

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036628**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.01

(51) Int. Cl. **E02D 27/26 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201992868

(22) Дата подачи заявки
2017.12.08

(54) СПОСОБ УПЛОТНЕНИЯ ОСНОВАНИЙ, СЛОЖЕННЫХ СЛАБЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ГРУНТАМИ

(31) **2017133868**

(32) **2017.09.29**

(33) **RU**

(43) **2020.04.30**

(86) **PCT/RU2017/000916**

(87) **WO 2019/066680 2019.04.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"РОССИЙСКИЙ КОНЦЕРН
ПО ПРОИЗВОДСТВУ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ
ЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ
СТАНЦИЯХ" (АО "КОНЦЕРН
РОСЭНЕРГОАТОМ");
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НАУКА И ИННОВАЦИИ" (АО
"НАУКА И ИННОВАЦИИ") (RU)**

(72) Изобретатель:

**Тер-Мартиросян Завен Григорьевич,
Тер-Мартиросян Армен Завенович,
Мирный Анатолий Юрьевич, Соболев
Евгений Станиславович, Сидоров
Виталий Валентинович, Анжело
Георгий Олегович, Лузин Иван
Николаевич (RU)**

(74) Представитель:

Снегов К.Г. (RU)

(56) **RU-C2-2473741
RU-C1-2265107
SU-A1-966163
RU-C1-2537448
US-A-3386251**

(57) Изобретение относится к строительству, а именно к укреплению грунтов под основания и фундаменты зданий и сооружений. Способ уплотнения оснований, сложенных слабыми минеральными грунтами, включает выполнение скважин, подачу уплотняющего материала в каждую скважину и воздействие рабочим инструментом на уплотняющий материал для образования грунтовой сваи. Предварительно выполняют инженерно-геологические изыскания по площади основания и определяют искомые параметры. Задают требуемый проектный модуль деформации уплотняемого слоя грунта. Производят сравнительные вычисления полученных результатов. Принимают шаг размещения грунтовых свай равным трем диаметрам полого трубчатого рабочего инструмента и определяют значение фактического среднего приведенного модуля деформации основания. Сравнивают его с проектным модулем деформации минерального грунта. Производят дополнительные инженерно-геологические изыскания по площади основания. Рассчитывают фактический средний приведенный модуль деформации уплотненного основания и сравнивают его с проектным значением. При несоответствии фактического среднего приведенного модуля деформации основания проектному значению производят установку дополнительных грунтовых свай между ранее установленными. Технический результат состоит в повышении производительности выполнения уплотнения грунта, снижении материалоемкости и трудоемкости.

B1**036628****036628****B1**

Изобретение относится к строительству, в частности к способам укрепления грунтов под основания и фундаменты зданий и сооружений, в том числе объектов электроэнергетики.

В практике проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений на выбранном участке строительства нередко залегают слабые водонасыщенные глинистые грунты, обладающие низкими характеристиками деформируемости и прочности. В таких случаях проводят преобразование слабого основания различными методами, которые ведут к уплотнению и упрочнению изначально слабого грунта. В группу преобразования свойств грунтов можно отнести уплотнение укаткой, трамбовкой, инъектированием различных составов, устройство грунтовых свай по различным технологиям.

Известен способ укрепления грунта, включающий образование скважины, разрыхление грунта стенок этой скважины и создание на этот грунт укрепляющего воздействия (а.с. СССР № 708010, 30.09.77). В этом способе укрепляющее воздействие создается только на грунт, который разрыхляется со стенок скважины. После утрямбовки этого грунта получается определенная степень укрепления, которую увеличить больше нельзя.

Данный способ не позволяет получить требуемой степени укрепления грунта под фундаменты для современного строительства.

Наиболее близким аналогом является способ уплотнения грунта (патент на изобретение РФ № 2473741), включающий выполнение скважины, засыпку уплотняющего материала в скважину и создание уплотняющего воздействия полым трубчатым рабочим инструментом на уплотняющий материал для образования грунтовой сваи.

Недостатком ближайшего аналога является отсутствие расчетов для подбора технологических параметров уплотнения грунтовой сваи в зависимости от свойств грунта, сверки полученных после уплотнения значений с проектными, что приводит к необходимости проведения лишних операций по уплотнению грунта, подбору необходимого количества скважин.

Задачей, достигаемой предлагаемым изобретением, является повышение производительности выполнения уплотнения грунта, снижение материалоемкости и трудоемкости.

Технический результат, достигаемый настоящим изобретением, заключается в реализации уплотнения основания, сложенного слабыми минеральными грунтами, путем определения оптимальных проектных технологических параметров грунтовых свай по всей площади основания.

Сущность изобретения состоит в том, что в способе уплотнения оснований, сложенных слабыми минеральными грунтами, включающем выполнение скважин, подачу уплотняющего материала в каждую скважину и создание воздействия полым трубчатым рабочим инструментом на уплотняющий материал для образования грунтовой сваи, предложено предварительно выполнять инженерно-геологические изыскания по площади основания и определять значения модуля деформации, коэффициента Пуассона, угла внутреннего трения, удельного сцепления, удельного веса, начального коэффициента пористости слабого минерального грунта, задавать требуемый проектный модуль деформации уплотняемого слоя грунта, затем, принимая значение ε_i деформации расширения каждой скважины равным 0,1, вычислять коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i по формуле

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \varepsilon_i,$$

где e_i - коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи;

e_0 - начальный коэффициент пористости уплотняемого слабого минерального грунта;

ε_i - принятое значение деформации расширения скважины;

и определять при каждом шаге прогнозное значение индекса текучести слабого минерального грунта по формуле

$$I_{L2} = I_{L1} \cdot \left(\frac{\frac{e_2}{e_1} \cdot w_1 - w_p}{w_1 - w_p} \right),$$

где I_{L1} - значение индекса текучести слабого минерального грунта в естественных условиях;

I_{L2} - значение индекса текучести слабого минерального грунта после уплотнения;

e_1 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта в естественных условиях;

e_2 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения;

w_1 - влажность слабого минерального грунта в естественных условиях;

w_p - влажность слабого минерального грунта на границе пластичности;

затем по известным нормативным значениям принимать ближайшее предварительное значение модуля деформации E_r окружающую грунтовую сваю минерального грунта в зависимости от полученных значений коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i и индекса текучести грунта после уплотнения I_{L2} , после чего принимать шаг размещения грунтовых свай равным трем диаметрам полого трубчатого рабочего инструмента и определять значение фак-

тического среднего приведенного модуля деформации основания по формулам

$$\bar{E} = \beta / \bar{m}, \bar{m} = \frac{m_c \cdot m_z}{m_z \cdot \varepsilon + m_c(1 - \varepsilon)}, m_z = \frac{\beta}{E_z}, m_c = \frac{\beta}{E_c}, \varepsilon = \frac{a^2}{b^2},$$

где $\bar{E}$ - фактический средний приведенный модуль деформации основания;

β - коэффициент бокового расширения, равный 0,8, для композитного массива грунта;

m_z - коэффициент относительной сжимаемости минерального грунта;

m_c - коэффициент относительной сжимаемости материала грунтовой сваи;

$\bar{m}$ - коэффициент относительной сжимаемости массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее грунта;

E_z - модуль деформации окружающего грунтовую сваю минерального грунта;

E_c - модуль деформации материала грунтовой сваи;

ε - значение объемной деформации уплотняемого минерального грунта при расширении скважины;

a - конечный радиус грунтовой сваи;

b - радиус массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее минерального грунта, равный половине проектного шага размещения грунтовых свай;

сравнивать его с проектным модулем деформации минерального грунта, и, в случае получения меньшего фактического среднего приведенного модуля деформации грунта основания, чем проектный, увеличивать значение ε ; деформации расширения скважины итерационно с шагом 0,1 и повторять вычисление фактического среднего приведенного модуля деформации основания до достижения проектного значения или шага размещения грунтовых свай равного значению 1,5 диаметра полого трубчатого рабочего инструмента, при этом увеличение радиуса скважины, соответствующее значению принятой деформации расширения в процессе вдавливания, вычислять по формуле

$$r_p = R\sqrt{\varepsilon}.$$

где r_p - радиус расширенной скважины;

R - радиус влияния одной грунтовой сваи равный половине шага размещения грунтовых свай;

ε - значение объемной деформации уплотняемого грунта при расширении скважины;

длину грунтовой сваи принимать равной расстоянию от кровли до подошвы по меньшей мере одного слоя, требующего уплотнения, затем выполнять соответствующую длине грунтовой сваи скважину путем вдавливания полого трубчатого рабочего инструмента, подачу уплотняющего материала в скважину осуществлять через полость полого трубчатого рабочего инструмента, а уплотняющее воздействие для образования грунтовой сваи осуществлять вдавливанием полого трубчатого рабочего инструмента в уплотняющий материал, после чего производить дополнительные инженерно-геологические изыскания по площади основания, определяя модуль деформации уплотненного минерального грунта между грунтовыми сваями, рассчитывать фактический средний приведенный модуль деформации уплотненного основания и сравнивать его с проектным значением, а при несоответствии фактического среднего приведенного модуля деформации основания проектному значению, производить установку дополнительных грунтовых свай между ранее установленными.

Также предлагается преимущественно нижний конец полого трубчатого рабочего инструмента перед его вдавливанием в грунт основания перекрывать шибром или теряемым башмаком, а после засыпки уплотняющего материала в полость полого трубчатого рабочего инструмента открывать шибр полого трубчатого рабочего инструмента для просыпания уплотняющего материала в скважину, приподнимать полый трубчатый рабочий инструмент на заданную высоту слоя уплотнения, после чего производить вдавливание полого трубчатого рабочего инструмента в уплотняющий материал, а операцию вдавливания уплотняющего материала повторять послойно на всю длину грунтовой сваи до достижения требуемого уплотнения слабого минерального грунта.

В качестве уплотняющего материала возможно использование щебня, и/или песка, и/или гравия, и/или инертного материала, а полый трубчатый рабочий инструмент предлагается выполнять симметричным относительно его центральной оси.

Отличительной особенностью предлагаемого способа является то, что по результатам инженерно-геологических изысканий по площади основания определяются исходные параметры слабого минерального грунта, с использованием которых проводятся расчеты по подбору технологических параметров уплотнения грунтовых свай (шаг и радиус расширенной скважины) по всему основанию. Сверка после уплотнения основания полученного параметра уплотненного грунта по основанию в целом с проектным позволяет определить достаточность количества установленных грунтовых свай. Вдавливание полого трубчатого рабочего инструмента в грунт основания позволяет осуществить первое уплотнение слабого минерального грунта. Перекрытие нижнего конца рабочего инструмента шибром или теряемым башмаком позволяет осуществлять вдавливание уплотняющего материала в скважину, а послойное вдавливание рабочего инструмента в уплотняющий материал позволяет значительно расширить скважину, сформировать грунтовую сваю, а грунт вокруг грунтовой сваи уплотнить в радиальном (относительно грун-

товой сваи) направлении. Уплотнение окружающего грунтовую сваю грунта также вызывает активизацию процесса консолидации из-за появления избыточного порового давления. Использование в качестве уплотняющего материала щебня, и/или песка, и/или гравия, и/или любого иного инертного материала позволяет сформировать грунтовую сваю с необходимыми характеристиками в зависимости от свойств уплотняемого слабого минерального грунта таким образом, чтобы предотвратить возможность проникновения частиц уплотняемого грунта через тело грунтовой сваи.

Использование симметричного относительно центральной оси полого трубчатого рабочего инструмента позволяет осуществлять равномерное радиальное уплотнение грунта основания.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

В качестве исходных данных по результатам стандартных инженерно-геологических изысканий определяются физико-механические характеристики грунтов основания, а именно значения модуля деформации, коэффициента Пуассона, угла внутреннего трения, удельного сцепления, удельного веса, начального коэффициента пористости слабого минерального грунта.

Затем задают требуемый проектный модуль деформации уплотняемого слоя грунта и, принимая значение ε_i деформации расширения каждой скважины равным 0,1, вычисляют коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i , по формуле

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \varepsilon_i,$$

где e_i - коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи;

e_0 - начальный коэффициент пористости уплотняемого слабого минерального грунта;

ε_i - принятое значение деформации расширения скважины.

После этого определяют при каждом шаге прогнозное значение индекса текучести слабого минерального грунта по формуле

$$I_{L2} = I_{L1} \cdot \left(\frac{\frac{e_2}{e_1} \cdot w_1 - w_p}{w_1 - w_p} \right),$$

где I_{L1} - значение индекса текучести слабого минерального грунта в естественных условиях;

I_{L2} - значение индекса текучести слабого минерального грунта после уплотнения;

e_1 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта в естественных условиях;

e_2 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения;

w_1 - влажность слабого минерального грунта в естественных условиях;

w_p - влажность слабого минерального грунта на границе пластичности.

Затем по известным нормативным значениям (например, из табл. Б.4 СП 22.13330.2011) принимают ближайшее предварительное значение модуля деформации E_r окружающего грунтовую сваю минерального грунта в зависимости от полученных значений коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i и индекса текучести грунта после уплотнения I_{L2} . После чего принимают шаг размещения грунтовых свай равным трем диаметрам полого трубчатого рабочего инструмента.

Такая величина шага размещения грунтовых свай принимается из следующих предположений:

при шаге грунтовых свай менее трех диаметров полого трубчатого рабочего элемента предполагается сильное влияние одних грунтовых свай на соседние в процессе расширения, что может повлечь к смещению части соседних грунтовых свай в горизонтальном направлении (приведет к их отклонению от вертикального положения) и приведет к неправильному уплотнению основания;

при шаге свай более трех диаметров полого трубчатого рабочего элемента появляется вероятность появления недоуплотненных зон между грунтовыми сваями.

Далее определяют значение фактического среднего приведенного модуля деформации основания по формулам

$$\bar{E} = \beta / \bar{m}, \quad \bar{m} = \frac{m_c \cdot m_z}{m_z \cdot \varepsilon + m_c(1 - \varepsilon)}, \quad m_z = \frac{\beta}{E_z}, \quad m_c = \frac{\beta}{E_c}, \quad \varepsilon = \frac{a^2}{b^2},$$

где $\bar{E}$ - фактический средний приведенный модуль деформации основания;

β - коэффициент бокового расширения, равный 0,8, для композитного массива грунта;

m_r - коэффициент относительной сжимаемости минерального грунта;

m_c - коэффициент относительной сжимаемости материала грунтовой сваи;

$\bar{m}$ - коэффициент относительной сжимаемости массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее грунта;

E_r - модуль деформации окружающего грунтовую сваю минерального грунта;

E_c - модуль деформации материала грунтовой сваи;

ε - значение объемной деформации уплотняемого минерального грунта при расширении скважины;
 a - конечный радиус грунтовой сваи;

b - радиус массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее минерального грунта, равный половине проектного шага размещения грунтовых свай.

Полученное значение фактического среднего приведенного модуля деформации основания сравнивают с проектным модулем деформации минерального грунта и в случае получения меньшего фактического среднего приведенного модуля деформации грунта основания, чем проектный, увеличивают значение ε_i деформации расширения скважины итерационно с шагом 0,1 и повторяют вычисление фактического среднего приведенного модуля деформации основания до достижения проектного значения или шага размещения грунтовых свай равного значению 1,5 диаметра полого трубчатого рабочего инструмента.

При этом увеличение радиуса скважины, соответствующее значению принятой деформации расширения в процессе вдавливания, вычисляют по формуле

$$r_p = R\sqrt{\varepsilon},$$

где r_p - радиус расширенной скважины;

R - радиус влияния одной грунтовой сваи равный половине шага размещения грунтовых свай;

ε - значение объемной деформации уплотняемого грунта при расширении скважины.

Для выполнения грунтовой сваи ее длину принимают равной расстоянию от кровли до подошвы по меньшей мере одного слоя, требующего уплотнения, при этом грунтовые сваи выполняются на всю мощность распространения слабых водонасыщенных грунтов с модулем деформации менее 10 МПа, механические характеристики которых требуется повысить. Для определения длины грунтовых свай предварительно определяется глубина сжимаемой толщи по стандартной методике СП 22.13330.2011. Если нижняя граница сжимаемой толщи попадает в грунты с модулем деформации менее 10 МПа, то рекомендуется выполнить грунтовые сваи на всю его мощность. По возможности следует подбирать длину грунтовой сваи таким образом, чтобы ее нижний торец упирался в грунты с достаточно высокими механическими характеристиками. При негоризонтальном залегании кровли слоя (прочного и относительно малодеформируемого фунта) длина грунтовых свай должна назначаться таким образом, чтобы все нижние торцы выполняемых элементов уплотнения гарантированно были погружены в него не менее чем на 0,5 м.

Затем выполняют соответствующую длине грунтовой сваи скважину путем вдавливания полого рабочего инструмента. При этом нижний конец рабочего инструмента перед его вдавливанием в грунт основания перекрывают шибером, а после засыпки уплотняющего материала в полость рабочего инструмента открывают шибер рабочего инструмента для просыпания уплотняющего материала в скважину, приподнимают рабочий инструмент на заданную высоту слоя уплотнения, после чего производят вдавливание рабочего инструмента в уплотняющий материал. Операцию вдавливания уплотняющего материала повторяют послойно на всю длину колонны до достижения требуемого уплотнения слабого минерального грунта.

Возможно также перекрытие нижнего конца рабочего инструмента теряемым башмаком.

В качестве уплотняющего материала возможно использование щебня, и/или песка, и/или гравия, и/или инертного материала. При этом в качестве материала для грунтовых свай уплотнения могут применяться песчаные и крупнообломочные грунты с параметрами водопроницаемости, значительно превышающими параметры уплотняемого слабого грунта. Деформационные свойства материала грунтовой сваи уплотнения после его вдавливания в скважину определяются требуемым приведенным модулем деформации на площадке строительства.

При устройстве грунтовых свай в грунтах, в которых возможно возникновение механической суффозии, необходимо рассматривать использование в качестве материала для грунтовых свай щебеночно-песчаного материала, состав которого подбирается таким образом, чтобы предотвратить возможность проникновения частиц уплотняемого грунта через ее тело.

При устройстве грунтовых свай в глинистых грунтах также рекомендуется использовать щебеночно-песчаную смесь для уменьшения скорости развития процесса кольматации тела грунтовой сваи.

Используемый рабочий инструмент обычно выбирают симметричным относительно его центральной оси. При использовании рабочего инструмента квадратного сечения (или сечения в виде любого правильного многоугольника с количеством сторон больше четырех) форма сваи увеличенного радиуса также будет близкой к кругу. Все расчеты выполняются для модели сваи круглого сечения в соответствии с представленной методикой. На практике при необходимости использования квадратного рабочего инструмента принимается поперечное сечение квадратной формы с площадью, равной или большей площади круглого сечения. Это необходимо для равенства объемов засыпаемого и уплотняемого в скважину материала.

Затем производят дополнительные инженерно-геологические изыскания по площади основания, определяя модуль деформации уплотненного минерального грунта между грунтовыми сваями, и рассчитывают фактический средний приведенный модуль деформации уплотненного основания и сравнивают

его с проектным значением. При несоответствии фактического среднего приведенного модуля деформации основания проектному значению производят установку дополнительных грунтовых свай между ранее установленными.

Использование предлагаемого способа позволяет проектировать и осуществлять уплотнение оснований зданий и сооружений повышенной ответственности на выбранном участке строительства в соответствии с заданными проектными значениями без дополнительных затрат.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ уплотнения оснований, сложенных слабыми минеральными грунтами, включающий выполнение скважин, подачу уплотняющего материала в каждую скважину и создание воздействия полым трубчатым рабочим инструментом на уплотняющий материал для образования грунтовой сваи, отличающийся тем, что

предварительно выполняют инженерно-геологические изыскания по площади основания и определяют значения модуля деформации, коэффициента Пуассона, угла внутреннего трения, удельного сцепления, удельного веса, начального коэффициента пористости слабого минерального грунта, задают требуемый проектный модуль деформации уплотняемого слоя грунта, затем, принимая значение ε_i деформации расширения каждой скважины равным 0,1, вычисляют коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i по формуле

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \varepsilon_i,$$

где e_i - коэффициент пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи;

e_0 - начальный коэффициент пористости уплотняемого слабого минерального грунта;

ε_i - принятое значение деформации расширения скважины; и

определяют при каждом шаге прогнозные значения индекса текучести слабого минерального грунта по формуле

$$I_{L2} = I_{L1} \cdot \left(\frac{\frac{e_2}{e_1} \cdot w_1 - w_p}{w_1 - w_p} \right),$$

где I_{L1} - значение индекса текучести слабого минерального грунта в естественных условиях;

I_{L2} - значение индекса текучести слабого минерального грунта после уплотнения;

e_1 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта в естественных условиях;

e_2 - значение коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения;

w_1 - влажность слабого минерального грунта в естественных условиях;

w_p - влажность слабого минерального грунта на границе пластичности;

затем по известным нормативным значениям принимают ближайшее предварительное значение модуля деформации E_r окружающего грунтовую сваю минерального грунта в зависимости от полученных значений коэффициента пористости слабого минерального грунта после уплотнения вокруг грунтовой сваи e_i и индекса текучести грунта после уплотнения I_{L2} , после чего принимают шаг размещения грунтовых свай равным трем диаметрам полого трубчатого рабочего инструмента и определяют значение фактического среднего приведенного модуля деформации основания по формулам

$$\bar{E} = \beta / \bar{m}, \quad \bar{m} = \frac{m_c \cdot m_s}{m_s \cdot \varepsilon + m_c(1 - \varepsilon)}, \quad m_s = \frac{\beta}{E_s}, \quad m_c = \frac{\beta}{E_c}, \quad \varepsilon = \frac{a^2}{b^2},$$

где $\bar{E}$ - фактический средний приведенный модуль деформации основания;

β - коэффициент бокового расширения, равный 0,8, для композитного массива грунта;

m_r - коэффициент относительной сжимаемости минерального грунта;

m_c - коэффициент относительной сжимаемости материала грунтовой сваи;

$\bar{m}$ - коэффициент относительной сжимаемости массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее грунта;

E_r - модуль деформации окружающего грунтовую сваю минерального грунта;

E_c - модуль деформации материала грунтовой сваи;

s - значение объемной деформации уплотняемого минерального грунта при расширении скважины;

a - конечный радиус грунтовой сваи;

b - радиус массива, состоящего из грунтовой сваи и окружающего ее минерального грунта, равный половине проектного шага размещения грунтовых свай;

сравнивают его с проектным модулем деформации минерального грунта и в случае получения меньшего фактического среднего приведенного модуля деформации грунта основания, чем проектный,

увеличивают значение ε_i деформации расширения скважины итерационно с шагом 0,1 и повторяют вычисление фактического среднего приведенного модуля деформации основания до достижения проектного значения или шага размещения грунтовых свай, равного значению 1,5 диаметра полого трубчатого рабочего инструмента, при этом увеличение радиуса скважины, соответствующее значению принятой деформации расширения в процессе вдавливания, вычисляют по формуле

$$r_p = R\sqrt{\varepsilon},$$

где r_p - радиус расширенной скважины;

R - радиус влияния одной грунтовой сваи, равный половине шага размещения грунтовых свай;

ε - значение объемной деформации уплотняемого грунта при расширении скважины;

длину грунтовой сваи принимают равной расстоянию от кровли до подошвы по меньшей мере одного слоя, требующего уплотнения, затем выполняют соответствующую длине грунтовой сваи скважину путем вдавливания полого трубчатого рабочего инструмента, подачу уплотняющего материала в скважину осуществляют через полость полого трубчатого рабочего инструмента, а уплотняющее воздействие для образования грунтовой сваи осуществляют вдавливанием полого трубчатого рабочего инструмента в уплотняющий материал, после чего производят дополнительные инженерно-геологические изыскания по площади основания, определяя модуль деформации уплотненного минерального грунта между грунтовыми сваями, рассчитывают фактический средний приведенный модуль деформации уплотненного основания и сравнивают его с проектным значением, а при несоответствии фактического среднего приведенного модуля деформации основания проектному значению производят установку дополнительных грунтовых свай между ранее установленными.

2. Способ уплотнения оснований по п.1, отличающийся тем, что нижний конец полого трубчатого рабочего инструмента перед его вдавливанием в грунт основания перекрывают шибером или теряемым башмаком.

3. Способ уплотнения оснований по п.2, отличающийся тем, что после засыпки уплотняющего материала в полость полого трубчатого рабочего инструмента открывают шибер полого трубчатого рабочего инструмента для просыпания уплотняющего материала в скважину, приподнимают полый трубчатый рабочий инструмент на заданную высоту слоя уплотнения, после чего производят вдавливание полого трубчатого рабочего инструмента в уплотняющий материал, а операцию вдавливания уплотняющего материала повторяют послойно на всю длину грунтовой сваи до достижения требуемого уплотнения слабого минерального грунта.

4. Способ уплотнения оснований по п.1, отличающийся тем, что в качестве уплотняющего материала используют щебень, и/или песок, и/или гравий, и/или инертный материал.

5. Способ уплотнения оснований по п.1, отличающийся тем, что полый трубчатый рабочий инструмент выполнен симметричным относительно его центральной оси.

