его осуществления (патент RU № 2100806, опубл. 27.12.1997 г.). Устройство состоит из температурного датчика грунта, двух предусилителей сигнала, волновода с пьезодатчиком акустической эмиссии, полосового фильтра со встроенным усилителем, блока аналого-цифровой обработки и запоминающее устройство.

Недостатком устройства является то, что применение датчиков акустической эмиссии, для прогнозирования начала разрушения фундаментов, осложнено тем, что импульсы акустической эмиссии тяжело отделить от шумов.

Известен аппаратный комплекс импульсного акустического просвечивания и зондирования АПЗ-1 (разработчик ООО «Геодиagnostика», Россия, 2006 г. Geodiagnostics: [<https://geodiagnostics.ru/APZ.htm>]), принятый за прототип устройства, который состоит из генератора импульсов тока, электроискрового излучателя, приемника упругих волн, геофизического и радиочастотного кабеля, усилителя напряжения, персонального компьютера с установленным программным обеспечением.

Недостатком устройства является электрогидравлический способ возбуждения упругих волн. Излучатель и приемник располагаются в гидронаполненных скважинах, что вызывает сложности при проведении работ в условиях криолитозоны. Так же данный аппаратный комплекс не рассматривается в качестве автономной системы непрерывного мониторинга состояния многолетнемерзлых оснований.

Техническим результатом способа является возможность непрерывного мониторинга деформационных свойств многолетнемерзлых грунтов.

Технический результат достигается тем, что на этапе инженерно-геологических изысканий определяют статический модуль деформации многолетнемерзлых грунтов с учетом нагрузки от будущего сооружения, после установки свайного фундамента, у сваи, диаметрально, бурят наблюдательные скважины, глубину и расстояние между ними определяют по результатам компьютерного моделирования напряженно-деформируемого состояния грунтового основания, при этом для предотвращения обвала стенок скважин, в них устанавливают бетонную обделку, а на поверхности устанавливают бетонные плиты-якоря, затем в скважины помещают низкочастотные излучающие и приемные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом, для каждого преобразователя определен свой порядковый номер, который соответствует номеру сваи, далее последовательно производят прозвучивание грунта и определяют время распространения продольной волны при каждом положении излучающего и приемного преобразователя, полученные данные передают на ПК и производят расчет скорости распространения продольной ультразвуковой волны и динамического модуля

деформации многолетнемерзлых грунтов, после чего определяют корреляционную зависимость между динамическим модулем деформации и статическим модулем деформации грунтов, на этапе эксплуатации сооружения выполняют периодические измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, рассчитывают динамический модуль деформации грунтов, после чего, по полученной ранее, корреляционной зависимости пересчитывают статический модуль деформации, выполняют расчет предполагаемых осадок фундамента сооружения и делают вывод о состоянии массива многолетнемерзлых грунтов.

Техническим результатом является создание устройства для применения низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом, которое позволяет решить проблему обеспечения акустического контакта преобразователя со стенкой скважины, выявлять различные изменения в массиве многолетнемерзлых грунтов.

Технический результат достигается тем, что устройство дополнительно снабжено низкочастотными приемными и излучающими ультразвуковыми преобразователями с сухим точечным контактом, которые через коммутаторы подключены к устройству для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, коммутаторы и устройство для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны подключены к ПК через USB кабеля, низкочастотные приемные и излучающие ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом установлены в скважины с помощью устройства для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины, которое включает в себя последовательно соединенные, с помощью резьбового соединения, натяжную шпильку, муфту, соединительную шпильку, соединительный тройник и стальную трубу, к нижнему концу стальной трубы жестко присоединен прижимной уголок, к которому крепится с возможностью съема низкочастотный приемный или излучающий ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом.

Способ мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов, служащих основанием для зданий и сооружений и устройство для его осуществления поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – общая схема системы мониторинга в разрезе;
фиг.2 – общая схема системы мониторинга в плане;
фиг.3 – схема наблюдательных скважин в разрезе;
фиг.4 – схема подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины;
фиг.5 – устройство для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины, где:

1 – ПК, с предустановленным программным обеспечением;
2 – устройство для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны;
3 – коммутатор-демультиплексор;
4 – коммутатор-мультиплексор;
5 – излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом;
6 – приемный низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом;
7 – усилитель сигнала;
8 – устройство для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины;

- 9 – геофизический кабель с байонетным разъемом;
- 10 – труба;
- 11 – соединительный тройник;
- 12 – прижимной уголок;
- 5 13 – муфта;
- 14 – соединительная шпилька;
- 15 – натяжная шпилька;
- 16 – анкер;
- 17 – плита-якорь;
- 10 18 – наблюдательная скважина;
- 19 – составной защитный оголовок;
- 20 – свайный фундамент.

Способ мониторинга многолетнемерзлых грунтов реализуется следующим образом. На этапе инженерно-геологических изысканий определяется статический модуль деформации многолетнемерзлых грунтов. Статический модуль деформации грунтов определяется с учетом нагрузки от будущего сооружения. Для определения глубины наблюдательных скважин 18 и расстояния между ними, проводится компьютерное моделирование напряженно-деформируемого состояния вечномерзлого грунта, служащего основанием для свайного фундамента 20. После установки свайного фундамента 20 (фиг.3), у сваи, диаметрально, бурятся две наблюдательные скважины 18, для предотвращения обвала стенок скважин, в них устанавливается бетонная обделка. Далее устанавливаются плиты-якоря 17, для крепления устройства подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины 8 (фиг.4). В наблюдательные скважины 18 (фиг.3), устанавливаются излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 5 (фиг.3), и приемный низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 6, каждый преобразователь имеет свой порядковый номер в системе, соответствующий номеру сваи. После ввода сооружения в эксплуатацию, с ПК с предустановленным программным обеспечением 1 (фиг.2), подается электрический сигнал на излучающие низкочастотные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом 5, выполняется измерение времени распространения продольной ультразвуковой волны между соответствующими скважинами. По результатам измерений рассчитывается скорость распространения продольной ультразвуковой волны и определяется динамический модуль деформации многолетнемерзлых грунтов. Далее устанавливается корреляционная зависимость между значением статического модуля деформации и динамического модуля деформации многолетнемерзлых грунтов. В период эксплуатации сооружения выполняются периодические измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, расчет динамического модуля деформации многолетнемерзлых грунтов, по ранее определенной корреляционной зависимости рассчитывается статический модуль деформации грунта и определяются возможные осадки фундамента сооружения. Все расчеты выполняются программным обеспечением, установленным на ПК 1.

Способ поясняется следующими примерами. Физической основой применения акустического метода для оценки деформационных свойств многолетнемерзлых грунтов при оттаивании является то, что скорости упругих волн, динамический модуль деформации, так же как и статический модуль деформации характеризуют способность грунта деформироваться. Способ мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов заключается в чувствительности скорости распространения продольной ультразвуковой волны, к изменению в массиве многолетнемерзлых грунтов. Мониторинг заключается

в измерении времени распространения продольной ультразвуковой волны, в массиве многолетнемерзлых грунтов. Приемные и излучающие датчики устанавливаются в скважины, пробуренные диаметрально от свай. Установленные в скважинах преобразователи, смещают вдоль ствола скважины, с определенным шагом.

5 Выполняются измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны. После чего выполняется расчет скорости распространения продольной ультразвуковой волны.

$$v = \frac{l}{T};$$

10 где l – расстояние между скважинами; T – время прохождения упругой волны.

По полученным значениям распространения скорости продольной ультразвуковой волны, выполняется расчет динамического модуля упругости вечномерзлых грунтов:

$$E_d = v^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}{1-\mu};$$

15 где μ – коэффициент Пуассона; ρ – плотность грунтов.

Далее по полученной корреляционной зависимости между статическим модулем деформации и динамическим модулем деформации, рассчитывается статический модуль деформации, после чего выполняется расчет предполагаемых осадок фундамента методом послойного суммирования. По полученным значениям делается вывод о состоянии вечномерзлых грунтов. Таким образом, основным параметром по которому определяется изменения деформационных свойств многолетнемерзлого грунта является скорость распространения продольной ультразвуковой волны.

25 С помощью данного метода возможно обнаружить не только температурную деградацию массива вечномерзлых грунтов, но и появления промывов в результате техногенных аварий. Чувствительность скорости распространения продольной ультразвуковой волны к пустотным дефектам неоднократно доказана. Этот эффект широко применяется на практике.

30 Чувствительность скорости распространения продольной ультразвуковой волны к изменениям температуры в массиве вечномерзлых грунтов доказана экспериментально. Результаты проведенных измерений скорости продольной ультразвуковой волны, при оттаивании различных образцов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - результаты измерений скорости распространения продольной ультразвуковой волны в мерзлых грунтах, при их оттаивании.

| Песок, влажность 10% | | | Песок, влажность 20% | | |
|-------------------------|-------------------|--------------|-------------------------|-------------------|--------------|
| t, °C | T_{0t} , мкс | v , м/с | t, °C | T_{0t} , мкс | v , м/с |
| -15 | 52.84 | 1950 | -15 | 44.86 | 2251 |
| -10 | 54.62 | 1885 | -10 | 47.34 | 2133 |
| -5 | 70.64 | 1458 | -5 | 63.78 | 1583 |
| 0 | 76.53 | 1345 | 0 | 66.37 | 1521 |
| Суглинок, влажность 20% | | | Суглинок, влажность 30% | | |
| t, °C | T_{0t} , мкс | v , м/с | t, °C | T_{0t} , мкс | v , м/с |
| -15 | 47.56 | 2018 | -15 | 49.78 | 2069 |
| -10 | 49.87 | 1928 | -10 | 52.76 | 1952 |
| -5 | 62.57 | 1529 | -5 | 60.57 | 1701 |

| | | | | | |
|---|-------|------|---|-------|------|
| 0 | 65.73 | 1460 | 0 | 65.78 | 1566 |
|---|-------|------|---|-------|------|

Данные, приведенные в таблице 1, получены в ходе проведения экспериментальных измерений скорости распространения продольной ультразвуковой волны в мерзлых грунтах, при их оттаивании. В ходе эксперимента, в центр массива мерзлого грунта, для контроля температуры, устанавливался температурный датчик. Измерения проводились при достижении грунтов определенных температур. Стоит отметить, что оттаивание грунтов происходило равномерно, в направлении от краев к центру, и при достижении температуры -5°C в центре массива, значительная его часть уже оттаивала. Результаты экспериментальных исследований стоит разделять на три этапа. Первый этап – диапазон температуры от -15 до -10°C , второй – от -10 до -5°C и третий – от -5 до 0°C .

На первом этапе, на всем диапазоне температур, массив грунтов был полностью заморожен. В данном случае, значение скорости распространения ультразвуковой волны изменялось не значительно.

На втором этапе, отрицательная температура сохранялась только в центральной части массива. Разница между значениями скорости распространения упругой волны, в верхнем пределе диапазона и в нижнем, значительна.

На третьем этапе, массив полностью оттаивал. Состояния массива, как и на первом этапе, становилось равномерным. На первом этапе массив был полностью заморожен, на третьем этапе – оттаявшим. Разница между значениями скорости распространения продольной ультразвуковой волны, как и на первом этапе, в верхнем и нижнем пределах диапазона уменьшается до минимального значения.

Также стоит отметить, что значение скорости распространения продольной ультразвуковой волны уменьшается на протяжении всего эксперимента с повышением температуры.

Устройство для реализации мониторинга многолетнемерзлых грунтов состоит из ПК, с предустановленным программным обеспечением 1 (фиг. 2), устройства для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2, коммутатора-демультиплексора 3, коммутатора-мультиплексора 4, излучающих низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом 5, приемных низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом 6, усилителей сигнала 7 и устройства для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины 8 (фиг.4).

ПК, с предустановленным программным обеспечением 1 (фиг.2), соединен с устройством для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2 (фиг.2), коммутатором-демультиплексором 3 и коммутатором-мультиплексором 4 (фиг.2), с помощью USB кабеля (не показан). Коммутатор-демультиплексор 3 и коммутатор-мультиплексор 4, соединены с устройством измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2, с помощью геофизических кабелей с байонетным разъемом (не показаны). Излучающие низкочастотные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом 5, соединены с коммутатором-демультиплексором 3, с помощью геофизического кабеля с байонетным разъемом 9. Приемные низкочастотные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом 6, соединены с усилителем сигнала 7 и коммутатором-мультиплексором 4, с помощью геофизического кабеля с байонетным разъемом 9. Излучающие низкочастотные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом 5 (фиг.3) и приемные низкочастотные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом 6, устанавливаются в наблюдательные скважины 18, с

помощью устройства для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины 8. Устройство для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины 8 (фиг.4), включает в себя трубу 10 (фиг.5), выполненную, например, из стали, с резьбовыми соединениями на обоих концах, верхний конец трубы 10, с помощью резьбового соединения, соединен с нижним концом соединительного тройника 11, нижний конец трубы 10, приварен к прижимному уголку 12, боковой конец соединительного тройника 11, соединен с муфтой 13, с помощью соединительной шпильки 14, соединительная шпилька 14 на обоих концах имеет резьбовое соединение, муфта 13, через резьбовое соединение, соединена с натяжной шпилькой 15, один конец натяжной шпильки 15 (фиг.4), выполнен в форме кольца и соединен с анкером 16, который замоноличен в бетонной плите-якоре 17. Излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом и приемный низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 6 (фиг.5) крепятся к прижимному уголку 12, с помощью хомутов.

Устройство работает следующим образом. На поверхности собирается устройство для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины 8 (фиг.4). К прижимному уголку 12 (фиг.5) хомутами крепится излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 5, к излучающему низкочастотному ультразвуковому преобразователю с сухим точечным контактом 5 подключается геофизический кабель с байонетным разъемом 9, предварительно пропущенный через трубу 10, далее происходит спуск излучающего низкочастотного ультразвукового преобразователя с сухим точечным контактом 5, в наблюдательную скважину 18 (фиг.3), на проектную глубину с параллельным наращиванием трубы 10 (фиг.4), после того как излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 5 (фиг.5) достиг проектной глубины, к трубе 10 прикручивается соединительный тройник 11, соединительный тройник 11 одним концом соединен с трубой 10, во второй конец соединительного тройника 11 вкручивается соединительная шпилька 14, а через третий конец выходит геофизический кабель с байонетным разъемом 9, соединительная шпилька 14 соединяется с муфтой 13, которая соединена с натяжной шпилькой 15, натяжная шпилька 15 соединена с анкером 16 (фиг.4), который замоноличен в плиту-якорь 17, далее путем вкручивания натяжкой шпильки 15 (фиг.5) в муфту 13 выполняется прижим излучающего низкочастотного ультразвукового преобразователя с сухим точечным контактом 5 (фиг.4) к стенке наблюдательной скважины 18, до момента касания излучающего низкочастотного ультразвукового преобразователя с сухим точечным контактом 5 стенки наблюдательной скважины 18. После установки излучающего низкочастотного ультразвукового преобразователя с сухим точечным контактом 5 (фиг.3) в проектное положение, наблюдательная скважина 18 закрывается составным защитным оголовком 19, для предотвращения попадания мусора и атмосферных осадков в наблюдательную скважину 18. Далее геофизический кабель с байонетным разъемом 9 (фиг.2) подключают к коммутатору-демультиплектору 3. Данную последовательность операций повторяют для всех наблюдательных скважин 18, в случае с установкой приемных низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом 6 (фиг.3), в наблюдательные скважины 18 также устанавливается усилитель сигнала 7, а геофизический кабель с байонетным разъемом 9 (фиг.2), подключается от приемного низкочастотного ультразвукового преобразователя с сухим точечным контактом 6 к коммутатору-мультиплектору 4. После установки и соединения всех излучающих низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом 5 с

коммутатором-демультиплексором 3 и приемных низкочастотных ультразвуковых преобразователей с сухим точечным контактом 6 (фиг.2) с коммутатором-мультиплексором 4, выполняются измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны. С ПК, с предустановленным программным обеспечением 1, подается сигнал на коммутатор-демультиплексор 3 и коммутатор-мультиплексор 4 с выбранным номером наблюдательной скважины 18, далее с ПК, с предустановленным программным обеспечением 1, включается устройство для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2, от устройства для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2 электрический сигнал, через коммутатор-демультиплексор 3, по геофизическому кабелю с байонетным разъемом 9, передается на излучающий низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 5 (фиг.3), излучающим низкочастотным преобразователем с сухим точечным контактом 5 электрический сигнал преобразуется в продольную ультразвуковую волну, которая проходит через массив многолетнемерзлого грунта и попадает на приемный низкочастотный ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом 6, где преобразуется из продольной ультразвуковой волны в электрический сигнал, далее по геофизическому кабелю с байонетным разъемом 9, электрический сигнал, пройдя через усилитель сигнала 7, и через коммутатор-мультиплексор 4 (фиг.2) попадает на устройство измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны 2, откуда данные поступают в ПК, с предустановленным программным обеспечением 1, где происходит расчет скорости распространения продольной ультразвуковой волны, расчет динамического модуля деформации и статического модуля деформации грунтов и рассчитываются возможные осадки фундамента сооружения.

Таким образом, применение данного способа мониторинга состояния массива многолетнемерзлых грунтов, служащих основанием для фундаментов зданий и сооружений, позволяет в автоматическом непрерывном режиме получать достоверные данные об изменении состояния массива многолетнемерзлого грунта и прогнозировать критические осадки фундаментов сооружений, на многолетнемерзлых грунтах.

(57) Формула изобретения

1. Способ мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов, служащих основанием для фундаментов зданий и сооружений, включающий возбуждение колебаний, определение скорости и времени вступления продольной волны, проходящей через массив грунтов, отличающийся тем, что на этапе инженерно-геологических изысканий определяют статический модуль деформации многолетнемерзлых грунтов с учетом нагрузки от будущего сооружения, после установки свайного фундамента у свай, диаметрально, бурят наблюдательные скважины, глубину и расстояние между ними определяют по результатам компьютерного моделирования напряженно-деформируемого состояния грунтового основания, при этом для предотвращения обвала стенок скважин в них устанавливают бетонную обделку, а на поверхности устанавливают бетонные плиты-якоря, затем в скважины помещают низкочастотные излучающие и приемные ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом, для каждого преобразователя определен свой порядковый номер, который соответствует номеру свай, далее последовательно производят прозвучивание грунта и определяют время распространения продольной волны при каждом положении излучающего и приемного преобразователя, полученные данные передают на ПК и производят расчет скорости распространения продольной ультразвуковой волны и динамического модуля

деформации многолетнемерзлых грунтов, после чего определяют корреляционную зависимость между динамическим модулем деформации и статическим модулем деформации грунтов, на этапе эксплуатации сооружения выполняют периодические измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, рассчитывают динамический модуль деформации грунтов, после чего по полученной ранее корреляционной зависимости пересчитывают статический модуль деформации, выполняют расчет предполагаемых осадок фундамента сооружения и делают вывод о состоянии массива многолетнемерзлых грунтов.

2. Устройство для реализации мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов, служащих основанием для фундаментов зданий и сооружений, включающее ПК с предустановленным программным обеспечением, усилитель сигнала, геофизические кабели, генератор импульсов тока, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено низкочастотными приемными и излучающими ультразвуковыми преобразователями с сухим точечным контактом, которые через коммутаторы подключены к устройству для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны, коммутаторы и устройство для измерения времени распространения продольной ультразвуковой волны подключены к ПК через USB кабеля, низкочастотные приемные и излучающие ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом установлены в скважины с помощью устройства для подвеса и обеспечения контакта преобразователя со стенкой скважины, которое включает в себя последовательно соединенные, с помощью резьбового соединения, натяжную шпильку, муфту, соединительную шпильку, соединительный тройник и стальную трубу, к нижнему концу стальной трубы жестко присоединен прижимной уголок, к которому крепится с возможностью съема низкочастотный приемный или излучающий ультразвуковой преобразователь с сухим точечным контактом.

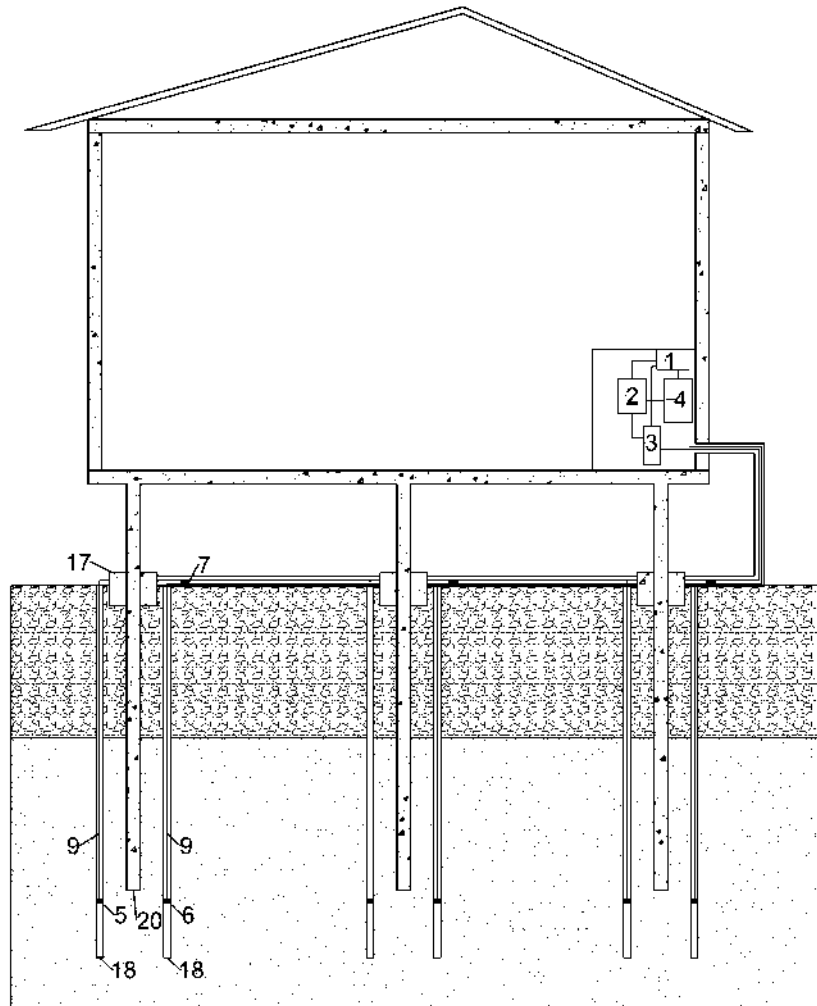
30

35

40

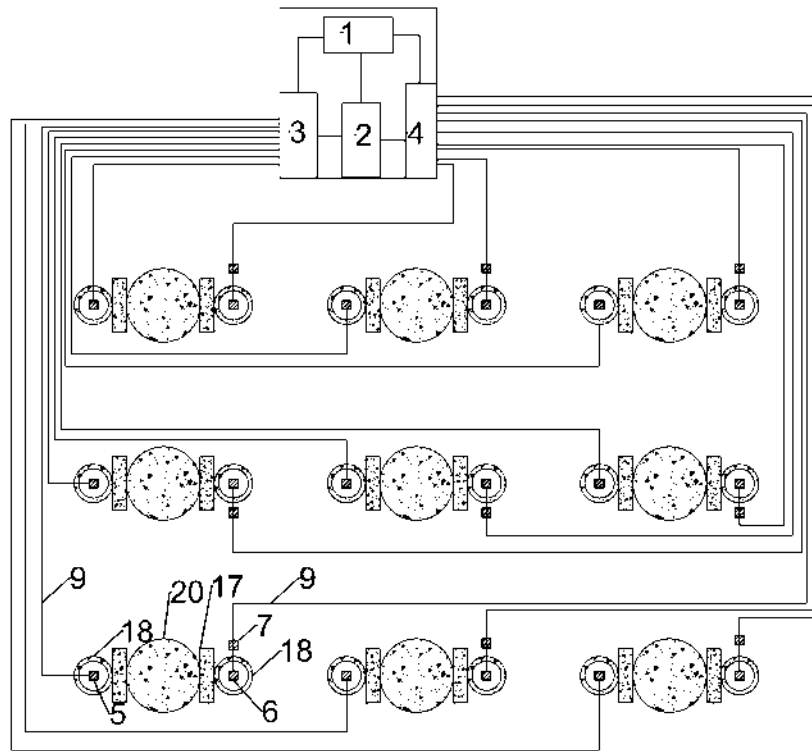
45

1

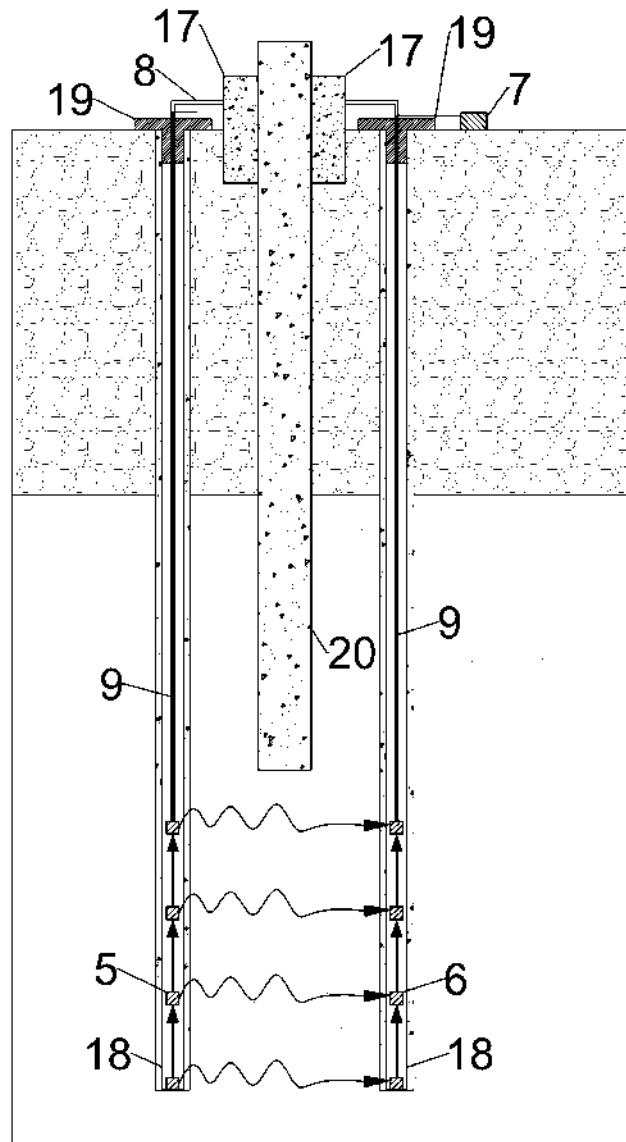


Фиг. 1

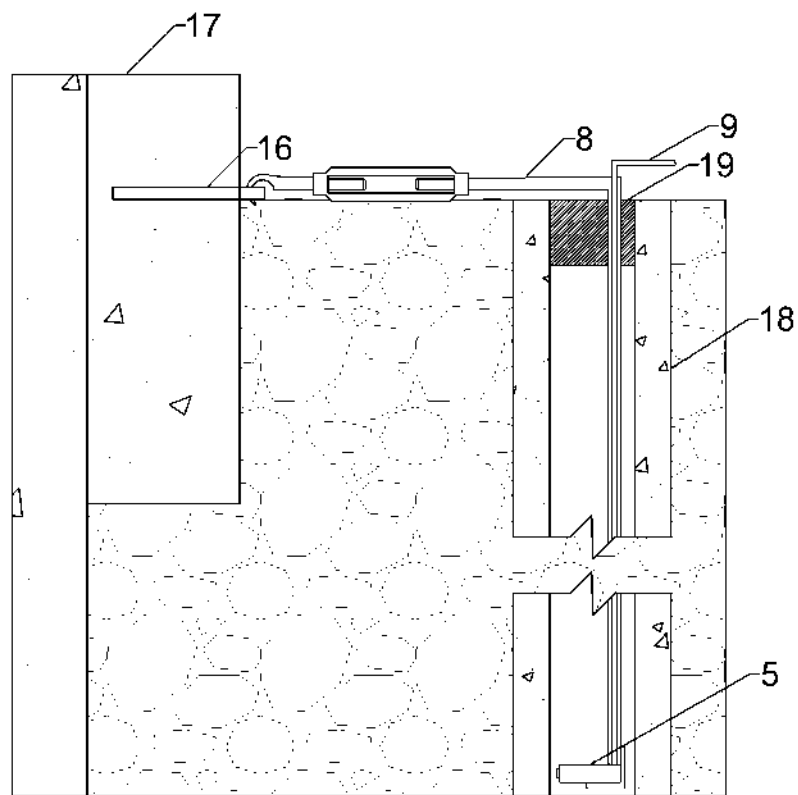
2



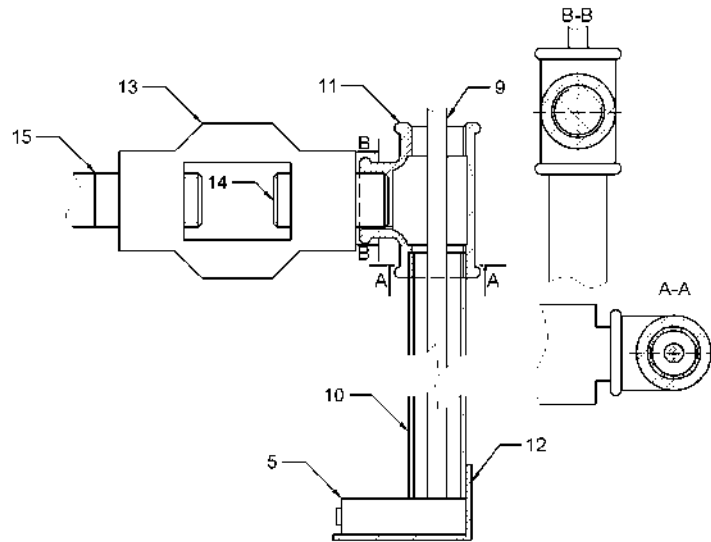
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5