**КОНТРОЛЬ УПЛОТНЕНИЯ И ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ №3**

**Степень уплотнения земляного сооружения** оценивается величиной коэффициента уплотнения из условия

*Kу≥Kсот,* (1)

где *Kу −* коэффициент уплотнения грунта земляного сооружения;

*Kсот* **–** наименьший коэффициент уплотнения грунта, определяемый по СНиП 2.05.02-85[1] (прил.7) для земляного полотна автомобильных дорог и по СНиП 3.02.01-87[2] (прил.8) для земляных сооружений промышленного и гражданского строительства.

**Коэффициент уплотнения грунта *Ку*** – отношение плотности сухого грунта земляного сооружения *ρd* к максимальной плотности того же сухого грунта *ρd*max при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-2002[7].

*Ку****=****ρd /ρd*max . (2)

**Плотность грунта *ρ***− отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, г/см3.

**Плотность сухого грунта *ρd***− отношение массы грунта за вычетом массы воды и льда в его порах к его первоначальному объему, г/см3.

**Оптимальная влажность *Wopt*–** влажность**,** при которой достигается максимальная плотность сухого грунта *ρd*max , уплотненного стандартной работой.

**Динамическое зондирование** − процесс погружения зонда в грунт под действием ударной нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

**Статическое зондирование** − процесс погружения зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

**Удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда, *qd*** − сопротивление грунта наконечнику (конусу) зонда при статическом зондировании, отнесенное к площади основания наконечника (конуса) зонда.

**Условное динамическое сопротивление грунта, *Рq*** − сопротивление грунта погружению зонда при забивке его падающим молотом (вибромолотом).

**Залог** − число ударов молота, после которых производят измерение глубины погружения зонда.

При работе с лабораторным практикумом, для определении студентами *Kсот* **–** наименьший коэффициент уплотнения грунта, варианты параметров его определения приведены в прил.9 (АДМ) и в прил.10 (ИСИ).

#### МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ

* 1. **1.1. Сущность метода**

Метод основан на определении сопротивления грунта погружению зонда с коническим наконечником под действием последовательно возрастающего количества ударов груза постоянной массы, свободно падающего с заданной высоты.



Определение степени уплотнения грунтов методом динамического зондирования следует производить с помощью динамического плотномера (рис.1) при глубине контроля до 30 см и забивного зонда при глубине контроля более 30 см от поверхности земляного сооружения.

Груз *1* прибора (рис.1) массы 2,5 кг имеет возможность перемещаться относительно стержня *2* и наносить удар по буртику при свободном падении с высоты *H* = 400 мм.

По числу ударов, необходимых для заглубления в грунт нижней части стержня, имеющего диаметр Ø 11,4 мм и длину *Sz* = 100 мм, оценивают прочность испытуемого грунта.

Рис.1. Динамический

плотномер

На рис.2 показана схема сил динамического плотномера.

Для решения задачи о вычислении напряжений в контакте плоского торца стержня с грунтом примем гипотезу о возникновении под плоским торцом стержня грунтового конусообразного тела, угол *ϕ*  у которого при вершине конуса равен углу трения грунта по грунту. В этом случае коэффициент трения скольжения грунта по грунту равен тангенсу угла трения

Рис.2. Схема сил динамического плотномера

плотномер

*ϕ*.

Сначала определим среднее напряжение *σ*1 на наклонных площадках грунтового конусообразного тела.

На боковую поверхность грунтового конусообразного тела действует равнодействующая нормальная сила

 (3)

где *АК* – площадь боковой поверхности грунтового конуса; *d* – диаметр стержня; *l* – образующая грунтового конуса:

 (4)

Учитывая (4), из (3) получим

 (5)

Сила трения, обусловливающая появление на боковой поверхности грунтового конуса касательных напряжений *τ*, рассчитывается по формуле

 (6)

Силами трения на боковой поверхности стержня ввиду малости пренебрегаем. При погружении стержня в грунт работу совершают силы тяжести стержня, падающего груза, нормальная сила *N* и сила трения *F*. Силой тяжести грунтового конусообразного тела ввиду малости пренебрегаем.

**1.2. Легкий забивной зонд Л 33**

Легкий забивной зонд (табл.1) предназначен для определения механических свойств грунтов, а также позволяет обеспечить оперативный полевой контроль качества возведения грунтовых сооружений, экспресс-оценку свойств естественного основания, исследовать изменения свойств основания под действующими объектами в процессе их эксплуатации. Его преимуществом является возможность испытания песчаных и других структурно-неустойчивых грунтов, отобрать монолиты из которых практически невозможно.

Таблица 1

**Общий вид и технические характеристики легкого**

**динамического зонда Л 33**

1−конический

наконечник;

2−штанга;

3−наковальня;

4−молот;

5−направляющая;

6−ограничитель

высоты подъема

молота

1

2

3

4

5

1820

386

6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Масса молота, кг | 10 ± 0,1 |
| Высота падения молота, мм | 500 ± 5 |
| Диаметр основания конуса, мм | 28,8 ± 0,1 |
| Угол при вершине конуса, град | 60 ± 1 |
| Глубина контроля  от поверхности сооружения, мм | 6000 |
| Масса зонда с набором штанг, кг | 30 |
| Обслуживающий персонал, чел. | 2 |
| Длительность одного замера при глубине контроля до 2 м, мин | 15 |

*1.2.1. Необходимое оборудование*

Легкий динамический зонд Л33, конус, лом, измерительная линейка, отвес, уровень.

*1.2.2. Выполнение*

Динамическое зондирование следует выполнять последовательной забивкой зонда в грунт свободно падающим молотом (*h*-50 см) с фиксацией числа ударов при погружении зонда на глубину 10 см при обеспечении необходимой точности измерения глубины зондирования (± 0,5 см).

Зондирование следует производить непрерывно до достижения заданной глубины или до резкого уменьшения величины скорости погружения зонда (менее 2−3 см за 10 ударов). Перерывы в забивке допускаются только для наращивания штанг. Зондирование следует выполнять, применяя постоянную частоту ударов (в среднем 1 удар за 2 с).

При глубине зондирования более 1 м следует применять теряемый конический наконечник, который крепится к штанге с помощью шплинта из мягкой проволоки диаметром 2−3 мм.

Сборку, установку зонда и зондирование выполняют два студента. В вы

бранной точке зондирования на поверхности грунта намечается ломом лунка.

После присоединения к штанге теряющегося конуса зонд устанавливается в точке зондирования, вертикальность установки проверяется отвесом.

На поверхность грунта, рядом с зондом (10−20 см), устанавливается подставка с линейкой. Отсчеты снимаются по линейке и по одной из меток на штанге зонда, нанесенные с интервалом 10 см. В журнал испытаний (табл.2) записываются отметка устья скважины и заглубление конуса до начала зондирования. За нулевую отметку принимают поверхность грунта.

Таблица 2

**Журнал испытаний**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Отсчет  по измерительной линейке, см | Общая глубина погружения конуса, см | Число ударов  залоге *n* | Глубина погружения за залог, см  *h* | АКФ | *Рq*,  МПа | Примечание |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

При зондировании зонд удерживается в вертикальном положении одним студентом, другой поднимает молот по направляющей на высоту 50 см и опускает в верхней точке, позволяя молоту свободно падать и наносить удар по станине.

При проведении работ первый студент фиксирует перемещение меток на штангах относительно линейки, второй считает удары.

При достижении величины погружения зонда, равном принятому залогу – 10 см, зондирование прекращается и данные записываются в журнал (количество ударов за залог).

В случае интенсивного погружения зонда в слабых грунтах (менее 4-х ударов на 10 см) после первых пробных ударов высоту поднятия молота можно уменьшить в два раза, т.е. до 25 см, что должно быть зафиксировано в журнале и учтено при обработке результатов.

В процессе зондирования необходимо постоянно контролировать и корректировать вертикальность погружения набора штанг, для чего при наращивании очередной штанги на погружаемый зонд необходимо повернуть с помощью штангового ключа всю колонку штанг вокруг своей оси по часовой стрелке. Затруднения при повороте, возникающие вследствие трения штанг о грунт, необходимо учитывать при обработке результатов.

При значительном сопротивлении повороту штанг, вызванных искривлением скважины, зонд надлежит извлечь из грунта и попытаться повторить заново, при необходимости выполнить рихтовку штанг.

При попадании под конус зонда природных или техногенных включений сначала можно сделать попытку преодолеть их сопротивление за счет увеличения энергии ударов, сбрасывая молот с приложением усилий на него. Если это не дает результата, то на малых глубинах делается попытка пробивки включения ломом, а на больших – разбуривание ручным буром. Во всех случаях после преодоления включения заново фиксируется глубина нахождения конуса зонда. В случае, если указанные меры не принесли результатов, выбирается новая точка зондирования.

При извлечении зонда штанги выбиваются вверх, при этом срезается фиксатор конуса. Конус теряется, и набор штанг легко извлекается из грунта.

После окончания испытаний, а также до выезда на площадку необходимо произвести проверку установки на прямолинейность и степень износа штанг.

Проверка выполняется путем сборки звеньев зонда в отрезки длиной не менее 3 м. При этом отклонение от прямой линии в любой плоскости не должно превышать 5 мм на 3 м по всей длине проверяемого отрезка зонда.

Уменьшение высоты конуса наконечника зонда при максимальном его износе не должно превышать 5 мм, а диаметр 0,3 мм.

Результаты зондирования, отношение количества ударов в залоге *n* к глубине погружения конуса за залог *h* (*n/h*)фиксируются в журнале динамического зондирования.

По результатам испытаний определяют условное динамическое сопротивление грунта *Рq* ,МПа:

*Рq=*АКФ*,* (7)

где *А* - удельная энергия зондирования, Н/см (кгс/см), определяемая в зависимости от типа применяемой установки;

*К* - коэффициент учета потерь энергии при ударе молота о нако вальню и на упругие деформации штанг, определяемый в зависимости от типа установки и глубины зондирования;

*Ф* - коэффициент для учета потерь энергии на трение штанг (при их повороте) о грунт;

*n* - количество ударов молота в залоге;

*h* - глубина погружения зонда за залог, см.

Значения АКФ – принимаются по табл. 7.

Таблица 3

**Значения АКФ, МПа**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Разновидность  грунтов | Интервалы глубины зондирования, м | | | | | |
| 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 |
| Песчаные | 3,40 | 3,25 | 3,00 | 2,75 | 2,40 | 2,15 |
| Глинистые | 2,75 | 2,70 | 2,62 | 2,50 | 2,25 | 1,90 |

Результаты зондирования оформляют в виде непрерывного ступенчатого графика изменения по глубине значения условного динамического сопротивления грунтов *Рq*  с последующим осреднением графика и вычислением средневзвешенных показателей зондирования для каждого слоя земляного сооружения. Пример оформления графика на рис. 3.

 Рис. 3. Результаты динамического зондирования земляного полотна

*Pq*,МПа

*Pq*,МПа

Границы грунтовых зон находят по физико-механическим характеристикам грунтов, определяемых по номограммам (прил.5) по значению сопротивления динамическому зондированию *Рq* .

***1.2.3 Выполнение работы студентами при дистанционной форме обучения***

Динамическое зондирование выполнялось последовательной забивкой зонда в грунт свободно падающим молотом с фиксацией числа ударов (залог) при погружении зонда на глубину 10 см (*h*= 10см - глубина погружения зонда за залог) при обеспечении необходимой точности измерения глубины зондирования (± 0,5 см).

Зондирование производилось непрерывно с отметки -0,3 до достижения заданной глубины с отметкой -2,3. При этом фиксировалось число ударов произведенное для погружения зонда на каждые 10 см грунтовой толщи.

Требуется определить сопротивление динамическому зондированию *Рq* (7); заполнить журнал испытаний (табл. 2) и построить график «Результаты динамического зондирования земляного полотна» (рис. 3.), а также определить значения физико-механических характеристик грунтов (***е; Е; φ; с***) и *К*у.. Варианты заданий в таблице 6.2

**Приложения**



*Рq* МПа

*Рq* МПа



Приложение 6

Пример заполнения журнала испытаний для построения графика «. Результаты динамического зондирования земляного полотна» (см. рис. 3)

**Журнал испытаний** Таблица 6.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Отсчет  по измерительной линейке, см | Общая глубина погружения конуса, м | Число ударов  залоге *n* | | Глубина погружения за залог, см  *h* | АКФ | *Рq*,  МПа | | | Округленное значение *Рq*,  МПа |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | | 8 |
| 1 | 10 | 0.3 | **18** | | 10 | **3.**40 | 6.12 | | | 6 |
| 2 | 10 | 0.4 | **20** | 10 | | 3.40 | | 6.8 | 7 | |
| 3 | 10 | 0.5 | **15** | 10 | | 3.40 | | 5.1 | 5 | |
| 4 | 10 | 0.8 | **14** | 10 | | 3.40 | | 4.76 | 5 | |
| 5 | 10 | 0.7 | **17** | 10 | | 3.40 | | 5.78 | 6 | |
| 6 | 10 | 0.8 | **32** | 10 | | 3.40 | | 10.88 | 11 | |
| 7 | 10 | 0.9 | **29** | 10 | | 3.40 | | 9.86 | 10 | |
| 8 | 10 | 1.0 | **26** | 10 | | 3.40 | | 8.84 | 9 | |
| 9 | 10 | 1.1 | **19** | 10 | | 3.25 | | 6.175 | 6 | |
| 10 | 10 | 1.2 | **15** | 10 | | 3.25 | | 4.875 | 5 | |
| 11 | 10 | 1.3 | **12** | 10 | | 3.25 | | 3.9 | 4 | |
| 12 | 10 | 1.4 | **16** | 10 | | 3.25 | | 5.2 | 5 | |
| 13 | 10 | 1.5 | **13** | 10 | | 3.25 | | 4.42 | 4.4 | |
| 14 | 10 | 1.6 | **15** | 10 | | 3.25 | | 5.1 | 5 | |
| 15 | 10 | 1.7 | **12** | 10 | | 3.25 | | 3.9 | 4 | |
| 16 | 10 | 1.8 | **9** | 10 | | 3.25 | | 2.925 | 3 | |
| 17 | 10 | 1.9 | **11** | 10 | | 3.25 | | 3.575 | 3.6 | |
| 18 | 10 | 2.0 | **12** | 10 | | 3.25 | | 3.9 | 4 | |
| 19 | 10 | 2.1 | **16** | 10 | | 3.00 | | 5.2 | 5 | |
| 20 | 10 | 2.2 | **20** | 10 | | 3.00 | | 6.5 | 6.5 | |
| 21 | 10 | 2.3 | **15** | 10 | | 3.00 | | 4.875 | 5 | |

Количество ударов молота в залоге *п*, при погружении зонда на каждые 10 см при динамическом зондировании грунтов земляного сооружения начиная с глубины 0,3 м до глубины 2,3 м. по вариантам приведено в таблице 3. Грунтовые условия: песок мелкий до глубины-1,4 м, ниже до отметки -2,4 песок средней крупности. На основании П.5:

Песок мелкий: *Ку*=0,915; е=0,68-0,56; Е=18-28 МПа; *φ*=29о-33о ; *с*=3-5 кПа

Песок средней крупности: *Ку*= не табулирован; е=0,72-0,69; Е=22-26 МПа; *φ*=33о ;*с*=2,3 кПа

**Задания к лабораторному практикуму №3**

Таблица 6. 2

**Число ударов залоге *n***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Общая глубина погружения конуса, м | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| 0,3 | 15 | 18 | 28 | 19 | 24 | 17 | 18 | 28 | 19 | 24 |
| 0,4 | 22 | 20 | 24 | 22 | 21 | 24 | 24 | 24 | 22 | 21 |
| 0,5 | 11 | 16 | 25 | 18 | 19 | 11 | 16 | 25 | 18 | 19 |
| 0,6 | 18 | 18 | 24 | 19 | 15 | 16 | 15 | 25 | 19 | 15 |
| 0,7 | 19 | 17 | 27 | 18 | 19 | 29 | 17 | 27 | 14 | 19 |
| 0,8 | 34 | 32 | 32 | 38 | 35 | 34 | 32 | 32 | 34 | 35 |
| 0,9 | 29 | 35 | 29 | 39 | 33 | 29 | 34 | 24 | 35 | 32 |
| 1,0 | 28 | 36 | 29 | 36 | 34 | 28 | 36 | 29 | 36 | 34 |
| 1,1 | 29 | 19 | 18 | 29 | 28 | 29 | 18 | 16 | 34 | 38 |
| 1,2 | 25 | 15 | 25 | 35 | 18 | 25 | 16 | 25 | 35 | 38 |
| 1,3 | 22 | 12 | 18 | 32 | 22 | 23 | 16 | 28 | 22 | 32 |
| 1,4 | 26 | 16 | 36 | 26 | 26 | 26 | 16 | 36 | 26 | 26 |
| 1,5 | 23 | 18 | 33 | 23 | 19 | 33 | 14 | 33 | 23 | 29 |
| 1,6 | 15 | 15 | 35 | 25 | 18 | 35 | 19 | 35 | 28 | 28 |
| 1,7 | 18 | 16 | 22 | 32 | 22 | 18 | 12 | 32 | 32 | 22 |
| 1,8 | 19 | 19 | 29 | 16 | 25 | 19 | 14 | 29 | 16 | 25 |
| 1,9 | 15 | 15 | 19 | 14 | 19 | 15 | 15 | 19 | 18 | 29 |
| 2,0 | 14 | 18 | 18 | 12 | 18 | 14 | 14 | 18 | 16 | 18 |
| 2,1 | 16 | 16 | 26 | 18 | 24 | 16 | 19 | 26 | 18 | 24 |
| 2,2 | 22 | 24 | 28 | 24 | 28 | 25 | 18 | 28 | 16 | 24 |
| 2,3 | 18 | 25 | 25 | 19 | 26 | 22 | 26 | 24 | 22 | 21 |