



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 3/32 (2019.05); E02D 1/02 (2019.05); G01N 33/24 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018115014, 23.04.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.04.2018Дата регистрации:
06.09.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.04.2018

(45) Опубликовано: 06.09.2019 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
Кубанский ГАУ, отдел организации и
сопровождения научной деятельности

(72) Автор(ы):

Ляшенко Павел Алексеевич (RU),
Денисенко Виктор Викторович (RU),
Коваленко Владислав Сергеевич (RU),
Коломиец Никита Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Кубанский государственный
аграрный университет имени И.Т.
Трубилина" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2328718 C2, 10.12.2007. RU
2008395 C1, 28.02.1994. RU 2186174 C2,
27.07.2002. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы
лабораторного определения физических
характеристик, найдено 14.02.2019 в Интернете
[online] на сайте [https://meganorm.ru/Index2/1/
4293758/4293758554.htm](https://meganorm.ru/Index2/1/4293758/4293758554.htm). РД 34 15.073-91.
Руководство по геотехническому контролю
за подготовкой оснований (см. прод.)(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ
ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к грунтоведению и может быть использовано при проектировании искусственных оснований фундаментов зданий и сооружений из насыпного глинистого грунта. Для этого характеристики грунтов определяют по данным измерения деформаций. Способ заключается в многоцикловом нагружении-разгрузении нескольких образцов одного и того же грунта с различной влажностью в жесткой цилиндрической камере одной постоянной ступенью статического давления, начальное значение которого согласовано с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, а конечное значение согласовано с давлением уплотнения на строительной

площадке, регистрации в каждом цикле нагружения-разгрузки каждого образца грунта его вертикальной деформации после нагружения и вертикального расширения после разгрузки с погрешностью 0,01 мм. Для определения момента окончания многоциклового нагружения-разгрузки образца используют коэффициент упругой работы грунта и оценивают стабильность его значений в 6-ти последних циклах по коэффициенту вариации. Кроме характеристик грунта, определяемых известными способами, рассчитывают объемное содержание минеральных частиц в грунте, а также объемное содержание упруго деформирующейся воды. Последний показатель является постоянным для

данного грунта и может служить мерой его глинистости или его характерным влагосодержанием. Изобретение обеспечивает

повышение достоверности и надежности получаемых результатов. 16 табл., 3 ил., 1 пр.

(56) (продолжение):

и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве, Ленинград, 1991, пп. 7.11.5 и 7.12.5, найдено 14.02.2019 в Интернете [online] на сайте <http://files.stroyinf.ru/cgi-bin/ecat/ecat.fcgi?b=2&pid=1&i=4293809430&pr=1>.

R U 2 6 9 9 5 5 4 C 1

R U 2 6 9 9 5 5 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 3/32 (2019.05); E02D 1/02 (2019.05); G01N 33/24 (2019.05)

(21)(22) Application: **2018115014, 23.04.2018**

(24) Effective date for property rights:
23.04.2018

Registration date:
06.09.2019

Priority:

(22) Date of filing: **23.04.2018**

(45) Date of publication: **06.09.2019** Bull. № 25

Mail address:

**350044, g. Krasnodar, ul. Kalinina, 13, Kubanskij
GAU, otdel organizatsii i soprovozhdeniya
nauchnoj deyatelnosti**

(72) Inventor(s):

**Lyashenko Pavel Alekseevich (RU),
Denisenko Viktor Viktorovich (RU),
Kovalenko Vladislav Sergeevich (RU),
Kolomiets Nikita Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Kubanskij gosudarstvennyj
agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina" (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINATION OF MAXIMUM DENSITY AND OPTIMUM MOISTURE CONTENT OF SOIL**

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: invention relates to soil science and can be used in designing artificial bases of foundations of buildings and structures from bulk clay soil. To this end, soil characteristics are determined from deformation measurement data. Method consists in multi-cycle loading-unloading of several samples of the same soil with different humidity in rigid cylindrical chamber by one constant stage of static pressure, initial value of which is matched with the pressure on the construction site from the transport mechanisms, and the final value is matched with the sealing pressure at the construction site, recording in each loading-unloading cycle of each soil sample of its vertical

deformation after loading and vertical expansion after unloading with error of 0.01 mm. To determine the end of multi-cycle loading-unloading of the sample, the coefficient of elastic soil operation is used and stability of its values is evaluated in last 6 cycles as per coefficient of variation. In addition to soil characteristics determined by known methods, volumetric content of mineral particles in soil, as well as volume content of elastically deformable water is calculated. Last index is constant for the given soil and can serve as a measure of its clay content or its characteristic moisture content.

EFFECT: invention provides higher authenticity and reliability of obtained results.

1 cl, 16 tbl, 3 dwg, 1 ex

RU 2 699 554 C 1

RU 2 699 554 C 1

Изобретение относится к строительному грунтоведению и может быть использовано при проектировании искусственных оснований фундаментов зданий и сооружений из насыпного глинистого грунта и для классификации глинистых грунтов по их строительным свойствам.

5 Известен способ уплотнения грунта до максимальной плотности при оптимальной влажности грунта, заключающийся в многоцикловом нагружении-разгрузении нескольких образцов одного и того же грунта с различной влажностью в жесткой цилиндрической камере одной ступенью статического давления, прикладываемой без удара и выдерживаемой в течение суток после нагружения и после разгрузки. Ступень 10 давления для первого образца грунта принимают 0,2 МПа, для второго - 0,4 МПа, для третьего - 0,6 МПа. Циклы нагружения-разгрузки повторяют до тех пор, пока наблюдается монотонное убывание значений характеристик остаточных деформаций в каждом цикле. Как только эти значения начинают увеличиваться, что соответствует достижению точности опытов, испытания прекращают [Методические рекомендации по опробованию лессовых грунтов. - М., ЦНИИС Минтрансстроя СССР, 1982. - 88 с., 15 пп. 3.71-3.72] и определяют характеристики грунта. Подобным образом фиксируют состояние незавершенной упругой компрессии. Все деформативные показатели относят к первому и последнему циклам нагружения-разгрузки. Состояние незавершенной компрессии наступает через 2-8 циклов. Переход от незавершенной к завершённой 20 компрессии производится на основе данных первых двух циклов нагружения-разгрузки. Далее определяют коэффициенты пористости, обеспечивающие практически упругую работу оснований сооружений.

Недостатками способа являются:

- 25 - многосуточная длительность многоциклового нагружения-разгрузки каждого образца грунта;
- ненадежное определение момента окончания многоциклового нагружения-разгрузки по остаточной деформации, значение которой частично зависит от случайных величин, например, перекоса штампа прибора;
- определение момента окончания испытания каждого образца грунта производится 30 без использования природной способности грунта к стабилизации работы деформации;
- малое число определяемых характеристик грунта: позволяет определять только деформационные показатели и коэффициент пористости.

Известен способ определения максимальной плотности и оптимальной влажности грунта, заключающийся в 10-тицикловом нагружении-разгрузении нескольких образцов 35 одного и того же грунта с различной влажностью в жесткой цилиндрической камере одной стандартной ступенью статического давления, начальное значение которого согласовано с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, а конечное значение согласовано с давлением уплотнения на строительной площадке, регистрации в каждом цикле нагружения-разгрузки каждого образца грунта его 40 вертикальной осадки после нагружения и вертикального расширения после разгрузки с погрешностью 0,01 мм и расчете деформационных характеристик грунта. Для каждого образца грунта с различной влажностью производят 10 циклов нагружения-разгрузки с интервалами 5 с между циклами [Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом 45 строительстве. РД 34 15.073-91. - Л.: ВНИИГидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1991. - 434 с., пп. 7.12.4-7.12.5 (прототип)] и определяют плотность и влажность грунта. Испытания образцов с различной влажностью заканчивают тогда, когда с повышением влажности грунта последующих двух-трех образцов грунта происходит

последовательное уменьшение значений плотности грунта или когда грунт перестает уплотняться и начинает при нагружении выжиматься из жесткой цилиндрической камеры. По полученным при испытаниях образцов грунта значениям плотности и влажности определяют плотность сухого грунта и строят график зависимости плотности сухого грунта от влажности, на котором находят максимум полученной зависимости и соответствующие ему величины максимальной плотности сухого грунта и оптимальной влажности.

Недостатками способа являются:

- необоснованно одинаковое 10-тицикловое нагружение-разгружение для каждого образца разных грунтов;
- окончание нагружения-разгружения каждого образца грунта производится без обоснования достаточности 10-ти циклов;
- низкая достоверность результатов испытаний вследствие разного состояния грунта при разной влажности и одинаковом числе циклов нагружения-разгружения;
- малое число определяемых характеристик грунта: позволяет определять только деформационные характеристики, максимальную плотность и оптимальную влажность.

Задача изобретения - повышение достоверности результатов испытаний путем обоснования момента окончания многоциклового нагружения-разгружения образцов грунта и увеличение числа определяемых характеристик грунта.

Технический результат изобретения достигается тем, что в способе определения характеристик грунтов по данным измерения деформаций, заключающемся в многоцикловом нагружении-разгружении нескольких образцов одного и того же грунта с различной влажностью в жесткой цилиндрической камере одной постоянной ступенью статического давления, начальное значение которого согласовано с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, а конечное значение согласовано с давлением уплотнения на строительной площадке, регистрации в каждом цикле нагружения-разгружения каждого образца грунта его вертикальной осадки после нагружения и вертикального расширения после разгружения с погрешностью 0,01 мм, расчете характеристик грунта и удельной работы уплотнения и расширения по данным измерения деформаций, согласно изобретения, для определения момента окончания многоциклового нагружения-разгружения образца используют коэффициент упругой работы грунта и оценивают стабильность его значений в 6-ти последних циклах по коэффициенту вариации

$$\text{var}\{K_{e.i-5}, \dots, K_{e.i}\} \leq 0,05,$$

где $K_{e.i-5}, \dots, K_{e.i}$ - коэффициенты упругой работы грунта в 6-ти последних циклах нагружения-разгружения образца грунта, определяемые по формуле

$$K_{e.i} = \frac{\sum_{k=1}^i A_{un.e.k}}{\sum_{k=1}^i A_{un.k}},$$

где k и i - номер цикла и полное число циклов нагружения-разгружения образца грунта;

$A_{un.k}$ и $A_{un.e.k}$ - удельная работа уплотнения и удельная работа упругого расширения образца грунта в k -м цикле нагружения-разгружения, кДж/м^3 , определяемые по формулам

$$A_{un.k} = \left(\frac{\Delta s_k}{h_{e.k-1}} + \frac{\Delta u_{e.k}}{h_k} \right) \Delta p;$$

$$A_{un.e.k} = \frac{\Delta u_{e.k}}{h_k} \Delta p,$$

где Δs_k и $\Delta u_{e.k}$ - осадка и упругое расширение образца грунта в k -м цикле нагружения-разгружения, мм;

h_k и $h_{e.k-1}$ - высота образца грунта после уплотнения и упругого расширения в k -м цикле нагружения-разгружения, мм;

Δp - разность начального и конечного значений давления в цикле нагружения-разгружения, принятая постоянной для всех циклов нагружения-разгружения всех образцов одного и того же грунта с различной влажностью, кПа,

а по результатам многоциклового нагружения-разгружения для каждого образца грунта, кроме характеристик грунта, определяемых известными способами, рассчитывают новые характеристики:

- объемное содержание в грунте упруго деформирующейся воды по формуле

$$q_{e.i} = \frac{(1 - n_{e.i}) K_{e.i}}{1 + K_{e.i}},$$

- объемное содержание минеральных частиц в грунте по формуле

$$q_{ss.i} = \frac{1 - n_{e.i}}{1 + K_{e.i}},$$

где $n_{e.i}$ - пористость образца грунта после i -го цикла нагружения-разгружения, и объемное содержание воды, участвующей в неупругой части деформации грунта, по формуле

$$q_w = \frac{W \cdot \rho_s}{\rho_w + W \cdot \rho_s},$$

где W - весовая влажность образца грунта после i -го цикла нагружения-разгружения, ρ_w - плотность воды, г/см³,

ρ_s - плотность минеральных частиц грунта, г/см³,

при этом погрешность определения значений коэффициента упругой работы грунта, объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды и объемного содержания минеральных частиц оценивают методами статистической обработки результатов испытаний при многоцикловом нагружении-разгружении не менее 6-ти образцов одного и того же грунта с различной влажностью по коэффициенту вариации значений этих характеристик.

Новизна заявляемого технического решения обусловлена тем, что многоцикловое нагружение-разгружение каждого образца грунта до достижения стабильного значения коэффициента упругой работы грунта в 6-ти последних циклах нагружения-разгружения с оценкой по коэффициенту вариации: $\text{var}\{K_{e.i-5}, \dots, K_{e.i}\} \leq 0,05$ - обеспечивает более точное определение момента окончания многоциклового нагружения-разгружения каждого образца грунта на основе использования природной способности грунта к стабилизации работы деформации и т.о. повышает достоверность определения

характеристик грунтов, а также позволяет, кроме характеристик, определяемых известными способами, определять объемное содержание в грунте упруго деформирующейся воды, объемное содержание минеральных частиц и объемное содержание воды, участвующей в неупругой части деформации грунта. А так как способностью к упругой деформации обладает прочносвязанная вода, адсорбированная на поверхности глинистых минералов и имеющая аномальные физико-механические характеристики [Злочевская Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах / Под ред. Е.М. Сергеева. - М.: Изд-во МГУ, 1969. - 176 с.], объемное содержание упруго деформирующейся воды может служить мерой глинистости грунта, или его характерным влагосодержанием, так как является постоянным для данного грунта.

Также новизна заявляемого технического решения обусловлена тем, что дополнительно определяемые характеристики грунтов являются более надежными для классификации грунтов в строительных целях, потому что для их определения не требуется приготовление грунтовой пасты, а используется грунт с естественными ненарушенными микроагрегатами, причем определение дополнительных характеристик производится одновременно с определением максимальной плотности и оптимальной влажности грунта, при этом способ определения этих дополнительных характеристики грунта является новым.

Таким образом, совокупность указанных отличительных признаков является сущностью изобретения, обеспечивающей его новизну, изобретательский уровень и промышленную применимость.

Пояснения к заявляемому способу определения максимальной плотности и оптимальной влажности грунта схематично изображены на:

фиг. 1 - графики приращений вертикальной осадки и вертикального упругого расширения $\Delta u_{e,k}$ образца грунта в нескольких циклах нагружения-разгружения при изменении давления от 5 кПа до 500 кПа;

фиг. 2 - графики изменения объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды q_e , объемного содержания минеральных частиц q_{ss} и объемного содержания воды q_w , участвующей в неупругой части деформации грунта, полученные экспериментально в нескольких циклах нагружения-разгружения.

Способ определения максимальной плотности и оптимальной влажности грунта осуществляют следующим образом.

Для применения способа используют любой прибор, имеющий жесткую цилиндрическую камеру с подвижным жестким штампом, устройство приложения и снятия нагрузки и измерители перемещения штампа. В качестве такого прибора может быть взят любой компрессионный прибор, например, стандартный компрессионный прибор КПр-1 [Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. РД 34 15.073-91. - Л.: ВНИИ-Гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1991. - 434 с., прилож. 7.В], у которого одометр представляет собой жесткую цилиндрическую камеру с подвижным жестким штампом, рычажное устройство - устройство для приложения и снятия нагрузки, а индикаторы часового типа ИЧ-10 - измерители перемещения штампа.

Из подготовленного для испытания измельченного грунта с известной влажностью отбирают навеску грунта определенной массы, в зависимости от объема жесткой цилиндрической камеры, в которой будут производиться испытания. Отобранную навеску грунта загружают в жесткую цилиндрическую камеру, разравнивают, накрывают жестким подвижным штампом, устанавливают измерители перемещения штампа,

нагружают начальным статическим давлением, значение которого согласуют с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, выдерживают в течение 10 мин для формирования связного образца грунта и регистрируют показания измерителей перемещения штампа.

5 Затем образец грунта нагружают до конечного давления одной ступенью статического давления, значение которого согласуют с давлением уплотнения на строительной площадке, выдерживают в течение 5 с и регистрируют показания измерителей перемещения штампа, а затем образец грунта разгружают до начального значения давления одной ступенью, выдерживают в течение 5 с и регистрируют
10 показания измерителей перемещения штампа.

Аналогичным образом производят многоцикловое нагружение-разгружение образца грунта одной ступенью статического давления (Фиг. 1) до достижения стабильного значения коэффициента упругой работы грунта в 6-ти последних циклах нагружения-разгружения с коэффициентом вариации

$$15 \quad \text{var}\{K_{e,i-5}, \dots, K_{e,i}\} \leq 0,05, \quad (1)$$

где $K_{e,i-5}, \dots, K_{e,i}$ - коэффициенты упругой работы грунта в 6-ти последних циклах нагружения-разгружения образца грунта, определяемые по формуле

$$20 \quad K_{e,i} = \frac{\sum_{k=1}^i A_{un.e.k}}{\sum_{k=1}^i A_{un.k}}, \quad (2)$$

25 где k и i - номер цикла и полное число циклов нагружения-разгружения образца грунта;

$A_{un.k}$ и $A_{un.e.k}$ - удельная работа уплотнения и удельная работа упругого расширения образца грунта в k -м цикле нагружения-разгружения, кДж/м^3 , определяемые по формулам

$$30 \quad A_{un.k} = \left(\frac{\Delta s_k}{h_{e,k-1}} + \frac{\Delta u_{e,k}}{h_k} \right) \Delta p; \quad (3)$$

$$35 \quad A_{un.e.k} = \frac{\Delta u_{e,k}}{h_k} \Delta p, \quad (4)$$

где Δs_k и $\Delta u_{e,k}$ - осадка и упругое расширение образца грунта в k -м цикле нагружения-разгружения, мм;

h_k и $h_{e,k-1}$ - высота образца грунта после уплотнения и упругого расширения в k -м
40 цикле нагружения-разгружения, мм;

Δp - разность начального и конечного значений давления в цикле нагружения-разгружения, принятая постоянной для всех циклов нагружения-разгружения всех образцов одного и того же грунта с различной влажностью, кПа.

Затем образец грунта полностью разгружают и определяют его плотность, влажность,
45 коэффициент пористости и плотность сухого грунта [ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М.: Стандартинформ, 2016. - 24 с.].

Аналогичным образом производят многоцикловое нагружение-разгружение не менее

6-ти образцов одного и того же грунта с различной влажностью. Испытания образцов одного и того же грунта с различной влажностью заканчивают тогда, когда с повышением влажности грунта последующих двух-трех образцов грунта происходит последовательное уменьшение значений плотности грунта или когда грунт перестает
5 уплотняться и начинает при нагружении выжиматься из жесткой цилиндрической камеры.

По результатам испытания всех образцов одного и того же грунта с различной влажностью строят график зависимости плотности сухого грунта от влажности, по максимуму которого определяют максимальную плотность и оптимальную влажность
10 грунта. Кроме этих характеристик грунтов по результатам многоциклового нагружения-разгрузки для каждого образца грунта рассчитывают (Фиг. 2):

- объемное содержание в грунте упруго деформирующейся воды по формуле

$$15 \quad q_{e,i} = \frac{(1 - n_{e,i}) K_{e,i}}{1 + K_{e,i}}, \quad (5)$$

- объемное содержание минеральных частиц в грунте по формуле

$$20 \quad q_{ss,i} = \frac{1 - n_{e,i}}{1 + K_{e,i}}, \quad (6)$$

где $n_{e,i}$ - пористость образца грунта после i -го цикла нагружения-разгрузки,

- объемное содержание воды, участвующей в неупругой части деформации грунта, по формуле

$$25 \quad q_W = \frac{W \cdot \rho_s}{\rho_W + W \cdot \rho_s}, \quad (7)$$

где W - весовая влажность образца грунта после i -го цикла нагружения-разгрузки, ρ_W - плотность поровой воды, г/см³,

30 ρ_s - плотность минеральных частиц образца грунта, г/см³.

При этом погрешность определения значений коэффициента упругой работы грунта и объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды, как постоянных для данного грунта величин, оценивают методами статистической обработки
35 результатов испытаний [ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. - М.: Стандартинформ, 2013. - 20 с.] по многоциклового нагружению-разгрузке не менее 6-ти образцов одного и того же грунта с различной влажностью по коэффициенту вариации значений этих характеристик.

В частности, для этих характеристик определяют:

- среднее значение по формуле

$$40 \quad X_n = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n X_m; \quad (8)$$

- среднее квадратическое отклонение от среднего значения по формуле

$$45 \quad S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n (X_n - X_m)^2}; \quad (9)$$

- коэффициент вариации по формуле

$$V = \frac{S}{X_n}, \quad (10)$$

где X_n и X_m - соответственно среднее арифметическое и частные значения ($m=1 \dots n$) измеряемой величины; n - число определений;

S и V - среднее квадратическое значение и коэффициент вариации измеряемой величины.

Таким образом, изобретение использует природную способность грунта к стабилизации работы деформации, причем стабилизовавшиеся значения дают коэффициент упругой работы, не зависящий от влажности грунта. Оно позволяет более точно определять момент окончания испытания каждого образца грунта при определении максимальной плотности и оптимальной влажности грунтов и, соответственно, повышает достоверность и надежность получаемых характеристик грунтов и увеличивает при этом число получаемых характеристик грунтов, что создает возможность управлять их соотношением в процессе формирования грунтового сооружения из насыпного грунта путем изменения содержания глинистых фракций грунта и числа циклов уплотнения и т.о. создает определенный технико-экономический эффект.

Кроме того, дополнительные характеристики грунтов, получаемые при использовании изобретения, позволяют классифицировать глинистые грунты по объемному содержанию упруго деформирующейся воды, которое является постоянной для данного грунта величиной, а следовательно, более надежным и поддающимся объективной оценке показателем содержания в них глинистых минералов, чем определяемый известными в строительном грунтоведении способами, к тому же не требующим отдельного эксперимента и соответствующего ему оборудования.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример реализации способа определения характеристик грунтов

1. Способ определения характеристик грунтов реализован в стандартном компрессионном приборе Кпр-1 Гидропроекта, позволяющем осуществлять нагружение и разгрузку образца грунта в одну ступень $\Delta p=500$ кПа и измерять деформации уплотнения и расширения датчиками перемещения часового типа ИЧ-10. Использовали глинистый грунт - пылеватый суглинок, раздробленный и пропущенный через сито с диаметром ячеек 1,0 мм, а затем смешанный с водой для получения образцов заданной влажности.

Расчеты характеристик грунта приведены в таблицах 1-15.

2. По данным измерений осадки образца грунта Δs_k и упругого расширения образца $\Delta u_{e,k}$, а также измерений высоты образца h после i -го цикла нагружения-разгрузки в компрессионном приборе вычислены значения высоты образца в каждом промежуточном k -м цикле ($k=1 \dots i$): после нагружения h и после разгрузки h_e (таблицы 1-15).

Удельная работа уплотнения рассчитана в столбце ΔA_u для каждого цикла по значениям осадки Δs_k и упругому расширению $\Delta u_{e,k}$ образца в k -м цикле. Удельная работа упругого расширения рассчитана в столбце $\Delta A_{un,e}$ для каждого цикла по значениям упругого расширения $\Delta u_{e,k}$ образца в k -м цикле.

Суммарная работа уплотнения рассчитана в столбце A_u , суммарная работа упругого расширения - в столбце A_{eu} . Коэффициент упругой работы рассчитан в столбце

5 $K_e = A_{eu} / A_u$. Его значения стабилизируются с увеличением числа циклов нагружения-разгружения (рисунок 1).

Значение коэффициента упругой работы $K_{e,i}$ для ввода в сводную таблицу 16 взято по последнему значению в столбце $K_e = A_{eu} / A_u$ и при условии, что

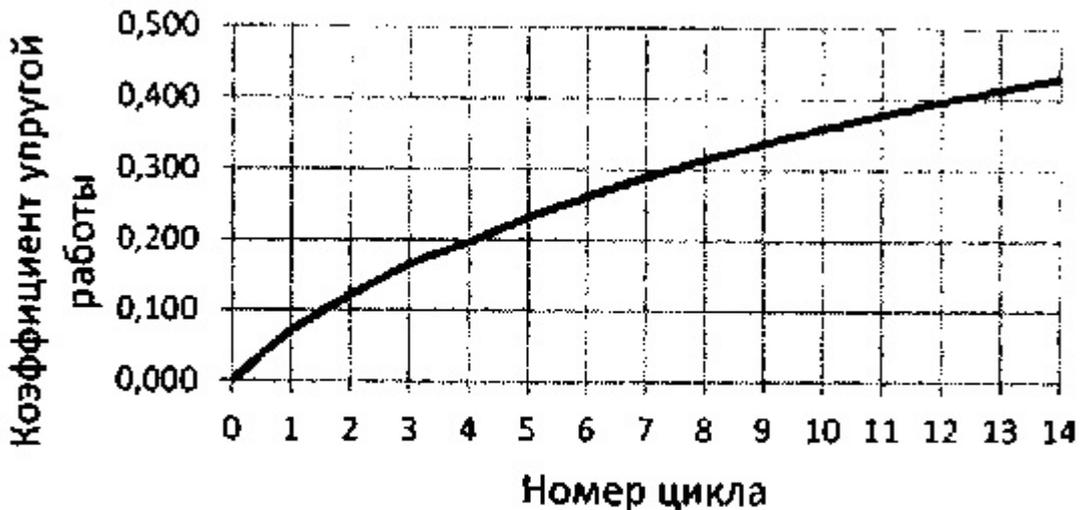
10
$$\text{var}\{K_{e,i-5} \dots K_{e,i}\} = 0,15, \quad (1)$$

где i - номер последнего выполненного цикла нагружения-разгружения образца грунта.

Выполнение этого условия ограничивает число циклов нагружения-разгружения образца грунта. Если условие (1) не выполняется в последнем цикле, то испытание
15 продолжается, и после выполнения следующего цикла условие (1) проверяется вновь, и так далее, пока условие (1) не будет выполнено, и тогда индекс "i" примет окончательное значение.

Опыт № 1 (таблица 1)

20



25

30

35

Рисунок 1 – Изменение коэффициента упругой работы с увеличением номера цикла нагружения-разгружения

40

3. После разгружения в i -м цикле измерены высота и масса образца и весовая влажность грунта W . Вычисленное i -е значение пористости содержится в нижней строке столбца n_e . Все промежуточные значения пористости при упругом расширении $n_{e,k}$

вычислены по данным упругого расширения образца $\Delta u_{e,k}$, по последнему значению

45

пористости при упругом расширении $n_{e,i}$, по значениям пористости при уплотнении n_k и по значениям относительной деформации расширения $\Delta u_{e,k} / h_k$.

Все значения пористости при уплотнении n_k вычислены по данным осадки образца Δs_k и по значениям относительной деформации уплотнения $\Delta s_k / h_{e,k-1}$.

В столбцах «Объемные доли фаз» вычислены значения объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды $q_{e,k}$, минеральных частиц $q_{ss,k}$ и воды, участвующей в неупругой деформации грунта $q_{w,k}$.

4. В сводной таблице 16 представлены характеристики фунта, полученные в конце испытания многоцикловым нагружением-разгрузением и отвечающих условию (1). Данные двух испытаний исключены из рассмотрения по техническим условиям: грунт выжимается из прибора (таблицы 3 и 15).

(57) Формула изобретения

Способ определения характеристик грунтов по данным измерения деформаций, заключающийся в многоцикловом нагружении-разгрузении нескольких образцов одного и того же грунта с различной влажностью в жесткой цилиндрической камере одной постоянной ступенью статического давления, начальное значение которого согласовано с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, а конечное значение согласовано с давлением уплотнения на строительной площадке, регистрации в каждом цикле нагружения-разгрузения каждого образца фунта его вертикальной деформации после нагружения и вертикального расширения после разгрузки с погрешностью 0,01 мм, расчете характеристик грунта и удельной работы уплотнения и расширения по данным измерения деформаций, отличающийся тем, что для определения момента окончания многоциклового нагружения-разгрузения образца используют коэффициент упругой работы грунта и оценивают стабильность его значений в 6-ти последних циклах по коэффициенту вариации

$$\text{var}\{K_{e,i-5}, \dots, K_{e,i}\} \leq 0,05,$$

где $K_{e,i-5}, \dots, K_{e,i}$ - коэффициенты упругой работы грунта в 6-ти последних циклах нагружения-разгрузения образца грунта, определяемые по формуле

$$K_{e,i} = \frac{\sum_{k=1}^i A_{un,e,k}}{\sum_{k=1}^i A_{un,k}},$$

где k и i - номер цикла и полное число циклов нагружения-разгрузения образца грунта;

$A_{un,k}$ и $A_{un,e,k}$ - удельная работа уплотнения и удельная работа упругого расширения образца грунта в k -м цикле нагружения-разгрузения, кДж/м³, определяемые по формулам

$$A_{un,k} = \left(\frac{\Delta s_k}{h_{e,k-1}} + \frac{\Delta u_{e,k}}{h_k} \right) \Delta p;$$

$$A_{un,e,k} = \frac{\Delta u_{e,k}}{h_k} \Delta p,$$

где Δs_k и $\Delta u_{e,k}$ - осадка и упругое расширение образца фунта в k -м цикле нагружения-разгружения, мм;

h_k и $h_{e,k-1}$ - высота образца фунта после уплотнения и упругого расширения в k -м цикле нагружения-разгружения, мм;

Δp - разность начального и конечного значений давления в цикле нагружения-разгружения, принятая постоянной для всех циклов нагружения-разгружения всех образцов одного и того же грунта с различной влажностью, кПа,

а по результатам многоциклового нагружения-разгружения для каждого образца фунта определяют:

- объемное содержание в грунте упруго деформирующейся воды по формуле

$$q_{e,i} = \frac{(1 - n_{e,i}) K_{e,i}}{1 + K_{e,i}};$$

- объемное содержание минеральных частиц в фунте по формуле

$$q_{ss,i} = \frac{1 - n_{e,i}}{1 + K_{e,i}};$$

где $n_{e,i}$ - пористость образца фунта после i -го цикла нагружения-разгружения, определяют объемное содержание воды, участвующей в неупругой части деформации грунта, по формуле

$$q_w = \frac{W \cdot \rho_s}{\rho_w + W \cdot \rho_s},$$

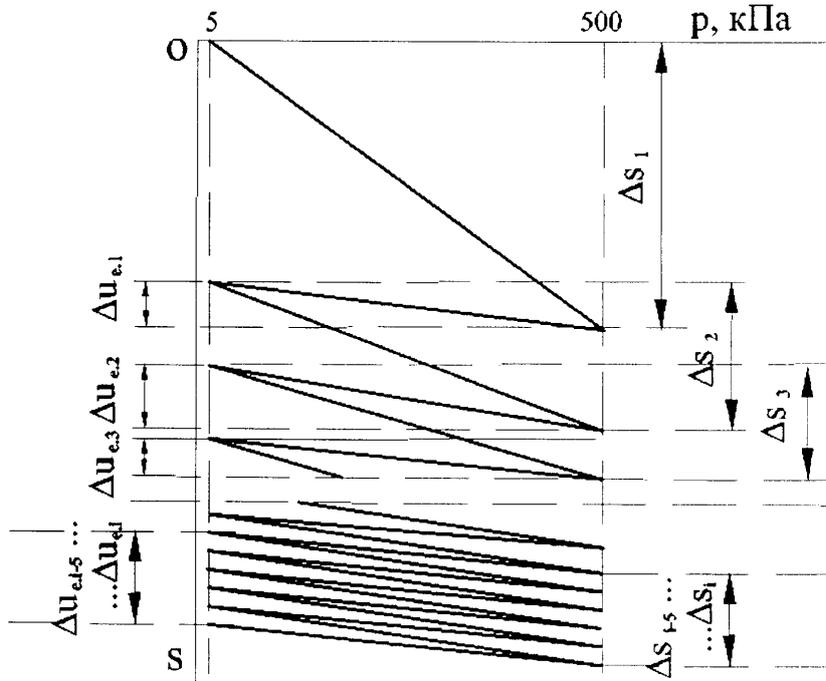
где W - весовая влажность образца грунта после i -го цикла нагружения-разгружения;

ρ_w - плотность воды, г/см³;

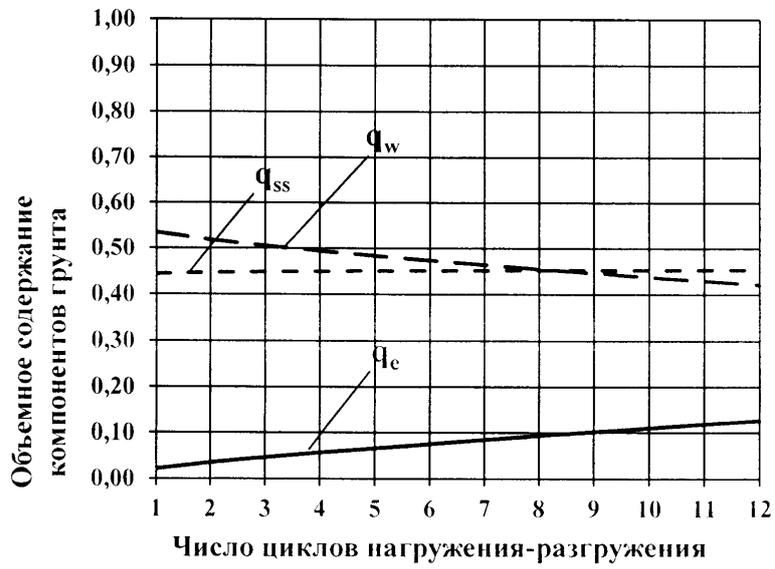
ρ_s - плотность минеральных частиц образца грунта, г/см³,

при этом погрешность определения значений коэффициента упругой работы грунта и объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды, как постоянных для данного грунта величин, оценивают методами статистической обработки результатов испытаний по многоцикловому нагружению-разгружению не менее 6-ти образцов одного и того же грунта с различной влажностью по коэффициенту вариации значений этих характеристик.

1



Фиг. 1



Фиг. 2

2

Таблица 4 - Расчеты характеристик грунта по данным измерения деформаций образца № 4
 Опыт № 4

Номер цикла k	Приращ деф-ции Δs, мм	Приращ работы ΔA, J	Работа уплон. A, J	Высота образца h, мм	Удельные приращ работы Δw _{пр} , J/cm ³	Удельные работа уплом A _в , g/cm ³	Плотност деф-ции Δu _с , mm	Приращ работы ΔA _с , J	Упругая работа A _с , J	Высота образца h _с , мм	Удельные приращ работы Δw _{пр,с} , J/cm ³	Удельные работа A _{с,с} , J/cm ³	К уругой работы K _с =P _с /A _с	W, C	W = 0,057 C	Относит иль деф иль/иль Δu _с /h _с	Пористост иль деф иль/иль n _с	Пористост иль деф иль/иль n	Пористост иль деф иль/иль n _с	Объемные доли фаз	
																				Ц _с	Ц _п
1	3,43	10,275	10,275	31,56	0,543	0,054	1,472	-0,535	28,31	-0,031	-0,005	0,100	0,637	0,109	0,057	0,538	-0,006	0,535	0,465	0,473	0,042
2	0,25	0,750	11,025	28,06	0,044	0,059	1,477	-0,450	28,21	-0,027	-0,008	0,138	0,520	0,009	0,057	0,520	-0,005	0,525	0,475	0,418	0,057
3	0,19	0,563	11,588	28,02	0,033	0,062	1,478	-0,507	28,19	-0,030	-0,011	0,179	0,513	0,007	0,057	0,513	-0,006	0,519	0,481	0,408	0,073
4	0,19	0,582	12,170	28,00	0,035	0,066	1,479	-0,514	28,17	-0,030	-0,014	0,216	0,506	0,007	0,056	0,506	-0,006	0,512	0,488	0,401	0,087
5	0,19	0,567	12,737	27,98	0,034	0,069	1,480	-0,513	28,15	-0,030	-0,017	0,249	0,499	0,007	0,499	-0,006	0,505	0,495	0,396	0,099	0,129
6	0,19	0,564	13,301	27,96	0,034	0,072	1,481	-0,516	28,14	-0,031	-0,020	0,280	0,493	0,007	0,493	-0,006	0,499	0,501	0,392	0,110	0,129
7	0,19	0,555	13,856	27,95	0,033	0,076	1,481	-0,516	28,13	-0,031	-0,023	0,309	0,486	0,007	0,486	-0,006	0,492	0,508	0,388	0,120	0,129
8	0,19	0,561	14,417	27,94	0,033	0,079	1,482	-0,508	28,11	-0,030	-0,026	0,334	0,480	0,007	0,480	-0,006	0,486	0,514	0,386	0,129	0,129
9	0,18	0,535	14,952	27,93	0,032	0,082	1,483	-0,512	28,10	-0,030	-0,029	0,358	0,473	0,006	0,473	-0,006	0,479	0,521	0,384	0,137	0,129
10	0,18	0,534	15,486	27,92	0,032	0,085	1,483	-0,537	28,10	-0,032	-0,033	0,382	0,467	0,006	0,467	-0,006	0,473	0,527	0,381	0,146	0,129
11	0,19	0,561	16,047	27,91	0,033	0,089	1,483	-0,536	28,09	-0,032	-0,036	0,403	0,460	0,007	0,460	-0,006	0,467	0,533	0,380	0,153	0,129
12	0,18	0,544	16,592	27,91	0,033	0,092	1,484	-0,516	28,08	-0,031	-0,039	0,422	0,454	0,006	0,454	-0,006	0,460	0,540	0,380	0,160	0,129
													28,08	0,368	0,460						
													avg X _с	0,368	0,460						
													dis X _с	0,043	0,116						
													var X _с	0,043	0,116						

Таблица 5 - Расчеты характеристик грунта по данным измерения деформаций образца № 5

Номер цикла k	Приращ деф-ции ΔS (mm)	Приращ работы ΔA (J)	Работа упл-н A (J)	Высота образца h (mm)	Высота образца h_0 (mm)	Удельные приращ работы ΔA_{m-p} (J/sm^3)	Плотность ρ (g/sm^3)	Приращ деф-ции $\Delta \rho$ (mm)	Приращ работы ΔA_p (J)	Удельные приращ работы ΔA_{m-p} (J/sm^3)	Удельные приращ работы ΔA_{m-p} (J/sm^3)	$\rho = 1,623$ (g/sm^3)	$\rho_s = 2,60$ (g/sm^3)	К. упругой работы $K_u = \rho_s / \rho$ (А)	Относит деф упр $\Delta S / h$ (р)	Относит упр деф $\Delta \rho / \rho_s$ (р)	Относит упр деф $\Delta \rho / \rho_s$ (р)	Паркост. η (расч)	Доля мин. части $1 - \eta$	Объемные доли фаз															
																				ρ_{cr}	ρ_{cr}	ρ_{cr}	ρ_{cr}												
1	6,49	19,455	19,455	25,97	25,97	0,0999	0,100	-0,23	-0,684	-0,684	-0,005	26,19	-0,0044	-0,005	0,054	0,200	0,535	-0,009	0,544	0,456	0,433	0,226													
2	0,36	1,092	20,547	25,93	0,0070	0,107	1,595	-0,23	-0,704	-1,388	-0,0045	26,06	-0,0045	-0,010	0,093	0,014	0,521	-0,009	0,530	0,470	0,430	0,226													
3	0,31	0,940	21,488	25,75	0,0051	0,113	1,605	-0,21	-0,645	-2,033	-0,014	25,97	-0,0041	-0,014	0,124	0,012	0,509	-0,008	0,518	0,482	0,429	0,226													
4	0,28	0,845	22,332	25,68	0,0055	0,118	1,609	-0,21	-0,618	-2,650	-0,018	25,89	-0,0040	-0,018	0,152	0,009	0,498	-0,008	0,506	0,494	0,428	0,226													
5	0,24	0,712	23,045	25,65	0,0046	0,123	1,612	-0,20	-0,599	-3,249	-0,022	25,85	-0,0039	-0,022	0,178	0,009	0,489	-0,008	0,497	0,503	0,427	0,226													
6	0,23	0,678	23,723	25,63	0,0044	0,127	1,614	-0,20	-0,588	-3,837	-0,026	25,82	-0,0038	-0,026	0,202	0,009	0,480	-0,008	0,488	0,512	0,416	0,226													
7	0,22	0,663	24,386	25,60	0,0043	0,132	1,615	-0,19	-0,576	-4,413	-0,029	25,79	-0,0037	-0,029	0,233	0,009	0,472	-0,007	0,479	0,521	0,416	0,226													
8	0,21	0,630	25,016	25,58	0,0041	0,136	1,617	-0,19	-0,563	-4,976	-0,033	25,77	-0,0036	-0,033	0,243	0,008	0,464	-0,007	0,471	0,529	0,425	0,226													
9	0,21	0,627	25,643	25,56	0,0041	0,140	1,618	-0,19	-0,567	-5,543	-0,037	25,74	-0,0037	-0,037	0,262	0,008	0,456	-0,007	0,463	0,537	0,425	0,226													
10	0,20	0,599	26,241	25,55	0,0039	0,144	1,619	-0,19	-0,563	-6,105	-0,040	25,72	-0,0036	-0,040	0,281	0,008	0,448	-0,007	0,455	0,545	0,425	0,226													
11	0,20	0,600	26,841	25,54	0,0039	0,148	1,620	-0,18	-0,549	-6,654	-0,044	25,72	-0,0036	-0,044	0,297	0,008	0,440	-0,007	0,447	0,553	0,426	0,226													
12	0,23	0,681	27,522	25,49	0,0044	0,152	1,623	-0,18	-0,555	-7,209	-0,048	25,68	-0,0036	-0,048	0,312	0,009	0,431	-0,007	0,439	0,561	0,428	0,226													
												25,68		0,270		0,033		0,124		0,439															
												avg X_k		dis X_k		var X_k																			

Таблица 13 - Расчеты характеристик грунта по данным измерения деформаций образца № 13

Номер цикла k	Приращ. деформ. $\Delta \varepsilon$ mm	Приращ. работы ΔA J	Работа уплотн. A J	Высота образца h mm	Удельные		Плотность г/см ³	Приращ. деформ. Δu_e mm	Приращ. работы ΔA_p J	Упругая работа A _p J	Высота образца h _p mm	Удельные	К. упругой работы K _{ср} = (A _{ср} /A) J	W =		m _{ср} = 2491.1 г	n = 0.450	Объемные доли фаз		
					приращ. работы $\Delta A_{упр}$ J	работы уплотн. A _{упр} J								Приращ. деформ. г/упт	Приращ. работы г/раск			Доля мин. части	Доля макс. части	
1	7.46	22.386	22.386	26.34	33.80	0.1104	1.110	-0.25	-0.751	-0.751	26.59	-0.0047	-0.005	0.049	0.283	-0.009	0.588	0.412	0.020	0.234
2	0.40	1.200	23.586	26.19	0.0076	0.118	1.571	-0.25	-0.737	-1.488	26.43	-0.0046	-0.010	0.085	0.015	-0.009	0.553	0.447	0.035	0.234
3	0.34	1.019	24.605	26.09	0.0065	0.124	1.577	-0.24	-0.716	-2.704	26.33	-0.0045	-0.015	0.117	0.013	-0.009	0.540	0.460	0.048	0.234
4	0.30	0.906	25.511	26.03	0.0058	0.130	1.580	-0.24	-0.715	-2.919	26.27	-0.0045	-0.019	0.147	0.011	-0.009	0.528	0.472	0.060	0.234
5	0.29	0.862	26.373	25.98	0.0055	0.136	1.584	-0.23	-0.696	-3.615	26.21	-0.0044	-0.024	0.174	0.011	-0.009	0.517	0.483	0.071	0.234
6	0.27	0.809	27.182	25.94	0.0052	0.141	1.586	-0.23	-0.690	-4.305	26.17	-0.0044	-0.028	0.188	0.010	-0.009	0.507	0.493	0.082	0.234
7	0.26	0.787	27.969	25.91	0.0051	0.146	1.588	-0.23	-0.678	-4.983	26.14	-0.0043	-0.032	0.221	0.010	-0.009	0.497	0.503	0.091	0.234
8	0.25	0.760	28.730	25.88	0.0049	0.151	1.593	-0.17	-0.520	-5.033	26.06	-0.0033	-0.036	0.256	0.010	-0.007	0.485	0.515	0.107	0.234
9	0.22	0.657	29.387	25.84	0.0042	0.155	1.593	-0.23	-0.687	-6.190	26.07	-0.0044	-0.040	0.258	0.008	-0.009	0.479	0.521	0.114	0.234
10	0.25	0.760	30.147	25.81	0.0049	0.160	1.593	-0.22	-0.652	-6.843	26.03	-0.0042	-0.044	0.276	0.010	-0.008	0.469	0.531	0.115	0.234
11	0.24	0.713	30.860	25.79	0.0046	0.165	1.596	-0.22	-0.668	-7.510	26.02	-0.0043	-0.048	0.294	0.009	-0.009	0.460	0.540	0.117	0.234
12	0.24	0.720	31.580	25.78	0.0047	0.169	1.597	-0.22	-0.668	-8.178	26.00	-0.0043	-0.053	0.311	0.009	-0.009	0.450	0.550	0.131	0.234
													26.00	0.266	0.450					
													avr K _{ср}	0.266	avr m _{ср}	0.450				
													avr K _{ср}	0.035	var K _{ср}	0.130				

Таблица 14 - Расчеты характеристик грунта по данным измерения деформаций образца № 14
Опыт № 14

Номер цикла k	Приращ деф-ции ΔS, мм		Приращ работы ΔA, Дж		Работа уплотн A, Дж		Высота образца η, мм		Удельные приращ работы уплотн ΔA _{упл} , Дж/см ³		Удельные приращ работы уплотн A _{упл} , Дж/см ³		Плотност ρ, г/см ³		Приращ деф-ции ΔU _с , мм		Приращ работы ΔA _с , Дж		Уруган работа A _с , Дж		Высота образца η _с , мм		Удельные приращ работы ΔA _{с,упл} , Дж/см ³		Уруган работа A _{с,упл} , Дж/см ³		К уруган работы k _с = A _{с,упл} /A _с		Уруган работы ΔS/η, м/г		Относит деф угл n/η		Относит уруг деф ΔU _с /η _с		Пористост n _с , г/гаш		Доля мин части 1-n _с		Объемные доль фаз			
	ΔS	η	ΔA	η	ΔA _{упл}	A _{упл}	η	ΔA _с	A _с	η _с	ΔA _{с,упл}	A _{с,упл}	ρ	ΔU _с	A _с	η _с	ΔS/η	n/η	ΔU _с /η _с	n _с	1-n _с	q _с	q _л	ΔS/η	n/η	ΔU _с /η _с	n _с	1-n _с	q _с	q _л												
1	7,90	23,690	23,690	22,92	0,1281	0,1281	1,789	-0,27	-0,807	-0,807	23,19	-0,0058	-0,005	1,789	-0,27	-0,807	-0,807	23,19	-0,0058	-0,005	0,042	0,344	0,484	-0,012	0,495	0,505	0,484	0,021	0,277													
2	0,47	1,400	25,089	22,73	0,0102	0,138	1,806	-0,24	-0,734	-1,541	22,97	-0,0053	-0,011	1,806	-0,24	-0,734	-1,541	22,97	-0,0053	-0,011	0,078	0,020	0,463	-0,011	0,474	0,474	0,526	0,488	0,038	0,277												
3	0,33	0,978	26,067	22,64	0,0072	0,145	1,814	-0,23	-0,681	-2,222	22,87	-0,0050	-0,016	1,814	-0,23	-0,681	-2,222	22,87	-0,0050	-0,016	0,108	0,014	0,449	-0,010	0,459	0,541	0,488	0,053	0,277													
4	0,28	0,843	26,910	22,59	0,0062	0,152	1,819	-0,22	-0,659	-2,880	22,81	-0,0048	-0,021	1,819	-0,22	-0,659	-2,880	22,81	-0,0048	-0,021	0,135	0,012	0,437	-0,010	0,447	0,553	0,487	0,066	0,277													
5	0,23	0,695	27,605	22,58	0,0051	0,157	1,822	-0,19	-0,572	-3,452	22,77	-0,0042	-0,025	1,822	-0,19	-0,572	-3,452	22,77	-0,0042	-0,025	0,158	0,010	0,427	-0,008	0,435	0,565	0,488	0,077	0,277													
6	0,24	0,732	28,337	22,53	0,0054	0,162	1,824	-0,21	-0,640	-4,092	22,74	-0,0047	-0,029	1,824	-0,21	-0,640	-4,092	22,74	-0,0047	-0,029	0,181	0,011	0,416	-0,009	0,435	0,575	0,486	0,088	0,277													
7	0,24	0,718	29,055	22,50	0,0053	0,168	1,827	-0,20	-0,604	-4,697	22,70	-0,0044	-0,034	1,827	-0,20	-0,604	-4,697	22,70	-0,0044	-0,034	0,202	0,011	0,406	-0,009	0,435	0,586	0,487	0,098	0,277													
8	0,23	0,675	29,730	22,48	0,0045	0,173	1,831	-0,19	-0,555	-5,252	22,66	-0,0041	-0,038	1,831	-0,19	-0,555	-5,252	22,66	-0,0041	-0,038	0,220	0,010	0,396	-0,008	0,404	0,596	0,489	0,107	0,277													
9	0,20	0,603	30,333	22,46	0,0045	0,177	1,832	-0,19	-0,557	-5,808	22,63	-0,0041	-0,042	1,832	-0,19	-0,557	-5,808	22,63	-0,0041	-0,042	0,237	0,009	0,387	-0,008	0,395	0,605	0,489	0,116	0,277													
10	0,21	0,621	30,954	22,44	0,0046	0,182	1,833	-0,19	-0,575	-6,383	22,63	-0,0042	-0,046	1,833	-0,19	-0,575	-6,383	22,63	-0,0042	-0,046	0,255	0,009	0,378	-0,008	0,386	0,614	0,489	0,125	0,277													
															1,598		22,63		0,209		avg X _с		0,386																			
															0,036		dis X _с		0,172		var X _с																					

Таблица 15 - Расчеты характеристик грунта по данным измерений деформаций образца № 15

Номер шикла k	Приращ деф-ции мм ΔS	Приращ работы МА J	Работа уплом A J	Высота образца n мм	Удельные приращ работы A _{ср} J/sm ³	Плотност ρ g/sm ³	Приращ деф-ции ΔU _{ср} мм	Приращ работы ΔU _{ср} J	Удельные приращ работы A _{ср} J/sm ³	W = 0,205		m ₁ = 249,1 g		n = 0,315								
													Относит деф упр /ΔU _{ср}	Относит упр деф /W	Относит деф упр /ΔU _{ср}	Относит упр деф /W	Относит деф упр /ΔU _{ср}	Относит упр деф /W	Относит деф упр /ΔU _{ср}	Относит упр деф /W	Относит деф упр /ΔU _{ср}	Относит упр деф /W
1	6,44	19,320	19,320	19,42	0,1245	2,100	-0,35	-1,049	-0,0088	-0,0095	0,044	0,332	0,474	-0,018	0,492	0,508	0,487	0,021	0,347			
2	0,53	1,604	20,924	19,24	0,0138	2,126	-0,29	-0,883	-0,0075	-0,0133	0,094	0,027	0,447	-0,015	0,462	0,538	0,491	0,046	0,347			
3	0,41	1,244	22,167	19,12	0,0108	2,141	-0,28	-0,825	-0,0071	-0,020	0,135	0,021	0,426	-0,014	0,440	0,560	0,493	0,066	0,347			
4	0,33	1,040	23,207	19,04	0,0091	2,151	-0,26	-0,785	-0,0068	-0,027	0,170	0,018	0,408	-0,014	0,422	0,578	0,494	0,084	0,347			
5	0,30	0,990	24,197	18,98	0,0087	2,161	-0,24	-0,705	-0,0061	-0,033	0,198	0,017	0,391	-0,012	0,403	0,597	0,498	0,098	0,347			
6	0,27	0,885	25,082	18,92	0,0078	2,169	-0,23	-0,675	-0,0059	-0,044	0,222	0,015	0,376	-0,012	0,388	0,612	0,501	0,111	0,347			
7	0,25	0,810	25,892	18,87	0,0071	2,176	-0,21	-0,620	-0,0054	-0,044	0,243	0,014	0,362	-0,011	0,373	0,627	0,505	0,133	0,347			
8	0,20	0,585	27,339	18,78	0,0052	2,189	-0,15	-0,443	-0,0039	-0,048	0,255	0,013	0,348	-0,008	0,356	0,644	0,513	0,131	0,307			
9	0,22	0,656	27,894	18,74	0,0058	2,196	-0,16	-0,495	-0,0044	-0,051	0,274	0,010	0,338	-0,010	0,348	0,652	0,512	0,140	0,347			
10	0,19	0,570	28,464	18,72	0,0051	2,200	-0,16	-0,480	-0,0042	-0,062	0,301	0,010	0,317	-0,008	0,325	0,675	0,519	0,156	0,347			
11	0,18	0,540	29,044	18,70	0,0048	2,202	-0,16	-0,469	-0,0042	-0,066	0,314	0,010	0,307	-0,008	0,315	0,685	0,521	0,164	0,347			
12						1,828					18,85											
												avg X _с	0,279	Грунт выжимается из прибора		0,315	0,685					
												dis X _с	0,027									
												var X _с	0,097									

Таблица 16 - Сводная таблица характеристик грунта

	Данные после разгрузки					Объемные доли фаз													
	Влажность весовая		Масса		Высота	ρ		ρ _d		ρ _e		1-ρ _e		K _e		q _{ss}		q _w	
	W	W	г	г	мм	г/см ³													
	2	3	4	4	5	6	7	8	9	9	10	11	13	14	16	17	17	17	17
Опыт 4	0,057	5,7	250,0	25,08		1,484	1,404	14,04	0,460	46,0	0,540	0,422	0,380	0,380	0,160	0,129			
Опыт 11	0,059	5,9	249,0	28,02		1,481	1,399	13,99	0,462	46,2	0,538	0,380	0,380	0,389	0,148	0,133			
Опыт 2	0,085	8,5	249,8	24,53		1,698	1,565	15,65	0,398	39,8	0,602	0,345	0,448	0,448	0,155	0,181			
Опыт 9	0,105	10,5	250,0	23,74		1,755	1,589	15,89	0,389	38,9	0,611	0,298	0,298	0,471	0,140	0,214			
Опыт 5	0,112	11,2	250,0	25,68		1,623	1,460	14,60	0,439	43,9	0,561	0,270	0,428	0,428	0,134	0,226			
Опыт 13	0,117	11,7	249,1	26,00		1,597	1,429	14,29	0,450	45,0	0,550	0,311	0,311	0,419	0,131	0,234			
Опыт 7	0,125	12,5	249,1	25,58		1,623	1,443	14,43	0,445	44,5	0,555	0,371	0,371	0,404	0,150	0,245			
Опыт 8	0,133	13,3	250,0	24,42		1,706	1,506	15,06	0,421	42,1	0,579	0,278	0,278	0,453	0,126	0,257			
Опыт 1	0,156	15,6	249,3	21,74		1,911	1,653	16,53	0,365	36,5	0,635	0,429	0,429	0,444	0,190	0,289			