

Сәулет, қала құрылысы және құрылыс  
саласындағы мемлекеттік нормативтер  
**ҚР НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

---

Государственные нормативы в области  
архитектуры, градостроительства и строительства  
**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РК**

**ТОПЫРАҚТЫ ЗЕРТТЕУГЕ ЖӘНЕ СЫНАУҒА  
АРНАЛҒАН ҚОЛДАНЫСТАҒЫ  
ГЕОТЕХНИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАР МЕН  
ҚҰРАЛДАРДЫ ҚР ҚН ЕН ТАЛАПТАРЫНА  
СӘЙКЕС ҚОЛДАНУ**

---

**ПРИМЕНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО  
ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И  
ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И  
ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ В СООТВЕТСТВИИ  
С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК ЕН**

**ҚР НТҚ 07-02.1-2011  
НТП РК 07-02.1-2011**

Ресми басылым  
Издание официальное

Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің  
Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер  
ресурстарын басқару комитеті

Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального  
хозяйства и управления земельными ресурсами  
Министерства национальной экономики Республики Казахстан

Астана 2015

## АЛҒЫ СӨЗ

- 1 ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҚСҒЗИ» АҚ  
**2 ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы  
**3 БЕКІТІЛІП, ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛДІ:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29-желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап  
**4 ЕНГІЗІЛДІ:**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 РАЗРАБОТАН:** АО «КазНИИСА»  
**2 ПРЕДСТАВЛЕН:** Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан  
**3 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства Национальной экономики Республики Казахстан от 29.12.2014 № 156-НҚ с 1 июля 2015 года  
**4 ВВЕДЕН:**

Осы мемлекеттік нормативті Қазақстан Республикасының сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	V
1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....	1
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	2
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	10
5 КАТЕГОРИИ ГРУНТОВ.....	10
6 ОТБОР, УПАКОВКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД	13
7 МЕТОДЫ ПОЛЕВОГО ИСПЫТАНИЯ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ.....	17
7.1 Методы испытания грунта прессиометром.....	17
7.1.1 Метод испытания грунта радиальным прессиометром.....	18
7.1.2 Метод испытания грунта лопастным прессиометром.....	19
7.2 Испытания грунтов статическим зондированием.....	19
7.3 Испытания грунта динамическим зондированием.....	22
7.4 Испытания грунта методом вращательного среза.....	23
7.4.1 Метод вращательного среза.....	23
7.4.2 Метод кольцевого среза.....	24
7.4.3 Метод поступательного среза.....	25
7.5 Метод испытания грунта штампом.....	25
7.6 Методы полевых испытаний проницаемости.....	26
7.6.1 Метод откачки воды из скважин.....	27
7.6.2 Метод налива воды в шурфы.....	27
7.7 Методы испытаний грунтов сваями.....	28
7.7.1 Испытания грунтов динамической нагрузкой.....	28
7.7.2 Испытания грунтов статическими вдавливающими нагрузками.....	29
8 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ.....	29
8.1 Определение гранулометрического состава грунтов размерами твердых частиц 70- 0,1 мм.....	29
8.2 Определение гранулометрического состава грунтов размерами твердых частиц 0,1- 0,001 мм.....	30
8.3 Определение влажности грунта.....	31
8.4 Определение границы текучести.....	31
8.5 Определение границы раскатывания.....	32
8.6 Определение плотности грунта.....	32
8.6.1 Определение плотности грунта методом режущего кольца.....	32
8.6.2 Определение плотности грунта методом гидростатического взвешивания.....	32
8.7 Определение плотности сухого грунта.....	33
8.8 Определение плотности частиц грунта.....	33
8.8.1 Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом с дистиллированной водой.....	33
8.8.2 Определение плотности частиц засоленных и набухающих грунтов.....	34
8.9 Определение максимальной плотности при оптимальной влажности грунтов (проктор и компакт тест).....	34
8.10 Метод одноплоскостного среза.....	35
8.11 Метод одноосного сжатия.....	37
8.12 Метод компрессионного сжатия.....	38
8.13 Метод трехосного сжатия.....	42
8.14 Методы определения коэффициента фильтрации.....	48
8.14.1 Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов.....	48

8.14.2 Определение коэффициента фильтрации глинистых грунтов .....	49
8.15 Определение характеристик просадочности грунтов .....	49
8.16 Определение характеристик набухания и усадки .....	51
Приложение А ( <i>информационное</i> ) Методы проведения геотехнических исследований.....	53
Приложение Б ( <i>информационное</i> ) Образцы графического оформления результатов испытания грунта прессиометром .....	64
Приложение В ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов статического зондирования .....	65
Приложение Г ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов динамического зондирования .....	67
Приложение Д ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов испытания грунта штампом .....	68
Приложение Е ( <i>информационное</i> ) Образцы графического оформления результатов полевого испытания грунта сваями .....	69
Приложение Ж ( <i>информационное</i> ) Пример построения графика зависимости плотности скелета грунта от влажности при стандартном уплотнении.....	73
Приложение З ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов испытания грунта методом одноплоскостного среза .....	74
Приложение И ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов испытания грунта методом компрессионного сжатия .....	75
Приложение К ( <i>информационное</i> ) Графики определение коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации .....	76
Приложение Л ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов испытания засоленного грунта при сжатии в компрессионно-фильтрационном приборе .....	78
Приложение М ( <i>информационное</i> ) Образец графического оформления результатов испытания грунта методом трехосного сжатия .....	79
Приложение Н ( <i>информационное</i> ) Графики испытания просадочного грунта в компрессионном приборе .....	83
Приложение О ( <i>информационное</i> ) Испытание грунта в компрессионном приборе .....	84
Приложение П ( <i>информационное</i> ) График зависимости изменения объема образца грунта $V$ при изменении влажности $W$ в процессе усадки .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

Геотехнические свойства грунтов с целью определения их характеристик, получения зависимостей, описывающих деформирование грунтов, исследуются при лабораторных и полевых испытаниях.

Для количественного определения характеристик грунтов основными методами оценки физико-механических свойств являются лабораторные исследования, оборудование которых непрерывно совершенствуется. Полевые испытания проводятся непосредственно на площадке строительства. Они позволяют установить свойства грунтов в условиях естественного залегания и при сохранении естественного напряженного состояния, которое часто бывает неизвестно и не может быть воспроизведено в лаборатории. Наиболее полно и достоверно значения геотехнических характеристик грунтов могут быть определены при сочетании полевых и лабораторных методов исследований с применением современных приборов и оборудования.

В основании сооружения, грунт находится в сложном напряженном состоянии, вызванном воздействием внешних нагрузок и силами собственного веса. Основными закономерностями геомеханики, необходимыми для построения методов расчета деформаций и прочности оснований, являются зависимости между напряжениями и деформациями грунтов в условиях сложного нагружения. Параметры этих зависимостей входят в различные расчетные формулы как количественные характеристики геотехнических свойств грунтов. Важнейшими показателями геотехнических свойств являются деформационные, прочностные и фильтрационные характеристики.

Главная направленность государственных нормативов – обеспечение надежности и безопасности строительства, устойчивого функционирования построенных объектов при эксплуатации.

Настоящее Пособие вводится в действие для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Республики Казахстан.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ  
ҚҰРАЛЫ**  
**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**  

---

**ТОПЫРАҚТЫ ЗЕРТТЕУГЕ ЖӘНЕ СЫНАУҒА АРНАЛҒАН ҚОЛДАНЫСТАҒЫ**  
**ГЕОТЕХНИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАР МЕН ҚҰРАЛДАРДЫ ҚР ҚН ЕН**  
**ТАЛАПТАРЫНА СӘЙКЕС ҚОЛДАНУ**  
**ПРИМЕНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И**  
**ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ В**  
**СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК ЕН**

---

Дата введения - 2015-07-01

## 1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящее пособие распространяется на исследования геотехнических свойств и устанавливает методы испытаний определения физико-механических, фильтрационных характеристик грунтов. Рекомендуется использовать при инженерно-геологических изысканиях площадки строительства и проектировании оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений, транспортного строительства и гидротехнических сооружений.

Настоящее пособие предназначено для использования совместно с EN 1997-1 и содержит дополняющие СН РК ЕН положения:

- применение оборудования и приборов для лабораторных и полевых испытаний грунтов;
- определение геотехнических характеристик грунтов для расчета оснований;
- анализа результатов исследований и испытаний грунтов.

Настоящее пособие охватывает общие геотехнические лабораторные и полевые исследования грунтов. Эти исследования были отобраны на основе их важности и необходимости в геотехнической практике, доступности для частных геотехнических лабораторий, а также принятой и существующей общепризнанной методики испытаний в Европе. Лабораторные испытания грунтов оснований главным образом применяются для грунтов распространенных на территории Республики Казахстан.

Положения Настоящего пособия применяются, прежде всего, к проектам 2 геотехнической категории, согласно 2.1 СН РК ЕН. Требования к исследованиям грунтов оснований для 1 геотехнической категории, как правило, ограничены, т.к. для подтверждения необходимо основываться на локальном эксперименте. Для проектов, относящихся к 3 геотехнической категории, количество требуемых исследований будет таким же, как для проектов 2 геотехнической категории во всех последующих разделах. Могут быть необходимы дополнительные исследования и более подробные испытания в связи с обстоятельствами, которые придают проекту 3 геотехническую категорию.

Определение значений геотехнических характеристик и параметров относится, в первую очередь, к расчету оснований, фундаментов глубокого и мелкого заложения по результатам лабораторных и полевых испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ Предполагается, что модернизация Настоящего пособия впоследствии включит в себя лабораторные и полевые исследования, раскрывая дополнительные аспекты в поведении грунтов и скальных пород.

## **2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

Для применения настоящего пособия необходимы следующие ссылочные документы:

СН РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила

СН РК EN 1997-2:2007/2011 Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунта

EN 1997-1:2004 Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила

EN ISO 14688-1 Геотехнические испытания и исследования. Идентификация и классификация грунтов. Часть 1. Идентификация и описание

EN ISO 14688-2 Геотехнические испытания и исследования. Идентификация и классификация грунтов. Часть 2. Принципы классификации

EN ISO 14689-1 Геотехнические испытания и исследования. Идентификация и классификация скальных грунтов. Часть 1. Идентификация и описание

EN ISO 22475-1<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Отбор образцов в скважинах и котлованах, а также измерение уровня грунтовых вод. Часть 1. Технические принципы производства

EN ISO 22476-1<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 1. Электрические CPT и CPTU

EN ISO 22476-2 Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 2. Динамическое зондирование

EN ISO 22476-3 Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 3. Стандартное испытание на пенетрацию

EN ISO 22476-4<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 4. Испытания прессиометром Менарда

EN ISO 22476-5<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 5. Испытания гибким дилатометром

EN ISO 22476-6<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 6. Испытания самозабуривающимся прессиометром

EN ISO 22476-8<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 8. Испытания на определение полных перемещений прессиометра

EN ISO 22476-9<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 9. Полевые испытания грунта крыльчаткой

EN ISO 22476-13<sup>5)</sup> Геотехнические испытания и исследования. Полевые испытания. Часть 13. Штапковые испытания.



**ПРИМЕЧАНИЕ 1** При пользовании настоящими строительными нормами целесообразно проверить действие ссылочных нормативных документов на территории Республики Казахстан, в том числе по перечням фонда нормативных правовых актов, Указателям нормативных документов по стандартизации Республики Казахстан и межгосударственным нормативным документам по стандартизации, ежегодно издаваемым по состоянию на 01 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящими нормами следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2** В библиографии приводятся наименования CEN ISO и технических условий (CEN ISO/TS), содержащих информацию о методах, оборудовании, вычислениях и изложении некоторых полевых и лабораторных исследований. Данные технические условия в должное время могут стать европейскими/международными стандартами. Организация по государственной стандартизации может принять решение о том, чтобы сохранить действующие национальные стандарты, пока существует CEN ISO/TS.

## Обозначения и единицы измерения

В настоящем нормативе применяют следующие обозначения:

### Латинские буквы

- $C_c$  — показатель сжимаемости;
- $c'$  — сцепление;
- $c_{f,v}$  — недренированное сопротивление срезу, полученное по результатам полевых испытаний на срез крыльчаткой;
- $c_u$  — недренированное сопротивление сдвигу;
- $C_s$  — показатель набухания;
- $c_v$  — коэффициент консолидации;
- $C_\alpha$  — коэффициент вторичной компрессии;
- $D_n$  — размер частиц, где  $n$  — % частиц по массе, например  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{85}$ ;
- $E$  — модуль упругости Юнга;
- $E'$  — модуль упругости Юнга, полученный при испытаниях дренированных образцов за длительный период;
- $E_{FDT}$  — дилатометрический модуль гибкости;
- $E_M$  — прессиометрический модуль Менарда;
- $E_{means}$  — измеряемая энергия во время калибровки;
- $E_{oed}$  — одометрический модуль;
- $E_{PLT}$  — модуль, полученный по результатам штамповых испытаний;
- $E_r$  — коэффициент энергии:  $E_r = E_{means} / E_{theor}$ ;
- $E_{theor}$  — теоретическая энергия;
- $E_u$  — недренированный модуль упругости Юнга;
- $E_0$  — начальный модуль упругости Юнга;
- $E_{50}$  — модуль упругости Юнга, соответствующий 50 % максимального сопротивления срезу;
- $I_A$  — индекс активности;
- $I_C$  — показатель консистенции;
- $I_D$  — степень плотности;

$I_{DMT}$  — коэффициент материала, полученный по результатам испытаний плоским дилатометром;

$I_L$  — показатель текучести;

$I_P$  — показатель пластичности;

$K_{DMT}$  — коэффициент для определения горизонтальных напряжений, полученный по результатам испытаний плоским дилатометром;

$k_s$  — коэффициент отпора грунта;

$m_v$  — коэффициент сжимаемости;

$N$  — количество ударов на каждые 300 мм для зондирования при проведении SPT;

$N_k$  — коэффициент зондирования при проведении CPT;

$N_{k,t}$  — то же при проведении CPTU;

$N_{10L}$  — количество ударов на каждые 10 см пенетрации по результатам DPL;

$N_{10M}$  — то же, по результатам DPM;

$N_{10H}$  — то же, по результатам DPH;

$N_{10SA}$  — то же, по результатам DPH-A;

$N_{10SB}$  — то же, по результатам DPH-B;

$N_{20SA}$  — количество ударов на каждые 20 см пенетрации по результатам DPH-A;

$N_{20SB}$  — то же, по результатам DPH-B;

$N_{60}$  — количество ударов по результатам SPT с учетом потери энергии;

$(N_1)_{60}$  — то же, и с учетом перпендикулярности к эффективным вертикальным напряжениям;

$p_{LM}$  — предельное давление Менарда;

$q_c$  — удельное сопротивление грунта погружению зонда по CPT;

$q_t$  — удельное сопротивление грунта погружению зонда по CPT с учетом давления поровой воды;

$q_u$  — напряжения при сжатии с возможностью бокового расширения грунта;

$w_{opt}$  — оптимальная влажность.

### Греческие буквы

$\alpha$  — коэффициент корреляции для  $E_{oed}$  и  $q_c$ ;

$\phi$  — угол внутреннего трения;

$\phi'$  — угол внутреннего трения с учетом эффективных напряжений;

$\mu$  — поправочный коэффициент для определения  $c_u$  по  $c_{f,v}$ ;

$\rho_{d,max}$  — максимальная плотность сухого грунта;

$\sigma_C$  — неограниченная компрессионная прочность скального грунта;

$\sigma'_p$  — эффективное давление обжатия;

$\sigma_T$  — сопротивление растяжению скального грунта;

$\sigma_{v0}$  — суммарные вертикальные напряжения;

$\sigma'_{v0}$  — эффективные вертикальные напряжения;

$\nu$  — коэффициент Пуассона.

### Сокращения

BDD — определение плотности грунта;

DSS	- прямые испытания на сдвиг;
OED	- одометрические исследования;
PTF	- исследования на проницаемость при снижающемся гидравлическом давлении;
PTC	- исследования на проницаемость при постоянном гидравлическом давлении;
RS	- испытания в кольцевом сдвиговом приборе;
SB	- испытания в смещающемся сдвиговом приборе;
SIT	- испытания на степень прочности ( одноосное нагружение);
PSA	- определение гранулометрического состава;
TX	- трехосные испытания;
TXCH	- определение постоянной проницаемости в приборе с трехосным обжатием;
CPT	- зондирование коническим зондом;
CPTU	- зондирование коническим зондом с замерами порового давления;
DMT	- испытания плоским дилатометром;
DP	- динамическое зондирование;
DPL	- динамическое зондирование легкой установкой;
DPH	-то же, тяжелой установкой;
DPSH-A	- то же, супертяжелой установкой типа А;
DPSH-B	- то же, супертяжелой установкой типа В;
FDT	- определение полных перемещений прессиометра;
FVT	- полевые испытания методом вращательного среза;
MPM	- испытания прессиометром Менарда;
PBP	- испытания прессиометром в скважине;
PLT	- штамповые испытания;
PMT	- прессиометрические испытания;
RDT	- дилатометрические испытания скальных грунтов;
SBP	- испытания дилатометром, имеющим возможность самопогружения;
SDT	- дилатометрические испытания нескальных грунтов;
SPT	- стандартные испытания на пенетрацию;
WST	- испытания статической нагрузкой.

**Единица измерения:**

— сила	— кН;
— момент	— кН × м;
— плотность	— кг/м <sup>3</sup> ;
— удельный вес	— кН/м <sup>3</sup> ;
— напряжение, давление, жесткость и упругость	— кПа;
— коэффициент фильтрации	— м/с;
— коэффициент консолидации	— м <sup>2</sup> /с.

ПРИМЕЧАНИЕ Использование обозначений основано на ISO 3898:1997.

**3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

В настоящем Пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 Грунт:** Горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека. Грунты служат: материалом оснований зданий и сооружений; средой для размещения в них сооружений; материалом самого сооружения.

**3.2 Грунт скальный:** Грунт, состоящий из кристаллитов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи кристаллизационного типа.

**3.3 Грунт полускальный:** Грунт, состоящий из одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа. Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие ( $R_c \geq 5$  МПа — скальные грунты,  $R_c < 5$  МПа — полускальные грунты).

**3.4 Грунт дисперсный:** Грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабосвязанных друг с другом; образуется в результате выветривания скальных грунтов с последующей транспортировкой продуктов выветривания водным или эоловым путем и их отложения.

**3.5 Структура грунта:** Пространственная организация компонентов грунта, характеризующаяся совокупностью морфологических (размер, форма частиц, их количественное соотношение), геометрических (пространственная композиция структурных элементов) и энергетических признаков (тип структурных связей и общая энергия структуры) и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов грунта.

**3.6 Текстура грунта:** Пространственное расположение слагающих грунт элементов (слоистость, трещиноватость и др.).

**3.7 Состав грунта вещественный:** Категория, характеризующая химико-минеральный состав твердых, жидких и газовых компонентов.

**3.8 Грунт глинистый:** Связный минеральный грунт, с числом пластичности  $I_p \geq 1$ .

**3.9 Песок:** Несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 2 мм составляет более 50 % ( $I_p = 0$ ).

**3.10 Грунт крупнообломочный:** Несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50 %.

**3.11 Ил:** Водонасыщенный современный осадок преимущественно морских акваторий, содержащий органическое вещество в виде растительных остатков и гумуса. Обычно верхние слои ила имеют коэффициент пористости  $e \geq 0,9$ , текучую консистенцию  $I_L > 1$ , содержание частиц меньше 0,01 мм составляет 30÷50 % по массе.

**3.12 Почва:** Поверхностный плодородный слой дисперсного грунта, образованный под влиянием биогенного и атмосферного факторов.

**3.13 Грунт набухающий:** Дисперсный грунт, который при замачивании водой или другой жидкостью увеличивается в объеме и имеет относительную деформацию набухания (в условиях свободного набухания) более 0,04.

**3.14 Грунт просадочный:** Дисперсный грунт, который под действием внешней нагрузки и собственного веса или только от собственного веса при замачивании водой или

другой жидкостью претерпевает вертикальную деформацию (просадку) и имеет относительную деформацию просадки более 0,01.

**3.15 Грунт пучинистый:** Дисперсный грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме вследствие образования кристаллов льда и имеет относительную деформацию морозного пучения более 0,01.

**3.16 Степень засоленности:** Характеристика, определяющая количество воднорастворимых солей в грунте.

**3.17 Предел прочности грунта на одноосное сжатие:** Отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца скального грунта, к площади первоначального поперечного сечения.

**3.18 Коэффициент выветрелости:** Отношение плотности выветрелого скального грунта к плотности монолитного грунта.

**3.19 Коэффициент размягчаемости в воде:** Отношение пределов прочности скального грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии.

**3.20 Степень растворимости в воде:** Характеристика, отражающая способность скальных грунтов растворяться в воде и выражающаяся в количестве воднорастворимых солей.

**3.21 Степень водопроницаемости:** Характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации.

**3.22 Число пластичности:** Разность влажностей, соответствующая двум состояниям грунта: на границе текучести и на границе раскатывания.

**3.23 Показатель текучести:** Отношение разности влажностей, соответствующих двум состояниям грунта: естественному и на границе раскатывания, к числу пластичности.

**3.24 Относительная деформация набухания без нагрузки:** Отношение увеличения высоты образца грунта после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца природной влажности.

**3.25 Относительная деформация просадочности:** Отношение разности высот образцов, соответственно, природной влажности и после его полного водонасыщения при определенном давлении к высоте образца природной влажности.

**3.26 Коэффициент водонасыщения:** Степень заполнения объема пор водой.

**3.27 Грунт сезонномерзлый:** Грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

**3.28 Грунт морозный:** Скальный грунт, имеющий отрицательную температуру и не содержащий в своем составе лед и незамерзшую воду.

**3.29 Грунт сыпучемерзлый** (синоним — «сухая мерзлота»): Крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом и не обладающий силами сцепления.

**3.30 Грунт мерзлый распученный:** Дисперсный грунт, который при оттаивании уменьшает свой объем.

**3.31 Грунт твердомерзлый:** Дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением и практически несжимаемый под внешней нагрузкой.

**3.32 Грунт пластичномерзлый:** Дисперсный грунт, сцементированный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой.

**3.33 Температура начала замерзания (оттаивания):** Температура, °С, при которой в порах грунта появляется (исчезает) лед.

**3.34 Криогенные структурные связи грунта:** Кристаллизационные связи, возникающие во влажных дисперсных и трещиноватых скальных грунтах при отрицательной температуре в результате сцементирования льдом.

**3.35 Техногенные грунты:** Естественные грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования.

**3.36 Природные образования, измененные в условиях естественного залегания:** Природные грунты, для которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15 %.

**3.37 Грунты, измененные физическим воздействием:** Природные грунты, в которых техногенное воздействие (уплотнение, замораживание, тепловое воздействие и т. д.) изменяет строение и фазовый состав.

**3.38 Грунты, измененные химико-физическим воздействием:** Природные грунты, в которых техногенное воздействие изменяет их вещественный состав, структуру и текстуру.

**3.39 Насыпные грунты:** Техногенные грунты, перемещение и укладка которых осуществляются с использованием транспортных средств, взрыва.

**3.40 Влажность грунта:** Отношение массы воды в объеме грунта к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы.

**3.41 Гигроскопическая влажность:** Влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, т.е. в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха.

**3.42 Влажность на границе текучести:** Влажность грунта, при которой грунт находится на границе между пластичным и текучим состояниями.

**3.43 Влажность на границе раскатывания:** Влажность грунта, при которой грунт находится на границе между твердым и пластичным состояниями.

**3.44 Плотность грунта:** Масса единицы объема грунта.

**3.45 Плотность сухого грунта:** Отношение массы грунта, за вычетом массы воды и льда в его порах, к его первоначальному объему.

**3.46 Плотность частиц грунта:** Масса единицы объема твердых (скелетных) частиц грунта.

**3.47 Воздушно-сухое состояние грунта:** Состояние грунта, высушенного на воздухе.

**3.48 Водонасыщенное состояние грунта:** Состояние грунта при практически полном заполнении пор грунта водой.

**3.49 Гранулометрический (зерновой) состав грунта:** Количественное содержание в грунте твердых частиц того или иного размера.

**3.50 Степень неоднородности гранулометрического состава:** Показатель неоднородности гранулометрического состава.

**3.51 Микроагрегатный состав грунта:** Количественное содержание в грунте твердых водостойких агрегированных частиц того или иного размера.

**3.52 Коэффициент фильтрации:** Скорость фильтрации воды в грунте при градиенте напора, равном единице.

**3.53 Градиент напора:** Отношение разности гидростатических напоров воды (потери напора) к длине пути фильтрации.

**3.54 Структурная прочность:** Вертикальное напряжение в образце грунта, соответствующее началу перехода от упругих к пластическим деформациям сжатия.

**3.55 Вертикальное давление на образец грунта:** Отношение вертикальной нагрузки, приложенной к образцу, к площади его поперечного сечения.

**3.56 Относительная вертикальная деформация образца грунта:** Отношение абсолютной вертикальной деформации к начальной высоте образца.

**3.57 Стабилизация деформации:** Приращение деформации во времени, характеризующее практическое затухание деформации при определенной нагрузке.

**3.58 Стабилизированное состояние грунта:** Состояние грунта, характеризующее окончанием деформаций уплотнения под определенной нагрузкой и отсутствием избыточного давления в поровой жидкости.

**3.59 Нестабилизированное состояние грунта:** Состояние грунта, характеризующее незавершенностью деформаций уплотнения под определенной нагрузкой и наличием избыточного давления в поровой жидкости.

**3.60 Консолидированно-дренированное испытание:** Испытание грунта для определения характеристик прочности и деформируемости с предварительным уплотнением образца и отжатием из него воды в процессе всего испытания.

**3.61 Консолидированно-недренированное испытание:** Испытание грунта для определения характеристик прочности с предварительным уплотнением образца и отжатием из него воды только в процессе уплотнения.

**3.62 Неконсолидированно-недренированное испытание:** Испытание грунта для определения характеристик прочности без предварительного уплотнения образца при отсутствии отжатия из него воды в процессе всего испытания.

**3.63 Сопротивление грунта срезу:** Характеристика прочности грунта, определяемая значением касательного напряжения, при котором происходит разрушение (срез).

**3.64 Коэффициент сжимаемости:** Отношение относительной вертикальной деформации (изменения коэффициента пористости) к давлению, вызвавшему эту деформацию.

**3.65 Абсолютное суффозионное сжатие:** Уменьшение первоначальной высоты образца грунта в результате сжатия при постоянном вертикальном давлении и непрерывной фильтрации жидкости, вызывающей химическую суффозию.

**3.66 Относительное суффозионное сжатие:** Отношение абсолютного суффозионного сжатия к высоте образца грунта природной влажности при природном давлении.

**3.67 Начальное давление суффозионного сжатия:** Минимальное давление, при котором проявляется суффозионное сжатие грунта.

**3.68 Модуль линейной деформации:** Показатель линейной деформируемости мерзлого грунта, отражающий отношение напряжений к вызванным относительным продольным деформациям.

**3.69 Коэффициент нелинейной деформации:** Показатель, характеризующий зависимость деформаций ползучести мерзлого грунта от напряжений и времени.

**3.70 Коэффициент Пуассона (коэффициент поперечного расширения):** Показатель деформируемости, характеризующий отношение поперечных и продольных деформаций грунта.

**3.71 Коэффициент вязкости:** Показатель деформируемости, характеризующий скорость пластично-вязкого течения сильнольдистого мерзлого грунта, зависящий от времени действия нагрузки и значения отрицательной температуры грунта.

**3.72 Угол внутреннего трения:** Параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезам от вертикального давления, определяемый как угол наклона этой прямой к оси абсцисс.

**3.73 Удельное сцепление грунта:** Параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезам от вертикального давления, определяемый как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат.

**3.74 Модуль упругости Юнга (Модуль деформации):** Коэффициент пропорциональности линейной связи между приращениями давления на образец и его деформацией.

**3.75 Модуль сдвига:** Характеристика деформируемости, определяемая отношением интенсивности касательных напряжений к интенсивности деформаций сдвига.

**3.76 Эффективное напряжение:** Напряжение, действующее в скелете грунта, определяемое как разность между полным напряжением в образце грунта и давлением в поровой жидкости.

**3.77 Коэффициент фильтрационной  $c_v$  и вторичной  $c_\alpha$  консолидации:** Показатели, характеризующие скорость деформации грунта при постоянном давлении за счет фильтрации воды ( $c_v$ ) и ползучести грунта  $c_\alpha$

**3.78 Ползучесть:** Развитие деформаций грунта во времени при неизменном напряжении.

**3.79 Натурная свая:** Обычная по материалу, конструкции и размеру свая, применяемая в строительстве.

## 4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящее пособие распространяется на грунты (скальные; полускальные; дисперсные: песчаные, глинистые, набухающие, засоленные, просадочные) всех типов распространенных на территории Республики Казахстан. Устанавливает требования к отбору, упаковке, транспортированию и хранению образцов грунтов. Рассматривает применение существующего геотехнического оборудования и приборов для определения физико-механических и фильтрационных свойств грунтов в соответствии с требованиями СН РК EN. (Приложение А)

## 5 КАТЕГОРИИ ГРУНТОВ

Грунты в строительной практике используются как основания зданий, в качестве материала для возведения плотин, дамб и как среда для размещения подземных сооружений (метрополитен). Для проектирования зданий и сооружений на начальном этапе определяются количественные показатели, в том числе геотехнические свойства грунтов. Грунт является трехфазной системой, включающей твердые частицы, жидкую и



газообразную составляющие. Каждый из указанных случаев применения предполагает учет определенных свойств грунтов, их предварительное экспериментальное изучение. Грунты в соответствии с требованиями СН РК EN, делятся на категории А, В, С и дополняются типами и классификацией. Грунты по результатам квалификационных испытаний подразделяются по типам и геотехническим параметрам (Таблица 1 и Таблица 2).

Таблица 1 - Квалификационные испытания

Параметр	Тип грунта							
	глины			илы			пески, гравий	
	Тип образца			Тип образца			Тип образца	
	Не нарушен ной	Нарушен ной	Востанно й	Не нарушен ной	Нарушен ной	Востанов лен-ной	Нарушен ной	Востано влен-ной
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Геологичес-кие описание и классификация грунта	X	X	X	X	X	X	X	X
Содержа-ние воды	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)	(X)
Плотность	X	(X)	—	X	(X)	—	—	—
Минималь-ное и максималь-ное плотности	—	—	—	(X)	(X)	(X)	X	X
Пределы Аттерберга	X	X	X	X	X	X	—	—
Описание гранулометрического состава	X	X	X	X	X	X	X	X
Недренирован-ные сопротивление срезу	X	—	—	(X)	—	—	—	—
Проницае-мость	X	—	—	X	(X)	(X)	(X)	(X)
Чувстви-тельность	X	—	—	—	—	—	—	—
X — разрешается к использованию; (X) — допускается к использованию, если нет прочих образцов; — — не допускается к использованию.								

Наименования грунтов должны содержать сведения об их геологическом возрасте в соответствии с местными стратиграфическими схемами, принятыми в установленном порядке. К характеристикам грунтов по разновидностям, допускается вводить дополнения и изменения в случаях появления новых количественных критериев выделения разновидностей грунтов и результате научно-технических разработок.

Идентификацию нескальных грунтов необходимо проводить на основании исследования отобранных образцов в соответствии с EN ISO 14688-1 и EN ISO 14688-2. Идентификацию скальных грунтов необходимо проводить в соответствии с EN ISO 14689-1.

Визуальная идентификация скальных грунтов основывается на изучении скальных массивов и образцов, включая все включения и разрывы. В соответствии с геологическими процессами необходимо устанавливать типы скальных грунтов по выветрелости с разделением между молодыми и старыми скалами, скальными включениями в грунт основания. Разрывы массива, такие как поверхности напластования, стыки, трещины, кливажи и дефекты, должны быть определены по образцам с указанием конкретных расстояний и наклонов. Определение этих характеристик необходимо производить в соответствии с 4.3.3 EN ISO 14689-1:2009.

**Таблица 2- Лабораторные испытания для определения геотехнических параметров**

Геотехнический параметр	Тип грунта				
	гравий	песок	ил	глина NC	глина OC
Одометрический модуль $E_{oed}$ Коэффициент сжимаемости $C_c$ (однонаправленная компрессия)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)
Модуль упругости Юнга $E$ Модуль сдвига $G$	TX	TX	TX	TX	TX
Дренированное (эффективное) сопротивление грунта сдвигу ( $c'$ , $\phi'$ )	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB
Остаточное сопротивление сдвигу ( $c'_R$ , $\phi'_R$ )	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)
Недренированное сопротивление сдвигу ( $c_u$ )	—	—	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT
Плотность $\rho$	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD
Коэффициент консолидации $c_v$			OED TX	OED TX	OED TX
Коэффициент фильтрации $k$	TXCH PSA	TXCH PSA	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)
— - не применимо; ( ) - частично применимо.					

## **6 ОТБОР, УПАКОВКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД**

Отбор проб скальных и нескальных грунтов производится путем бурения скважин или экскавации с измерением уровня грунтовых вод. Данные работы должны быть проведены в полном объеме, чтобы получить все необходимые данные для геотехнического расчета.

Образцы должны содержать все минеральные составляющие слоя, из которого данный образец был отобран. Не допускается загрязнение образцов составляющими другого слоя или добавками, используемыми при отборе проб. В зависимости от желаемого качества образцов необходимо учитывать три категории методов отбора образцов [EN ISO 22475-1] согласно указанной далее классификации (для определения качества образцов смотреть Таблицу 3):

- категория А: образцы класса качества 1–5;
- категория В: образцы класса качества 3–5;
- категория С: образцы только класса качества 5.

Образцы класса качества 1 или 2 могут быть получены только при использовании методов отбора образцов категории А. Цель состоит в том, чтобы получить образцы класса качества 1 или 2, в которых в течение процедуры отбора образцов и их обработки не произошло или произошло только незначительное нарушение структуры грунта. Влажность и коэффициент пористости грунта полностью соответствует грунту естественного залегания. Не произошло изменений гранулометрического или химического состава грунта. Некоторые непредвиденные обстоятельства, такие как изменчивость геологического слоя, могут привести к получению образцов более низкого класса качества.

Использование методов отбора образцов категории В будет предотвращать достижение образцов классов качества выше чем 3. Цель состоит в том, чтобы получить образцы, которые содержат все составляющие грунта в его естественном залегании и первоначальных пропорциях, а также сохраняют его естественную влажность. Данными методами возможно определить общую классификацию различных слоев грунта или его компонентов. Структура образца грунта нарушена.

Использование методов отбора образцов категории С не позволяет получить образцы класса качества выше чем 5. Структура грунта в образце полностью изменена. Общее устройство различных слоев грунта или компонентов видоизменилось настолько, что невозможно безошибочно определить слои в их естественном залегании. Природное влагосодержание образцов не соответствует слою грунта, из которого они взяты.

Образцы грунтов для лабораторных испытаний разделены на пять классов качества в соответствии с характеристиками, которые предположительно остаются неизменными в течение отбора образцов, транспортирования и хранения. Классы качества представлены в Таблице 3 вместе с применяющейся категорией методов отбора образцов.

Применяемый для испытаний образец грунта должен быть достаточных размеров, чтобы учесть: максимальный размер частиц в значимом количестве; природные свойства, такие как структура и текстура (например, нарушения сплошности).

**Таблица 3 - Классы качества образцов для лабораторных испытаний и применяемые категории методов отбора образцов**

Свойства грунтов	Классы качества образцов				
	1	2	3	4	5
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Неизменные свойства грунтов:					
размер частиц	*	*	*	*	
влажность	*	*	*		
плотность, степень плотности, проницаемость	*	*			
сопротивление срезу, деформативность	*				

**Таблица 3 - Классы качества образцов для лабораторных испытаний и применяемые категории методов отбора образцов (продолжение)**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Свойства, которые могут быть определены:					
последовательность слоев	*	*	*	*	*
граница между слоями — широкая	*	*	*	*	
граница между слоями — узкая	*	*			
пределы Аттерберга, пористость, проницаемость	*	*	*	*	
влажность	*	*	*		
плотность, степень плотности, проницаемость	*	*			
сжимаемость, сопротивление срезу	*				
Категории методов отбора образцов в соответствии с EN ISO 22475-1 нарушенные, ненарушенные, доуплотненные (допрессованные), переформированные и восстановленные (искусственно приготовленные).	A				
				B	
					C

### **Отбор проб скального грунта к испытаниям**

Образцы должны содержать все минеральные составляющие слоя, из которого они были взяты. Они не должны быть загрязнены составляющими другого слоя или добавками, применяемыми при отборе проб. Разрывы, трещины и соответствующие заполняющие их материалы в массиве скальных грунтов часто влияют на прочностные и деформационные характеристики скалы в целом. Следовательно, если требуется определить эти характеристики, их следует определять наиболее точно в течение производства работ по отбору проб.

Существует три категории методов отбора образцов (см. EN ISO 22475-1) в зависимости от качества образца:

- категория А;
- категория В;
- категория С.

При использовании категории А методов отбора образцов цель состоит в том, чтобы получить образцы, в которых в течение их отбора и транспортировки не возникли вовсе или, если возникли, то незначительные нарушения структуры скального грунта. Прочностные и деформационные характеристики, влажность, плотность, пористость и проницаемость образца находятся в соответствии со значениями в естественном залегании. Не должны происходить изменения в гранулометрическом или химическом составах грунта. Некоторые непредвиденные обстоятельства, такие как изменчивость геологического слоя, могут привести к снижению класса качества образца.

При использовании категории В методов отбора образцов цель состоит в том, чтобы получить образцы, которые содержат все составляющие грунта в его естественном залегании и в первоначальных пропорциях, а также скальные обломки, сохранившие прочностные и деформационные характеристики, влагосодержание, плотность и пористость. При использовании категории В методов отбора образцов может быть определено общее распространение разрывов в скальном массиве и произошедшее нарушение структуры скального грунта и, соответственно, изменение прочностных деформационных характеристик, влагосодержания, плотности, пористости и проницаемости самого скального грунта. Некоторые непредвиденные обстоятельства, такие как изменчивость геологического слоя, могут привести к достижению более низких классов качества.

Категория С методов отбора образцов ведет к полному изменению структуры скального грунта и характера трещин. Скальный грунт может быть разрушен. Могут произойти некоторые изменения в гранулометрическом или химическом составе скального грунта. Однако возможно установить тип скального грунта, его структуру и текстуру. При этом, исключить изменений влажности и необходимо указать следующее: условия хранения проб скального грунта; влагосодержание опытных образцов во время испытаний; способ приготовления образцов керна; метод определения размеров и допусков на форму.

В отчете испытания следует отразить: источник опытного образца, включая указание глубины/уровня и ориентации в пространстве; даты приготовления и испытания образцов; результаты испытания образца; размеры и формы, включая их соответствие требованиям; влажность пробы/образца (при отборе, во время приготовления, после насыщения водой); условия сушки (на воздухе, в сушильной печи, под давлением или в частичном вакууме).

Для анализа результатов испытаний должна быть представлена следующая информация: физическое описание образца, включая тип скальной породы (как, например, песчаник, известняк, гранит, и т.д.), местоположение и ориентация присущих скальному грунту структурных свойств, а также каких-либо нарушений сплошности, включений и неоднородностей; эскиз опытного образца или цветная фотография для немонотонных и неоднородных типов грунта; показатель трещиноватости и нарушенности скального грунта; данные для обоснования проверок соответствия допускам отклонений от правильной цилиндрической формы опытного образца, от плоскостности торцевых несущих поверхностей и их перпендикулярности по отношению к оси керна.

### **Отбор образцов нескальных грунтов**

Целью подготовки грунта для лабораторных испытаний является получение опытных образцов, которые в максимальной степени отражают свойства грунта. Выделяют пять видов образцов грунта для подготовки: нарушенные, ненарушенные, доуплотненные

(допрессованные), переформированные и восстановленные (искусственно приготовленные). Класс качества и количество образцов должны соответствовать целям исследований нескальных грунтов, геологическим условиям площадки, сложности геотехнического строения, а также проектируемого сооружения. Категории методов отбора образцов должны выбираться с учетом желаемых лабораторных классов качества, как указано в Таблице 3, ожидаемых видов нескальных грунтов, а также состояния грунтовых вод. Образцы необходимо брать на границе каждого слоя и на определенном расстоянии не более чем 3 м. В неоднородных нескальных грунтах или если требуется детальное описание состояния грунтов оснований, следует проводить постоянный отбор грунта с бурового оборудования или отбирать образцы на очень малых расстояниях друг от друга.

### **Оборудование**

Образцы грунтов ненарушенной структуры отбирают с помощью режущих колец, грунтоносов и с помощью буровых наконечников при бурении скважин. Грунтоносы должны обеспечивать отбор монолитов с природной влажностью диаметром, достаточным для вырезания образцов грунта с размерами, определяемыми оборудованием для испытаний грунта. Образцы нарушенного сложения также отбирают с помощью ножа, лопаты. Применяются следующие методы для отбора образцов при бурении скважин: бурение, направленное на построение полной геологической колонки с отбором; образцов с бурового инструмента при бурении скважин, а также специальными пробоотборниками на выбранных глубинах по длине скважины; бурение для отбора образцов на специальных заранее определенных уровнях.

При отборе монолитов из скважин с помощью грунтоноса, исключая трение между ним и монолитом, максимальная длина рейса грунтоноса не должна превышать 2,0 м для грунтов с жесткими структурными связями, 1,5 м - для крупнообломочных грунтов и 0,7 м - для песчаных и глинистых грунтов. Высота монолита должна быть не менее его диаметра. Отбор из скважин монолитов скального грунта, следует производить с применением одинарных колонковых труб, а монолитов нескальных грунтов - двойными колонковыми трубами с внутренней невращающейся в процессе отбора монолита трубой и тонкостенными цилиндрическими грунтоносами.

### **Упаковка образцов**

Для упаковки образцов нарушенного сложения применяют тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц грунта, а также металлические коррозионностойкие или пластмассовые банки с герметически закрывающимися крышками. Для упаковки монолитов тару изготавливают из коррозионностойких материалов. Для изоляции монолитов применяют парафин с добавкой 35÷50% (по массе) гудрона. Образцы грунта нарушенного сложения, для сохранения природной влажности, укладывают в тару с герметически закрывающимися крышками, а также обеспечивающую сохранение мелких частиц грунта. Вместе с образцом грунта нарушенного сложения внутрь тары укладывают этикетку, завернутую в кальку, покрытую слоем парафина; вторую этикетку - наклеивают на тару. На этикетке должны быть указаны: наименование организации, производящей изыскания; наименование объекта (участка); название выработки и ее номер; глубина

отбора образца; наименование грунта по визуальному определению; должность и фамилия лица, производящего отбор образцов, и его подпись; дата отбора образца.

### **Транспортирование и хранение образцов**

Необходимо постоянно предохранять образцы грунта от повреждений, разрушений и резких перепадов температур. Следует особо осторожно обращаться с ненарушенными образцами во избежание деформации и потери влаги во время приготовления опытных образцов. Материал, из которого состоят контейнеры для образцов, не должен вступать в реакцию с помещенным в контейнеры грунтом. Нельзя допускать высыхания грунта до проведения испытаний, если потеря влаги может повлиять на их результаты. Упакованные образцы грунта нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности, а также упакованные монолиты следует хранить в помещениях или камерах.

Сроки хранения монолитов (с момента отбора до начала лабораторных испытаний) в помещениях или камерах, не должны превышать: для грунтов с жесткими структурными связями, маловлажных песчаных, а также пылевато-глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции - 3 мес.; для других разновидностей грунтов - 1,5 мес.

### **Измерение уровня грунтовых вод в скальных и нескальных грунтах**

Определение уровня грунтовых вод или порового давления в скальных и нескальных грунтах необходимо проводить путем установки открытых или закрытых измерительных систем в грунте. Существует два главных способа измерения давления уровня грунтовых вод: открытые и закрытые системы. В открытых системах пьезометрический напор грунтовых вод измеряется при использовании наблюдательного колодца, как правило, снабженного открытой трубкой. В закрытых системах давление грунтовых вод в выбранной точке измеряется непосредственно датчиком давления.

В течение процесса бурения скважины наблюдение за уровнем воды в конце дня и в начале следующего дня (перед началом производства буровых работ) может быть хорошим критерием определения условий грунтовых вод, и данные замеры должны быть зафиксированы.

Оценка результатов измерений уровня грунтовых вод должна учитывать геологические и геотехнические условия местности, точность единичных измерений, колебания порового давления воды во времени, продолжительность наблюдения, продолжительность измерений и климатические условия в течение и до этого периода.

Полученные результаты измерений уровня грунтовых вод должны включать в себя наблюдаемые максимальные и минимальные повышения уровня грунтовых вод или порового давления, имеющие место в период измерений.

## **7 МЕТОДЫ ПОЛЕВОГО ИСПЫТАНИЯ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ**

### **7.1 Методы испытания грунта прессиометром**

Настоящие методы распространяются на нескальные грунты и определяют характеристики деформируемости (прессиометрический модуль Менарда).

Прессиометрический модуль Менарда  $E_M$  определяют по участку линейной зависимости между давлением и деформацией и для стадии упругих деформаций, полученные в результате испытаний.

### Приборы и оборудование

При испытании грунтов применяются прессиометры двух типов – гидравлические и пневматические с различными модификациями. Работа с каждым из них имеет свои особенности, которые должны быть отражены в паспорте прибора и инструкции по его эксплуатации. Паспорт и инструкция по эксплуатации должны включать: технические данные и описания конструкций деталей и узлов, указания по сборке; порядок проведения градуировочных (тарировочных) испытаний; методика проведения испытаний грунтов и обработка результатов; указания по технике безопасности.

По результатам градуировочных (тарировочных) испытаний определяют давление, затрачиваемое на расширение эластичных оболочек камер прессиометра и проверяется градуировка измерительных устройств. Испытания грунтов проводят на глубинах и диаметр скважин принимается на 10-20 мм больше внешнего диаметра. Бурение должно производиться с минимальным нарушением природного сложения и влажности грунта. В водонасыщенных глинистых грунтах и песках проходка скважин должна производиться с обсадкой трубами. Испытания проводятся по схемам медленного и быстрого нагружения.

### 7.1.1 Метод испытания грунта радиальным прессиометром

Прессиометры в основном представляет гидравлический или пневматический прибор с датчиками деформации для испытания грунтов в скважинах диаметром до 108 мм, глубиной до 25,0 м, при максимальном давлении 3,0 МПа. Наибольшее измеряемое радиальное перемещение -50 мм, точность измерения деформации 0,1 мм, значения измеряемого модуля деформации 50 МПа. Зонды приборов трехкамерные, выполненные из эластичной резины. В средней рабочей камере установлены до шести датчиков через 25, 0 мм и со смещением 120 градусов в каждом ряду. Датчики электрические, обеспечивающие регистрацию радиальных деформации камеры. Импульсы от датчиков передаются на счетчики по проводам, смонтированным в шлаг подачи давления.

По результатам испытания получают зависимость радиальных деформации от давления  $\Delta r = f(p)$ . (Приложение Б, Рисунок Б.1). Учитывая что прессиометр имеет ограниченную длину модуль Менарда  $E_M$ , МПа, определяют для стадии упругих деформации и определяют для линейного участка зависимости  $\Delta r = f(p)$  по формуле

$$E_M = K_r r_0 \frac{\Delta P}{\Delta r}, \quad (1)$$

где  $K_r$  - коэффициент, зависящий от отношения длины обжимаемого участка к диаметру камеры зонда;

$r_0$  - первоначальный радиус скважины, равный  $r_{np} + \Delta r_0$ ;

$r_{np}$  - радиус камеры зонд, см;

$\Delta r_0$  - приращение радиуса камеры зонд, равная  $P_0$ , см;

$\Delta P$  - приращение давления на грунты на линейном участке зависимости, МПа;



$\Delta r$  - приращение перемещения грунта по радиусу, равная  $\Delta P$ , см.

### 7.1.2 Метод испытания грунта лопастным прессиометром

#### Приборы и оборудование

Прессиометры представляет гидравлический или пневматический прибор с датчиками деформации для испытания грунтов в скважинах.

Лопастный прессиометр состоит из: наконечника со штампами-лопастями и направляющим стаканом; гидравлического насоса с манометрами; датчиков измерения перемещения штампов-лопастей наконечника.

Для вычисления прессиометрического модуля Менарда  $E_M$  получают кривую перемещения от давления  $u = f(p)$ . По осредняющей прямой линейного участка (Приложение Б, Рисунок Б.2) определяют прессиометрический модуль Менарда  $E_M$ , МПа, по зависимости:

$$E_M = K_{\omega} \omega (1 - \nu^2) b \frac{\Delta P}{\Delta u} \quad (2)$$

где  $K_{\omega}$  - корректирующий коэффициент;

$\nu$  - коэффициент Пуассона;

$b$  - ширина штампа-лопасти наконечника, см;

$\omega$  - безразмерный коэффициент, принимаемый в зависимости от размеров штампа-лопасти;

$\Delta P$  - приращение давления на осредняющей прямой, МПа;

$\Delta u$  - приращение перемещения штампа-лопасти при  $\Delta P$ , см.

### 7.2 Испытания грунтов статическим зондированием

Настоящий метод распространяется на нескальные грунты и является одним из наиболее эффективных методов исследования в условиях природного залегания грунтов.

По результатам статического зондирования грунта определяют:

- характер напластования, вид грунтов основания, степень неоднородности залегания грунтов в плане и по глубине;

- плотность и угол внутреннего трения песчаных грунтов и консистенцию глинистых грунтов;

- модуль деформации грунтов, с учетом эффективных напряжений;

- нормативное давление и условное расчетное сопротивление грунтов оснований;

- определяют консолидационные характеристики грунтов;

- несущую способность забивных свай.

Исследованиями грунтов статическим зондированием получают по глубине основания:

- удельное сопротивление грунта под конусом -  $q_3$ , МПа;

- сопротивление грунта на боковой поверхности -  $Q_3$ , кН;

- поровое давление -  $P_w$ , МПа. (Приложение В, Рисунок В.1.).

### Оборудование

Оборудование для испытания грунтов статическим зондированием состоит из: тензометрических пьезоконусов (наконечника- зонда и штанги), снабженного датчиками порового давления; гидравлического домкрата с манометрами; анкерного устройства; измерительного прибора. Пьезоконус имеет следующие основные части для измерения порового давления: пористый фильтр, камеру поровой жидкости и тензодатчик измерения порового давления. Фильтр представляет собой кольцевой элемент внешним диаметром не более 50 мм, высотой не более 8 мм. Изготавливают фильтры из металла. Фильтр должен удовлетворять требованиям: быть жёстким, обладать высокой проницаемостью воды и низкой для воздуха. Размер отверстий фильтров составляет примерно 100 микрон. В качестве жидкости, заполняющей камеру, наиболее часто используется силиконовое масло. Измерение порового давления осуществляется в двух уровнях - над конусом и над муфтой трения. При этом диапазон измерения составляет - сопротивление конуса до 20 МПа, трение по муфте 1 МПа, поровое давление до 0,7 МПа. Тензодатчики располагаются на уровне фильтров и находятся в прямом контакте с поровой водой, поступающей через фильтр. Чувствительность тензодатчиков  $0,2 \text{ мм}^3$  на весь диапазон давления от 0 до 0,7 МПа

Зондирование производят непрерывным вдавливанием пьезоконуса с поверхности земли на заданную глубину. При этом все элементы пьезоконуса движутся с одинаковой скоростью. Вдавливающее устройство должно обеспечить вертикальность погружения пьезоконуса. Наибольшее допустимое отклонение от вертикали 2%. Скорость погружения пьезоконуса 2 см/с с допускаемым отклонением  $\pm 0,5 \text{ см/с}$ . Эта скорость должна поддерживаться при всём ходе вдавливающего устройства. Отсчёты, принимаемые через сигнальный кабель от пьезоконуса, записываются автоматически на ПЭВМ по всей глубине. До начала работ по зондированию должна быть проверена прямолинейность всех звеньев. Проверка состоит в том, чтобы вращая его, определить наличие отклонения от оси. Систематически следует проверять конус, муфту трения и фильтры на износ.

Погрешность при измерении пьезоконусом -  $\delta$  %, определяется:

$$d \leq (5 + P_{\max} / P_x), \quad (3)$$

где  $P_x$  - значение измеряемой величины;

$P_{\max}$  - максимальное значение измеряемой величины.

Удельное сопротивление грунта под конусом –  $q_3$ , кПа (МПа) – это сопротивление конуса, отнесённое к площади основания конуса -  $A_c$ :

$$q_c = q_3 / A_c, \quad (4)$$

Удельное сопротивление грунта по боковой поверхности пьезоконуса –  $f_c$  – это трение по боковой поверхности, отнесённое к площади боковой поверхности муфты трения -  $A_s$ :

$$f_c = Q_3 / A_s, \quad (5)$$

При статическом зондировании с измерением порового давления проводят дренированные и недренированные испытания.

По результатам статического зондирования с датчиками порового давления в водонасыщенных грунтовых основаниях определяют:

Общее сопротивление грунта под конусом –  $q_T$

$$q_T = q_C + P_w(1-a), \quad (6)$$

где  $P_w$  – измеренное поровое давление (МПа);

$a = 0,6 \div 0,8$  – коэффициент, зависящий от диаметра конуса и муфты трения;

$\beta$  – коэффициент порового давления:

$$\beta = \frac{P_w - u_0}{q_T - \sigma_{np}}, \quad (7)$$

где  $u_0 = \gamma_w \cdot h$  – гидростатическое давление на глубинах (МПа);

$\gamma_w$  – удельный вес воды (кН/м<sup>3</sup>);

$h$  – глубина зондирования (м);

$\sigma_{np}$  – природное давление на различных глубинах (МПа).

По значениям  $\beta$  предварительно определяют вид грунта.

Для определения параметров консолидации строят график зависимости скорости рассеивания порового давления от фактора времени « $U_{(t)} / U_{(o)} - T$ » и по которому определяют коэффициент консолидации в горизонтальном направлении.  $U_t$  – поровое давление в различном промежутке времени.  $U_{(o)}$  – поровое давление в начале отсчёта.

Фактор времени определяется по формуле:

$$T = \frac{C_r t}{(r_0)^2 \sqrt{J_r}}, \quad (8)$$

где  $t$  – время, мин;  $I_r = 80-320$  – показатель жёсткости  $r_0$  – радиус фильтра.

При определении скорости консолидации нет необходимости ждать  $U_{(t)} / U_{(o)} = 1$  до полного рассеивания порового давления и можно ограничиться 50% консолидацией, тогда:

$$C_r = \frac{T_{50} r_0^2}{t_{50}}, \quad (9)$$

Эксперимент заканчивают при степени консолидации порядка 50%, и, зная  $t$ , затраченное на достижение этой степени консолидации, определяют-  $C_r$  приняв  $T$  по справочной Таблице.

Если используется аналитический метод для определения сопротивления сжатию, то недренированное сопротивление сдвигу мелкозернистого грунта для СРТ может быть определено следующим образом:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k} \quad (10)$$

или в случае с СРТУ:

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{k,t}}, \quad (11)$$

где  $q_c$  —сопротивление грунта погружению зонда по СРТ;

$q_t$  —сопротивление грунта погружению зонда по СРТ с учетом давления поровой воды;

$N_k$  —коэффициент, зондирования при проведении СРТ;

$N_{k,t}$  —коэффициент, зондирования при проведении СРТУ;

$\sigma_{v0}$  —суммарное вертикальное напряжение на рассматриваемой глубине.

Результаты статического зондирования следует оформлять в виде графиков изменения по глубине показателей зондирования, полученные при автоматической записи на ПЭВМ (Приложение В, Рисунок В.1.).

### 7.3 Испытания грунта динамическим зондированием

Динамическое зондирование конусом заключается в забивке ударом гидромолота в грунт зонда, представляющего собой колонну штанг, оканчивающихся съёмным коническим наконечником – конусом. Особенность такой методики испытания заключается в том, что диаметр основания конуса больше диаметра штанг. Показателями динамического зондирования является глубина погружения (забивки) зонда от определенного числа ударов (залога) и числа ударов, затрачиваемых на интервал погружения зонда на 10 см.

#### Оборудование

Оборудование состоит из: зонда (штанги с коническим наконечником); гидравлического молота с манометрами; анкерной рамы; измерительных приборов.

Значения условного динамического сопротивления получают при автоматической записи результатов (Приложение Г, Рисунок Г.1).

Условное динамическое сопротивление грунта  $p_d$  в МПа определяют:

$$p_d = AK\Phi_n / h, \quad (12)$$

где  $A$  - удельная энергия зондирования, Н/см, характеристика установки

$K$  - коэффициент учета потерь энергии, зависящий от типа установки и глубины зондирования;

$\Phi$  - коэффициент для учета потерь энергии на трение штанг о грунт, принимаемый:

- при крутящем моменте менее 5 кН×см - 1;

- при крутящем моменте от 5 до 15 кН×см - определяется опытным путем:

$n$  - количество ударов;

$h$ - глубина погружения зонда, см.

#### 7.4 Испытания грунта методом вращательного среза

Испытания распространяются на нескальные грунты. Испытания не распространяются на грунты: пески плотные, гравелистые, водонасыщенные; глины и суглинки твердой консистенции, с крупнообломочными включениями по массе более 15%. Полевые методы испытаний по характеру формирования плоскости сдвига подразделяются:

- сдвиг по заведомо заданной плоскости;
- поверхность сдвига образуется произвольно (плоская или криволинейная).

##### 7.4.1 Метод вращательного среза

Метод вращательного среза определяет сопротивление среза -  $\tau$  в МПа, удельное сцепление -  $C$  в кПа, структурную прочность при срезе-  $P_{стр}$ .

#### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: крыльчатки; штанг; устройств для создания и измерения крутящего момента.

Максимальный -  $M_{\max}$ , установившийся -  $M_{уст}$  и крутящий момент за счет трения штанг  $M_0$  в кН×см определяются:

$$M_{\max} = nN_{\max}, \quad (13)$$

$$M_{уст} = nN_{уст}, \quad (14)$$

$$M_0 = nN_0, \quad (15)$$

где  $n$  - постоянная измерительного устройства, определяемая по формуле, кН;

$N_{\max}$ - максимальное показание измерительного устройства, см;

$N_{уст}$ - установившееся показание измерительного устройства, см;

$N_0$ - показание измерительного устройства, характеризующее трение штанг о грунт при отключенной крыльчатке, см.

Максимальное сопротивление грунта срезу  $\tau_{\max}$  и установившееся сопротивление грунта срезу  $\tau_{уст}$  в МПа вычисляют по формулам:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\max} - M_0}{B} \quad (16)$$

$$\tau_{уст} = \frac{M_{уст} - M_0}{B} \quad (17)$$

где  $B$  - коэффициент крыльчатки, выбираемый по справочнику, см<sup>3</sup>.

Для глинистых грунтов с  $I_L > 1$  в нестабилизированном состоянии определяют по полученным значениям  $\tau_{max}$  удельное сцепление  $C$  в МПа, принимая  $C = \tau_{max}$  и  $\varphi = 0$ .

Показатель структурной прочности грунта при срезе -  $\Pi_{ср}$  определяется формуле:

$$\Pi_{ср} = \frac{\tau_{max}}{\tau_{уст}} \quad (18)$$

Характер пространственной изменчивости сопротивления грунта срезу  $\tau$  в МПа определяют по полученным значениям  $\tau_{max}$ .

#### 7.4.2 Метод кольцевого среза

Метод кольцевого среза определяет прочностные характеристики нескальных грунтов - угла внутреннего трения  $\varphi$  и удельного сцепления  $C$  в МПа.

##### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: рабочий наконечник, состоящий из лопасти; штанги; манометр; устройства для создания и измерения крутящего момента; датчика фиксации деформации и величины среза грунта.

Диаметр среза –  $D$  следует вычислять по формуле:

$$D = D_0 + 2m, \quad (19)$$

где  $D_0$  - диаметр скважины, см;

$m$  - ширина лопасти, см.

Сопротивление грунта срезу -  $\tau$  при каждой ступени нормального давления –  $p$  вычисляется:

$$t = \frac{2M_{max}}{pD^2H} \quad (20)$$

где  $M_{max}$  - максимальный крутящий момент, кН×см;

$D$  - диаметр кольцевой поверхности среза, см;

$H$  - высота распорного штампа, см.

По полученным значениям сопротивления грунта срезу -  $\tau$ , строится кривая  $\tau=f(p)$ . При этом необходимо получить прямую линию, на основании законов математической статистики.

Прочностные характеристики грунта - находят по графику зависимости  $\tau=f(p)$ .

### 7.4.3 Метод поступательного среза

Метод поступательного среза определяет прочностные характеристики - угла внутреннего трения  $\varphi$  и удельного сцепления  $C$  в кПа.

#### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: рабочего наконечника с лопастями; штанги или троса; манометра; насоса для создания и измерения срезающего давления; датчика фиксирования деформации и величины среза грунта.

Сопротивление грунта срезу  $\tau$  в МПа при нормальном давлении  $p$  в МПа вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{0.95Q}{F} \quad (21)$$

где  $Q$  - максимальное сопротивление грунта вертикальному срезу с учетом массы распорного штампа, кН;

$F$  - площадь поверхности среза, см<sup>2</sup>;

0,95 - коэффициент, учитывающий сопротивление грунта лопасти.

### 7.5 Метод испытания грунта штампом

Полевой метод испытания грунта штампом применяется на нескальные грунты и определяет деформационные характеристики - штампового модуля. Штамповый модуль  $E_{\text{ПЛТ}}$  определяют по графику зависимости осадки штампа от давления. Испытания проводят в режимах «нагрузка – разгрузка» на каждом ступенях давления. Штамповые испытания проводятся по методикам, в зависимости от поставленной цели и задачи:

- до условной стабилизации осадки штампа за регламентируемый период времени при фиксированных нагрузках.
- до полной потери несущей способности грунтового основания.

#### Приборы и оборудование

Оборудование для испытания грунта штампом состоит из:

- стандартного штампа имеющего три отверстия, расположенных в трёх точках, зафиксированных под углом  $120^0$  от центра, на которые завинчиваются металлические штыри для закрепления крепёжных деталей;
- гидравлического домкрата до 200 тонн;
- насоса с манометром, с ценой деления 0,025 МПа, присоединяющегося к гидравлическому домкрату удлинительным шлангом;
- удлинительных металлических штанг разных длин от 225 до 1500 мм, используемые при передаче нагрузки на штамп;
- круглой пяты со сферическим сиденьем, служащей для упора штанги к нагрузочной платформе;
- прогибомеров часового типа с точностью 0,01мм, с ходом подвижного штока до 20 см;
- реперной системы состоящей из металлических удлинителей в виде треугольника, закреплённого на поверхности земли с помощью трёх штырей. На

реперную систему устанавливаются ножки штока индикатора, фиксирующие осадку штампа в трёх взаимно диаметральных направлениях;

– нагрузочной платформы или анкерной системы.

Штампы жесткие, с круглой формой и плоской подошвой: I - площадью 2500 и 5000 см<sup>2</sup>; II - с площадью 1000 см<sup>2</sup>; III - с плоской 600 см<sup>2</sup>; IV- винтовой площадью 600 см<sup>2</sup>. При применении винтового штампа проводится контроль за его погружением по отношению глубины погружения штампа -  $\Delta h$  к шагу винтовой лопасти -  $a$ .

Полученный результат находится в пределах

$$0.7 \leq \frac{\Delta h}{a} \leq 1.0 \quad (22)$$

Для вычисления штампового модуля  $E_{PLT}$  получают кривую «осадка – давление» или «осадка – нагрузка»  $S = f(p)$ , (Приложение Д, Рисунок Д.1, Д.2.).

Модуль грунта  $E_{PLT}$ , МПа, определяют по линейному отрезку кривой  $S = f(p)$  :

$$E_{PLT} = (1 - \nu^2) K_p K_i D \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (23)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,27 - для крупнообломочных грунтов, 0,30 - для песков и супесей, 0,35 - для суглинков и 0,42 - для глин;

$K_p$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа  $d/D$ ;

$d$  - глубина расположения штампа относительно поверхности грунта, см;

$D$  - диаметр штампа, см;

$K_i$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от формы штампа;

$\Delta P$  - приращение давления на штамп, МПа, равное  $P_n - P_0$ ;

$\Delta S$  - приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta P$ , см, определяемое на осредняющей прямой.

По результатам кривой зависимости осадки при нагрузке и разгрузке штампа определяют общую осадку –  $S_o$  состоящую из суммы упругих –  $S_y$  и пластических –  $S_n$  осадок:

$$S_o = S_y + S_n, \quad (24)$$

## 7.6 Методы полевых испытаний проницаемости

Проницаемость это свойство грунта пропускать воду при существующем градиента напора. Проницаемость характеризуются коэффициентом проницаемости:

$$C = \frac{Q \times \mu \times \Delta l}{\Delta p \times F} \quad (25)$$

где  $C$  - коэффициент проницаемости, дарси (1 дарси  $1.02 \times 10^{-8}$  см<sup>2</sup>);

$Q$  - расход жидкости, см<sup>3</sup>/с;

$\mu$  - коэффициент динамической вязкости, сП;

$\Delta l$  - путь фильтрации воды, при изменении давления  $\Delta p$ , см;

$\Delta p$  - разница давления, МПа;



$F$  - площадь поперечного сечения, см<sup>2</sup>

Переход от коэффициента проницаемости к коэффициенту фильтрации осуществляется:

$$k = aC \frac{\gamma}{\mu}, \quad (26)$$

где  $k$  - коэффициент фильтрации, см/с или м/сут;

$a$  - переводной коэффициент: при  $k$  в см/с -  $a=1$ , при  $k$  в м/сут -  $a=864$ ;

$\gamma$  - удельный вес воды.

При испытаниях проницаемости методом откачки воды вместо коэффициента фильтрации допускается определять коэффициент водопроводимости ( $T=km$ , где  $m$  - средняя мощность водоносного пласта, м).

### 7.6.1 Метод откачки воды из скважин

При испытаниях применяют схемы:

- кустовой - в сложных гидрогеологических условиях и для ответственных объектов;
- одиночной - в простых гидрогеологических условиях и преимущественно на ранних стадиях исследований.

Продолжительность испытаний должна быть при кустовой схеме - не менее 3 суток (с обязательным проведением откачки воды в условиях квазистационарного режима не менее суток), при одиночной схеме - не менее 0,5 суток.

#### Оборудование

Оборудования состоит из: водоподъемника; вальомеров для измерения расхода воды; пьезометров для измерения уровня воды в скважинах; фильтры; трубы, лотки или устройства для отвода откачиваемой воды.

По результатам испытания получают кривые:

- зависимость уровней воды ( $S$ ) во времени ( $t$ ) во всех скважинах -  $S=f(t)$  и  $S=f(lgt)$ ;
- изменения величин расхода воды ( $Q$ ) во времени в центральной скважине -  $Q=f(t)$ ;
- площадного  $S = f(lgr)$  и комбинированного  $\left[ S = f\left(\lg \frac{t}{r^2}\right) \right]$  изменения уровней

воды при кустовой откачке.

где  $r$  - расстояние между центральной и остальными скважинами.

### 7.6.2 Метод налива воды в шурфы

Испытание методом налива воды в шурфы выполняют в нескальных однородных грунтах. Испытание проводят при постоянном градиенте напора воды.

#### Оборудование

Оборудование состоит из: инфильтрометра; системы подачи воды в инфильтрометр; измерительные инструменты.

Для контроля за ходом налива и обработки результатов испытаний строят кривые:

- график налива с постоянным напором ( $h=const$ )

$$[v = f(t)] \text{ и } [vw = f(w)] \quad (27)$$

где  $v = \frac{Q}{F}$  текущая скорость впитывания воды;

$w$  - суммарный объем впитывающейся воды;

$F$  - площадь инфильтрометра;

величины  $v$  и  $w$  следует принимать на один и тот же момент времени;

$Q$  - расход воды.

- при наливе с постоянным расходом ( $Q = const$ ) с понижением уровня

$$h = f(t) \text{ и } u = f(t), \quad (28)$$

где  $h$  - высота слоя воды в инфильтрометре;

$f(t)$  - скорость подъема или понижения уровня воды в инфильтрометре.

При отклонении кривой  $[vw = f(w)]$  от линейного испытание прекращают.

## 7.7 Методы испытаний грунтов сваями

Метод распространяется на нескальные грунты и устанавливает виды полевых испытаний грунтов сваями: динамической нагрузкой и статическими вдавливающими, выдергивающими или горизонтальными нагрузками. Полевые испытания грунтов сваями проводят для определения типа и длин свай, их несущей способности, способов устройства.

### Оборудование и приборы

Состав оборудования для испытания грунтов сваями состоит из: гидравлических домкратов для нагружения, опорной конструкции для восприятия реактивных сил (система балок или ферм с анкерными сваями или грузовая платформа); устройства для измерения перемещений сваи (реперная система с измерительными приборами - прогибомерами).

### 7.7.1 Испытания грунтов динамической нагрузкой

Испытания грунтов динамической нагрузкой проводят путем забивки свай заводского изготовления и фиксации количества ударов на определенную глубину для определения несущей способности сваи, определяемой по значению отказа.

За отказ сваи принимают среднюю глубину погружения от одного удара молотом или глубину погружения от работы вибропогружателя за 1 мин. Величину отказов измеряют отказомерами. Автоматизированные отказомеры фиксируют остаточную и упругую части отказа.

Результаты испытаний представляют кривой изменения отказов по глубине и зависимости количества ударов от глубины забивки сваи. (Приложение Е, Рисунок Е.1)

### 7.7.2 Испытания грунтов статическими вдавливающими нагрузками

Испытания грунтов забивной свай начинают после ее "отдыха".

При испытаниях набивными (буронабивными) сваями начало испытаний назначают не ранее достижения бетоном свай 80% проектной прочности.

По всем прогибомерам для измерения осадки на каждой ступени нагружения сваи снимают отсчеты: начальный - перед нагружением, и последующие, предусмотренной программой испытания до условной стабилизации осадки свай на каждой ступени нагрузки. После достижения наибольшей нагрузки производят разгрузку свай, с выдержкой не менее 30 мин на фиксированных значениях величин разгрузок.

Результаты испытания грунтов сваями представляют кривыми зависимости осадки, горизонтального и вертикального перемещения от нагрузки и изменений осадки во времени. (Приложение Е, Рисунок Е.2- Е.4).

## 8 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

### 8.1 Определение гранулометрического состава грунтов размерами твердых частиц 70-0,1 мм

Состав твердых грунтов по их размерам принято выделять на отдельные фракции частиц и в целом грунт характеризовать гранулометрическим (зерновым) составом. Гранулометрический (зерновой) состав грунта – одна из главных характеристик, по нему исследуемый грунт получает наименование в соответствии с классификацией и определяет в значительной мере геотехнические свойства грунта. При гранулометрическом анализе грунтов фракции крупнее 70 мм определяют измерительным калибром, фракции от 70 мм до 0,1 мм – ситовым, а от 0,1 мм до 0,001 мм – седиментационными методами.

#### Оборудование

Зерновой состав изображается графической кривой в координатах « размер (диаметр) частиц – процентное их содержание в грунте». Характер и протяженность кривой, наклон ее отдельных участков дают представление о степени разнородности грунта, количественном соотношении между отдельными фракциями. На кривой указываются характерные точки, отвечающие определенным размерам (диаметрам) твердых частиц грунта. Значения соответствующие диаметрам  $d_{10}$  и  $d_{60}$ , менее которых имеют частицы, составляющие 10 и 60% массы всего грунта и называются эффективными диаметрами песчаного грунта. Отношение  $d_{10} / d_{60}$  используется для оценки неоднородности грунта.

Для изучения гранулометрического состава песчаных грунтов используется ситовый метод. Оборудование состоит из: набора сит с квадратными отверстиями размерами от 70 мм до 0,1 мм; весов автоматизированных-электрических, автоматизированного виброционного станка и термо - шкафа для высушивания твердых частиц отобранного грунта.

Содержание в грунте каждой фракции -  $A$  в % определяется по формуле:

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_1} \times 100 \quad (29)$$

где  $g_{\phi}$  - вес отобранной песчанной фракции, гс;

$g_1$  - вес средней отобранной песчанной фракции для просеивания, гс.

По результатам анализа составляют Таблицы, указывая процентное соотношение фракций с размерами, а также график суммарной кривой гранулометрического состава: Кривую гранулометрического состава выполняют в полулогарифмическом масштабе: на оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают диаметры частиц грунта, а на оси ординат в линейном масштабе - суммы процентов частиц. По полученным кривым гранулометрического состава определяют коэффициент неоднородности -  $K = d_{10} / d_{60}$

## 8.2 Определение гранулометрического состава грунтов размерами твердых частиц 0,1-0,001 мм

Гранулометрический состав грунтов размерами частиц 0,1-0,001 мм производят седиментационными методами (ареометрический и метод пипетки). Данный метод заключается в измерении плотности суспензии твердых частиц при «отстое».

### Оборудование

Оборудование состоит из: набора сит с квадратными отверстиями размерами от 70 мм до 0,1 мм; весов автоматизированных-электрических, автоматизированного виброционного станка и термо - шкафа для высушивания твердых частиц отобранного грунта, электрической печи, с различными ареометрами со шкалой 0,995—1,030, химической посуды (экзикатор, колба, воронки, ступки, чашки, стаканы, мерные цилиндры) и реактивов, термометра и секундомера.

Содержание фракций грунта с размерами твердых частиц 10-1 мм определяют по формуле:

$$g_0 = \frac{g}{1 + 0.01W} \quad (30)$$

где  $g_0$  — вес сухой отобранной фракции, гс;

$g_1$  — вес отобранной фракции природной влажности, гс;

$W$  — природная влажность фракции грунта, %

Содержание фракций с размерами твердых частиц грунта 0,5 - 0,1 мм определяют по формуле

$$L = \frac{g_n}{g_0} \times (100 - R), \quad (31)$$

где  $g_n$  — вес фракции, высушенного грунта, гс;

$g_0$  — вес фракции грунта с учетом природной влажности, гс;

$R$  — содержание фракции грунта размером более 1,0 мм, %.

По замерам ареометра определяется содержание твердых частиц грунта по формуле:

$$L_c = \frac{\gamma_c R_n}{\gamma_s - \gamma_w g_0} \times (100 - R), \quad (32)$$

где  $L_c$  — содержание твердых частиц грунта менее данного диаметра, %;

$\gamma_c$  — удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;

$\gamma_w$  — удельный вес воды, равный 10 кН/м<sup>3</sup>;

$g_0$  — вес сухой фракции грунта, гс;

$R_n$  — показания ареометра с поправками.

Обрабатывают результаты анализа, вычерчивая кривую гранулометрического состава грунта в полулогарифмическом масштабе: на оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают диаметры частиц, на оси ординат в линейном масштабе — суммы процентов частиц. По полученной кривой графически определяют процентное содержание фракций: более 2,0-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,1; 0,1-0,05; 0,05-0,01; 0,01-0,005; 0,005-0,001 и менее 0,001 мм. Полученные данные приводят к табличной форме.

### 8.3 Определение влажности грунта

Влажность грунта характеризуется количеством воды, которая удаляется из него вследствие высушивания при температуре 100-105 градусов до его постоянного веса. Природная — влажность в условиях естественного залегания. В зависимости от способа выражения влажности грунта различают весовую, объемную и относительную влажность. Весовая влажность грунта — отношение массы воды, удаленной из образца высушивания его при температуре 100-105 градусов, к массе образца грунта в сухом состоянии. Объемная влажность грунта — отношение объема воды, содержащейся в грунте, к объему всего грунта. Относительная влажность грунта — отношение массы воды в грунте к объему пор. Относительную влажность называют степенью водонасыщения, так как она характеризует степень заполнения пор грунта водой. Величина относительной влажности (степень водонасыщения) изменяется от 0 (сухой грунт) до 1 (полностью водонасыщенный грунт).

Влажность грунта  $w$ , %, вычисляют по формуле

$$w = 100(m_1 - m_0) / (m_0 - m), \quad (33)$$

где  $m$  — масса пустого бюкса, г;

$m_1$  — масса влажного грунта с бюксом, г;

$m_0$  — масса высушенного грунта с бюксом, г.

### 8.4 Определение границы текучести

Пластичность грунта - это способность его изменять свою форму (деформироваться) без разрыва сплошности под воздействием внешних сил и сохранять приданную ему форму после прекращения воздействия внешних сил. Пластичность грунтов обуславливается содержанием в них глинистых частиц. В исследованиях пластичность

грунта выражается двумя показателями – верхним и нижним пределами пластичности, которые определяются лабораторными испытаниями.

Граница текучести (верхний предел пластичности) соответствует его влажности, при которой грунт переходит из пластического состояния в текучее.

### 8.5 Определение границы раскатывания

Граница раскатывания (нижний предел пластичности) грунта соответствует его влажности, при которой грунт переходит из пластического состояния в полутвердое.

Интервал влажности, в пределах которого грунт находится в пластическом состоянии, определяемый как разность между значениями влажности, соответствующими верхнему и нижнему пределам пластичности, называют числом пластичности. По пределам пластичности, число пластичности и природной влажности, судят о природной консистенции грунта.

### 8.6 Определение плотности грунта

Плотность – важный показатель грунта, определяющий геотехнические свойства и структурные особенности расположения слагающих грунтов. Различают плотность грунта естественного залегания и природной влажности и плотность сухого грунта.

#### 8.6.1 Определение плотности грунта методом режущего кольца

Плотность грунта – это отношение массы грунта естественного залегания и природной влажности к его определенному объему.

Плотность грунта  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_0) / V, \quad (34)$$

где  $m_1$  — масса грунта с кольцом, г;

$m_0$  — масса кольца, г;

$V$  — объем кольца, м<sup>3</sup>.

#### 8.6.2 Определение плотности грунта методом гидростатического взвешивания

Плотность грунта  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m p_p p_w}{p_p (m_1 - m_2) - p_w (m_1 - m)}, \quad (35)$$

где  $m$  — масса грунта до парафинирования, кг;

$m_1$  — масса парафинированного грунта, кг;

$m_2$  — разность масс в результате взвешивания в воде (парафинированного) и вытесненной им воды, кг;

$\rho_p$  — плотность парафина.

$\rho_w$  — плотность воды при температуре испытаний.

Метод обратного взвешивания позволяет определить плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m \rho_p \rho_w}{\rho_p (m_4 - m_3) - \rho_w (m_1 - m)}, \quad (36)$$

где  $m$ ,  $\rho_p$ ,  $\rho_w$  — то же, что и в формуле (29);

$m_3$  — масса стаканчика с водой, кг;

$m_4$  — масса стаканчика с водой и погруженным в нее парафинированным образцом, кг.

## 8.7 Определение плотности сухого грунта

Плотность сухого грунта — это отношение массы сухого грунта к его первоначальному объему.

Плотность сухого грунта  $\rho_d$ , кг/м<sup>3</sup>, определяют:

$$\rho_d = \rho / (1 + 0.01w), \quad (37)$$

где  $\rho$  — плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  — влажность грунта, дол. ед..

## 8.8 Определение плотности частиц грунта

### 8.8.1 Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом с дистиллированной водой

Плотность частиц грунта это отношение массы сухого грунта к объему его частиц.

Объем пикнометра  $V_n$ , см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$V_n = (m_2' - m_n) / \rho_w' \quad (38)$$

где  $m_2'$  — масса пикнометра с дистиллированной водой, г;

$m_n$  — масса пикнометра, г;

$\rho_w'$  — плотность дистиллированной воды, кг/м<sup>3</sup>.

Массу пикнометра с дистиллированной водой —  $m_2$ , г, при температуре помещения определяют:

$$m_2 = m_n + \rho_w V_n, \quad (39)$$

где  $\rho_w$  — плотность дистиллированной воды при температуре помещения.

Плотность частиц грунта  $\rho_s$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$\rho_s = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (40)$$

где  $m_0$  – масса сухого грунта, кг;

$m_1$  – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре помещения, кг;

$m_2$  – масса пикнометра с водой при той же температуре, кг.

При исследований грунта с природной влажностью  $m_0$  определяют:

$$m_0 = m / (1 + 1.01w), \quad (41)$$

где  $m$  — масса грунта с природной влажностью, кг;

$w$  — природная влажность грунта, %.

### 8.8.2 Определение плотности частиц засоленных и набухающих грунтов

Плотность частиц грунта ( $\rho_s$ , кг/м<sup>3</sup>) засоленных и набухающих грунтов с большим содержанием коллоидальных частиц (высокоактивных глин) определяют:

$$\rho_s = \rho_{nl} m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (42)$$

где  $m_0$  — масса сухого грунта, кг;

$m_1$  — масса пикнометра с нейтральной жидкостью и грунтом, кг;

$m_2$  — масса пикнометра с нейтральной жидкостью, кг;

$\rho_{nl}$  — плотность нейтральной жидкости при температуре помещения, кг/м<sup>3</sup>.

### 8.9 Определение максимальной плотности при оптимальной влажности грунтов (проктор и компакт тест)

Оптимальной влажностью грунта называется влажность, при которой в условиях стандартного уплотнения (фиксированные вес и высота падения груза) достигается наибольшие значения плотности сухого грунта. Максимальная плотность грунта это наибольшая плотность сухого грунта, достигаемая при оптимальной влажности, при лабораторных исследованиях в условиях стандартного уплотнения. Зависимость плотности сухого грунта от его влажности (Приложение Ж, Рисунок Ж.1), в определенных условиях уплотнения, устанавливается методом стандартного уплотнения, который заключается в последовательном уплотнении в одинаковых условиях проб одного и того же грунта с постоянным увеличением его влажности. Число циклов уплотнения должно быть достаточным для получения кривой стандартного уплотнения от плотности сухого грунта и влажности. Количество отдельных испытаний не менее шести.

### Оборудование

Применяемое оборудование состоит из: автоматизированного прибора с изменяющимися силой энергии уплотнения; весов электрических - автоматизированных; машины растирочной; ступки; термо-шкафа; набора сит; химической посуды (экзикаторы; чашки, цилиндры мерные); измерительные инструменты (линейка; штангенциркуль).



Испытание грунтов осуществляют в автоматическом приборе для стандартного уплотнения грунтов путем послойного трамбования ударами груза.

Исследуемые грунты, фракции которых крупнее 10 мм (X) устанавливают по формуле:

$$x = \frac{m_2(1+0.01W_1)}{m_1(1+0.01W_2)} \times 100, \quad (43)$$

Испытания грунта проводят последовательно с отдельными пробами грунта. Природная влажность является исходной. В последующих уплотнениях влажность увеличивают до 2% для песчаных и до 3 % для глинистых грунтов.

Необходимое количество воды для увеличения влажности грунта определяют:

$$Q = \frac{m_3}{1+0.01W_1} \times 0.01(W_3 - W_1), \quad (44)$$

где  $m_3$  — масса грунта, от предыдущего испытания;

$W_1$  и  $W_3$  — влажности грунта предыдущих и очередных испытаний.

Плотность с природной влажностью с учетом массы контейнера с грунтом ( $m_5$ ) определяют:

$$\rho = \frac{m_5 - m_4}{V}, \quad (45)$$

где  $V=1000 \text{ см}^3$  — объем стандартного цилиндра;

По значениям плотности и влажности уплотненных грунтов находят плотность сухого грунта  $\rho_d$ , ( $\text{кН/м}^3$ ):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+0.01W} \quad (46)$$

В графиках зависимости плотности сухого грунта от его влажности получают седлообразную кривую, пик которой указывают на достигнутую максимальную плотность сухого грунта, при оптимальной влажности -  $W_{\text{опт}}$ .

Грунты удаленные крупнее 10 мм, требуют учета и их влияния на значения максимальной плотности сухого грунта. Поэтому значения пересчитывают на значения  $\rho_{d \text{ макс}}$  и  $W_{\text{онм}}$  для исследуемого грунта:

$$\rho_{d \text{ макс}} = \frac{\gamma P}{p - 0.01 \times (p - \gamma)} \quad (47)$$

$$W'_{\text{онм}} = 0.01W_{\text{онм}}(100 - x), \quad (48)$$

## 8.10 Метод одноплоскостного среза

Испытание грунта методом одноплоскостного среза проводят для определения характеристик прочности нескальных грунтов. Испытания грунтов на сопротивляемость

сдвигу (срезу) базируются на теории прочности Мора. В соответствии с теорией Мора, материал разрушается вследствие достижения предельного соотношения между большим и меньшим главными напряжениями. Полученная линейная зависимость включает параметры: сопротивления грунта срезу -  $\tau$ ; угла внутреннего трения -  $\varphi$ , удельного сцепления -  $c$ . Данная теория предполагает, что разрушение материала происходит в результате сдвига по площадкам, ориентированным по отношению к главным напряжениям. При этом ориентация этих площадок не зависит от напряженного состояния, а определяется параметрами прочностных свойств грунтов. Разрушение наступает в момент, когда величина касательных напряжений на площадках среза достигает предельного значения.

### Оборудование и приборы

Независимо от конструкции сдвиговой прибор включает: срезатель, состоящий из верхней и нижней обоймы, разделенных зазором (до 2,0 мм); системы передачи нормального к площади среза давления; автоматическую систему передачи касательной (сдвиговой) нагрузки. Конструкция прибора должна обеспечивать: приложение касательных напряжений (сдвигающих усилий) строго в плоскости среза; возможность ступенчатого и плавного приложения сдвигающей нагрузки; постоянную скорость деформации сдвига; возможность выполнения сдвига в быстром режиме и оборудованную автоматической записью диаграммы «деформация сдвига – касательное напряжение». Деформация образца под приложенными нормальными напряжениями или его разуплотнения в результате подачи воды или сдвига, а также смещение, вызываемое касательной нагрузкой, устанавливается электрическими индикаторами.

По полученным экспериментальным значениям определяют касательные -  $\tau$  и нормальные напряжения –  $\sigma$  (в МПа):

$$\tau = \frac{Q}{A}, \quad (49)$$

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (50)$$

где  $Q$  и  $F$  касательная и нормальная силы к плоскости сдвига, кН;

$A$  - площадь сдвига, см<sup>2</sup>.

Определение  $\tau$  необходимо проводить в трех различных значениях  $p$ .

По полученным экспериментальным данным деформаций сдвига- $\Delta l$ , касательным напряжениям  $\tau$ , строят график  $\Delta l = f(\tau)$ .

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$  определяют как параметры линейной зависимости

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (51)$$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + \left( \sum W + c_c \right), \quad (52)$$

где  $\sum W$  - удельное сцепление, определяемое по испытанию на повторный срез;  
 $c_c$  - часть общего удельного сцепления  $c$  за вычетом  $\sum W$ .

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$ , МПа, определяют:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (53)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (54)$$

где  $\tau_i$  - значения сопротивления сдвигу, определенные нормальные напряжения-  $\sigma_i$   
 (при  $n \geq 3$ );

$n$  - число испытаний.

Для анализа результатов исследования прочностных характеристик грунтов: угла внутреннего трения-  $\varphi$  и удельного сцепления - $c$  строят график зависимости  $\tau = f(\sigma)$  (Приложение 3, Рисунок 3.1)

### 8.11 Метод одноосного сжатия

Испытание на одноосное сжатия предназначен для оценки прочности скальных, полускальных, а также сопротивления недренированному сдвигу  $c_u$  для водонасыщенных глинистых грунтов.

Расчетное сопротивление скального грунта (одноосное сжатие) —это величина нормальной нагрузки приводящая к полному разрушению, при фиксированных размерах образца. Сопротивление недренированному сдвигу водонасыщенного грунта, имеющего относительную вертикальную деформацию в момент разрушения  $\varepsilon > 0.1$ , определяют с учетом изменения площади сечения.

#### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: автоматизированного гидравлического пресса - для скальных грунтов, прибора одноосного сжатия - для глинистых грунтов; прогибомеров для определения деформации образца.

Расчетное сопротивление -  $R$  МПа, скального грунта и глинистого при  $\varepsilon \leq 0.1$  определяют:

$$R = \frac{F}{A}, \quad (55)$$

где  $F$  - нагрузка соответствующая разрушению, кН;

$A_0$  - площадь сечения образца скального грунта,  $\text{см}^2$ .

Сопротивление недренированному сдвигу  $c_u$ , МПа, водонасыщенного глинистого грунта определяют:

$$c_u = \frac{R}{2} \quad (56)$$

### 8.12 Метод компрессионного сжатия

Показатели сжимаемости (компрессия и консолидация) грунтов устанавливают на основании соответствующих испытаний в одометрах, результаты которых изображают в виде графиков кривых компрессии и консолидации. Компрессионная кривая отображает зависимость деформации образца или его коэффициента пористости от величины прикладываемой нагрузки в условиях компрессионного сжатия без бокового расширения. Консолидационная кривая отражает ход деформации образца во времени при компрессионном сжатии под заданной нагрузкой и при заданных условиях фильтрации отжимаемой из образца воды с измерением порового давления. При консолидационных и компрессионных испытаниях определяют: коэффициент сжимаемости -  $m_0$ ; одометрический модуль -  $E_{oed}$ ; структурную прочность -  $p_{str}$ ; коэффициенты фильтрационной -  $c_v$  и вторичной консолидации -  $c_\alpha$  для нескальных грунтов

#### Оборудование и приборы

Для испытаний на компрессию и консолидацию необходим автоматизированный компрессионный прибор. Одометры компрессионного прибора должны обеспечивать во время испытания отвод воды из образцов грунта вверх и вниз, а также измерение порового давления. При этом размеры рабочего кольца одометра соответствуют отношению диаметра к высоте в пределах от 2 до 6. Для регистрации деформации используются электрические индикаторы. Система устройства передачи нагружения и разгружения автоматизирована. Перед началом испытания проводят градуировку всей системы прибора.

#### Проведение испытания для определения характеристик $m_0$ , $E$ и $p_{str}$

В результате исследования в режимах нагружения и разгрузки получают стандартную компрессионную кривую  $\varepsilon=f(p)$  и по ней определяют: коэффициент сжимаемости -  $m_0$ , одометрические модули -  $E_{oed}$  при нагружении и разгрузке, структурной прочности -  $p_{str}$  ненарушенного образца грунта (Приложение И, Рисунки И.1.), а также величины упругой и остаточной деформации. Значение давления пересекающая кривую давления  $p$ , принимают равной структурной прочности -  $p_{str}$ . (Приложение И, Рисунки И.1.)

- коэффициенты пористости -  $e_i$  при различных давлениях -  $p_i$  определяют:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0), \quad (57)$$

Коэффициент сжимаемости  $m_0$ ,  $\text{МПа}^{-1}$ , в интервалах давлений  $p_i$  и  $p_{i+1}$  определяют:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (58)$$

где  $e_i$  и  $e_{i+1}$  - коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $p_i$  и  $p_{i+1}$ .

Одометрический модуль  $E_{oed}$ , МПа, в интервале давлений  $p_i$  и  $p_{i+1}$  при нагружении образца грунта определяют:

$$E_{oed} = \frac{p_{i+1} - p_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \beta, \quad (59)$$

или

$$E_{oed} = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta, \quad (60)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  - деформации сжатия, при давлениях  $p_i$  и  $p_{i+1}$ ;

$m_0$  - коэффициент сжимаемости, при интервалах давления от  $p_i$  до  $p_{i+1}$ ;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий поперечное расширение грунта и определяется:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \quad (61)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона, принимается по Таблицам или определяются по результатам стабиллометрических испытаний.

По результатам компрессионного сжатия получают параметры компрессии -  $\lambda$  и декомпрессии -  $k$  необходимых для учета упругопластической работы грунтов. При этом кривые строят в полулогарифмических координатах: изменения коэффициента пористости грунта линейно зависят от логарифма изменения внешнего давления. Тогда уравнение компрессионной кривой имеет вид:

для ветви нагружения

$$e_i = e_0 - \lambda \ln \left( \frac{P_i}{P_0} \right), \quad (62)$$

для ветви разгрузки

$$e_i = e_0 - k \ln \left( \frac{P_i}{P_0} \right), \quad (63)$$

где  $e_0$  и  $P_0$  - начальные коэффициент пористости и давления;  $e_i$  и  $P_i$  - коэффициент пористости и давление, соответствующее  $i$ -й ступени нагрузки;  $\lambda$  - коэффициент компрессии;  $k$  - коэффициент декомпрессии.

Коэффициенты компрессии -  $\lambda$  и декомпрессии -  $k$  есть тангенс угла наклона полулогарифмической кривой к оси давлений и численно равен разности коэффициента пористости при  $P_i = e$ , здесь следует учесть при  $P_i = e \ln p_i = 1$ . Данные коэффициенты являются безразмерными и характеризуют сжимаемость грунтов в большом диапазоне давлений.

Для глинистых водонасыщенных грунтов относительное разуплотнение -  $\varepsilon_1$  определяются:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_H}{h} = \frac{e_0(1 - S_r)}{1 + e_0} \quad (64)$$

где  $\Delta h_H$  - изменение высоты образца при разуплотнении, см;

$h$ - начальная высота образца, см;

$e_0$  - начальный коэффициент пористости грунта;

$S_r$  – начальный степень влажности.

### Проведение испытания для определения характеристик консолидации $c_v$ и $c_\alpha$

Испытания на консолидацию проводят аналогично на компрессию. Консолидационные испытания проводятся в полном или сокращенном объеме. При испытаниях в полном объеме получают восемь консолидационных кривых: для четырех нагрузок и двух путей фильтрации, а сокращенных одной(заданной) нагрузок и двух путей фильтрации. Для определения  $c_v$  и  $c_\alpha$  глинистых грунтов с начальной плотностью и влажностью учитывают реальный градиент напора поровой жидкости, а также измерение порового давления. Коэффициент фильтрационной консолидации  $c_v$  и коэффициент вторичной консолидации  $c_\alpha$  определяют в соответствии с программой испытания. (Приложение К, Рисунки К.1-К.3.)

Величина давление -  $p$ , МПа, создающий градиент напора вычисляются:

$$p = I l, \quad (65)$$

где  $I$  - градиент напора, МПа/см;

$l$  - пути фильтрации воды, см.

Коэффициент фильтрационной консолидации  $c_v$ , м<sup>2</sup>/год, вычисляют по формуле

$$C_v = \frac{T_{90} h^2}{t_{90}}, \quad (66)$$

где  $T_{90}$  - коэффициент (фактор времени), соответствующий степени консолидации 0,90, равный 0,848;

$h$ - высота образца (средняя между начальной высотой и высотой после завершения опыта на консолидацию), см.

При двусторонней фильтрации принимается высота, равная  $h/2$ ;  $t_{90}$  - время, мин.

Коэффициент фильтрационной консолидации  $c_v$ , м<sup>2</sup>/год, вычисляют по формуле:

$$C_v = \frac{T_{50} h^2}{t_{50}}, \quad (67)$$

где  $T_{50}$ - коэффициент (фактор времени), соответствующий степени консолидации 0,5, равный 0,197;

$h$ - то же, что и в (66);

$t_{50}$  - время, соответствующее 50%-ному первичному сжатию, мин.

Коэффициент вторичной консолидации (безразмерная величина)  $c_\alpha$  определяют по тангенсу угла между прямой, параллельной оси абсцисс, и прямолинейным отрезком кривой на участке вторичной консолидации (Рисунок К.3) по формуле

$$c_{\alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon(t_2) - \varepsilon(t_1)}{\lg(t_2) - \lg(t_1)}, \quad (68)$$

где  $\varepsilon(t_2)$  и  $\varepsilon(t_1)$  - значения деформации образца на участке вторичной консолидации;  
 $t_1$  и  $t_2$  - время, соответствующее деформациям  $\varepsilon(t_1)$  и  $\varepsilon(t_2)$ , мин.

Коэффициент дофильтрационной консолидации  $c_{\alpha}'$  вычисляют по тангенсу угла наклона касательной к первому участку кривой  $\varepsilon=f(\lg t)$ , окончание которого определяется пересечением касательных к первому и второму участкам кривой по формуле

$$c_{\alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{\lg(t) - \lg(t_0)}, \quad (69)$$

Коэффициент фильтрационной консолидации вычисляют по формуле (К.2), где

$$t_{sc} = \frac{t(\varepsilon_1 - \varepsilon)}{2}, \quad (70)$$

Коэффициент вторичной консолидации вычисляют по формулам:

- для кривой

$$c_{\alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon(t_2) - \varepsilon(t_1)}{\lg(t_2) - \lg(t_1)}, \quad (71)$$

### **Проведение испытания для определения характеристик суффозионной сжимаемости $s_{sf}$ и $p_{sf}$**

По результатам исследования суффозионной сжимаемости получают зависимость деформаций от давления  $\varepsilon=f(p)$ . (Приложение Л, Рисунок Л.1).

Суффозионное сжатие грунта  $\varepsilon_{sf}$  при наличии просадочных деформаций определяют:

$$\varepsilon_{sf} = \frac{\Delta h_{sf}}{h_{ng}} = \frac{h_{sat,p} - h_{sf,p}}{h_{ng}} \quad (72)$$

где  $\Delta h_{sf}$  - суффозионное сжатие грунта (абсолютное суффозионное сжатие), мм;

$h_{sat,p}$  - высота образца, мм;

$h_{sf,p}$  - высота образца грунта после сжатия при постоянной фильтрации воды под давлением, мм.

Суффозионное сжатие грунта  $\varepsilon_{sf}$  при отсутствии просадочных деформаций определяют:

$$\varepsilon_{sf} = \frac{\Delta h_{sf}}{h_{ng}} = \frac{h_p - h_{sf,p}}{h_{ng}} \quad (73)$$

где  $h_p$  - высота образца грунта природной влажности под давлением, мм.

График зависимости относительного суффозионного сжатия  $\varepsilon_{sf}$  от степени выщелачивания солей  $\beta_t$ , д.е., определяемой по формуле

$$\beta_t = \sum_{i=1}^k \bar{X} V_w / D_{sal} m_0 \quad (74)$$

где  $k$  - число определений плотного остатка фильтрации;

$V_w$  - объем воды, профильтровавшей через образец грунта за период последующими определениями плотного остатка, л;

$\bar{X}$  - среднее арифметическое значение последующих определений плотного остатка фильтратов за вычетом плотного остатка фильтрующей жидкости, г/л;

$D_{sal}$  - степень засоленности грунта, д.е.;

$m_0$  - масса сухого образца грунта на начальной стадии, г.

После выщелачивания солей производят корректировку графика  $\varepsilon_{sf} = f(\beta_t)$ , подставляя в формулу (60)  $D_{0,sal}$  вместо значения  $D_{sal}$  и получаем:

$$D_{0,sal} = 1 - \frac{m_f}{m_0} (1 - D_1) \quad (75)$$

где  $m_f$  - масса сухого образца грунта после окончания испытания, г;

$D_1$  - степень засоленности образца грунта после окончания испытания, д.е.

### 8.13 Метод трехосного сжатия

Характерной и наиболее яркой особенностью грунтов является преимущественно пластическое их деформирование практически с момента загрузки. Развитие пластических (остаточных) деформаций, составляющих, как правило, большую часть полных деформаций, обуславливает нелинейную деформацию. При оценке напряжённо-деформированного состояния грунта и закономерностей его изменения играют инварианты, составленные из компонентов тензоров напряжений и деформаций. Применение указанных инвариантов началось с развития исследований грунтов в приборах, позволяющих осуществлять двух- и трёхосное деформирование образцов в условиях сложного напряжённого состояния. Деформационные и прочностные характеристики нескальных грунтов определяются по результатам испытаний, дающих возможность бокового расширения образцов грунта в условиях трёхосного осесимметричного статического нагружения при  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ ,

где  $\sigma_1$  - максимальное главное напряжение;  $\sigma_2, \sigma_3$  - минимальные, они же промежуточные главные напряжения.

#### Оборудование и приборы

При использовании прибора трёхосного сжатия должны быть решены следующие принципиальные вопросы:

- исключены влияния трения штока при передаче осевой нагрузки;
- применение абсолютно герметичной пластиковой камеры;



- кинематическая схема передачи осевой нагрузки с различной скоростью;
- автоматический контроль за системой передачи давления и осевой нагрузкой;
- автоматическое измерение порового давления;
- автоматизированная запись (до миллисекунды) измеряемых давлений (осевое, боковое и поровое) и деформаций (осевой и объёмной).

В приборах трехосного сжатия цилиндрический образец грунта определенных размеров в тонкой резиновой оболочке устанавливается между верхним и нижним поршнями и помещается в герметичную пластиковую закрытую камеру. Поверхности поршней, прилегающих к торцам образца, снабжены пористыми керамическими дисками, служащими дренажём. Нижний поршень крепится к металлической круглой плите, одновременно являющейся основанием прибора. Нижний поршень имеет две, а верхний одну полости, которые соединены с устройствами для насыщения грунта водой и приёма воды, отжимаемой во время испытаний. К другой полости нижнего поршня подсоединён датчик для измерения порового давления и волюмометр для измерения объёма жидкости. При помощи кранов можно закрыть систему для подачи воды в образец грунта. В металлической круглой плите предусмотрено отверстие для установления датчиков контроля давления внутри герметичной пластиковой камеры. Всестороннее давление на образец передаётся при помощи дистиллированной воды и сжатого воздуха. В верхней плите камеры предусмотрены отверстия для подачи сжатого воздуха и обратного давления, поступающего через компрессор с манометром давления, которые в свою очередь контролируются электропневматическим преобразователем. Осевая нагрузка передаётся автоматизированным устройством, снабжённом кинематической и контрольной системой с часовым таймером с различной скоростью нагружения, за которой наблюдает электропневматический контроль.

В исследованиях водонасыщенных грунтов на приборах трёхосного сжатия измеряется начальная высота –  $h$  и диаметр –  $d$  образца, изменение этих размеров  $\Delta h$  и  $\Delta d$ , осевое (вертикальное) –  $\sigma_1$ , всестороннее (горизонтальное) –  $\sigma_2 = \sigma_3$  давления и поровое давление –  $P_w$ .

По результатам исследования и обработки экспериментальных данных получают зависимости:

- изменение объёмной деформации и порового давления во времени при гидростатическом обжатии  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ;
- изменение интенсивности напряжений и порового давления от осевой деформации при девиаторном нагружении  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ;
- изменение объёмной деформации от интенсивности напряжений при девиаторном нагружении  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ;
- зависимость интенсивности напряжений от средних эффективных напряжений;
- изменение порового давления во времени при девиаторном нагружении;
- изменение сдвиговой деформации от интенсивности эффективных напряжений при девиаторном нагружении. (Приложение М, Рисунок М.1-М.6.).

По результатам испытания образца грунта в условиях трехосного сжатия определяют:

- абсолютную вертикальную деформацию образца грунта  $\Delta h$ , мм, с учетом поправки на сжатие камеры;

- относительную вертикальную деформацию образца грунта  $\varepsilon_1$  по формуле

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h} \quad (76)$$

где  $h$ - начальная высота образца, мм;

- абсолютную объемную деформацию образца грунта  $\Delta V$ , см<sup>3</sup> с учетом поправки на расширение камеры;

- относительную объемную деформацию образца грунта  $\varepsilon_V$  по формуле

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V}, \quad (77)$$

где  $V$ - начальный объем образца, см<sup>3</sup>;

- напряжение  $\sigma_1$ , МПа, по формуле

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} + \sigma_3 \left( 1 - \frac{A_c}{A} \right), \quad (78)$$

где  $F$ - вертикальная нагрузка, кН;

$A$  - площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;

$\sigma_3$  - всестороннее давление в камере, МПа;

$A_c$  - площадь поперечного сечения штока, см<sup>2</sup>.

Для любого момента испытаний площадь  $A$  определяют по формулам:

- для недренированного испытания

$$A_i = \frac{A}{1 - \varepsilon_1} \quad (79)$$

- для дренированного испытания

$$A_i = A \frac{1 - \varepsilon_V}{1 - \varepsilon_1} \quad (80)$$

В случае увеличения объема образца  $\varepsilon_V$  - принимают со знаком плюс.

Для оценки напряжённо-деформированного состояния грунтов по результатам испытаний грунтов на приборах трехосного сжатия определяют их инварианты по следующим формулам:

- среднее давление (напряжение)

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_2}{3}, \quad (81)$$

- средняя деформация

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2}{2}, \quad (82)$$

Среднее напряжение и деформация характеризуют всестороннее равномерное (гидростатическое) сжатие и объёмную деформацию образца.

Для оценки степени формоизменения в данной точке образца грунта определяют интенсивность деформаций –  $\varepsilon_i$ :

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3} / \varepsilon_1 - \varepsilon_2 / , \quad (83)$$

и интенсивность деформации сдвига -  $\gamma_i$

$$\gamma_i = \frac{2}{\sqrt{3}} / \varepsilon_1 - \varepsilon_2 / , \quad (84)$$

Для характеристики степени отклонения тензора напряжений от гидростатического ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ) напряжённого состояния определяют:

- интенсивность напряжений -  $\sigma_i$

$$\sigma_i = \sigma_1 - \sigma_2 , \quad (85)$$

и интенсивность касательных напряжений:

$$\tau_i = \frac{\sqrt{3}(\sigma_1 - \sigma_2)}{3} , \quad (86)$$

Так как полная характеристика тензора напряжений и деформаций обеспечивается тремя независимыми инвариантами, в геотехнике в качестве последних приняты параметры *Лоде* вида напряжённого -  $\mu_\sigma$  и деформированного -  $\mu_\varepsilon$  состояний. Параметры *Лоде* показывают относительное положение промежуточного главного напряжения -  $\sigma_2$  или деформации –  $\varepsilon_2$  в интервале между главными напряжениями  $\sigma_1, \sigma_3$  или деформациями  $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ . Параметры *Лоде* при испытании образцов на приборе трёхосного сжатия по схеме гидростатического обжатия и раздавливания принимают:  $\mu_\sigma = -1; \mu_\varepsilon = -1$ .

Для определения характеристик деформируемости по вычисленным значениям получают графики зависимости  $\sigma_1 = f(\sigma_1)$  и  $\varepsilon_V = f(\sigma_1)$ . На графиках принимают линейную аппроксимацию участков диапазонов напряжений. (Приложение М, Рисунок М.1-М.6.).

Модуль упругости  $E$ , МПа, и коэффициент Пуассона- $\nu$  определяют при испытаниях (или этапах испытаний), проведенных при постоянном значении всесторонних напряжений  $\sigma_3(\Delta\sigma_3) = 0$  и вычисляют по формулам:

$$E = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1} \quad (87)$$

$$\nu = -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1} , \quad (88)$$

где  $\Delta\sigma_I$  - приращение напряжений  $\sigma_I$  в заданном диапазоне;

$\Delta\varepsilon_I$  и  $\Delta\varepsilon_3$  - приращение относительных вертикальной и поперечной деформаций образца

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta\varepsilon_V - \Delta\varepsilon_1}{2}, \quad (89)$$

где  $\Delta\varepsilon_V$  - приращение относительной объемной деформации образца.

При этом следует учесть, что коэффициент Пуассона- $\nu$  определяется только при действии вертикального (осевого) напряжения -  $\sigma_I$  и практически изменяется от 0 до +0,5. Коэффициент не может быть более 0,5, что физически невозможно (при гидростатическом обжатии  $\sigma_I = \sigma_2 = \sigma_3$  объём грунта не увеличивается);

$\xi$  - коэффициент бокового давления – это отношение приращения горизонтального давления  $\Delta\sigma_2$  к приращению вертикального давления  $\Delta\sigma_I$  при обязательном отсутствии горизонтальных деформаций ( $\varepsilon_2 = 0$ ):

$$\xi = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1}, \quad (90)$$

В свою очередь коэффициент бокового давления связан с коэффициентом Пуассона- $\nu$ :

$$\xi = \frac{\nu}{1-\nu}, \quad (91)$$

По данным испытаний грунта в условиях трехосного сжатия определяются модуль сдвига  $G$  и модуль объемной деформации  $K$ . (Приложение М, Рисунок М.1-М.6.).

Модуль сдвига:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{\sigma_i}{3\varepsilon_i(\sigma_i; \sigma_{cp}; \mu_\sigma)}, \quad (92)$$

Объёмный модуль:

$$K = \frac{E}{1-2\nu} = \frac{\sigma_{cp}}{\varepsilon_{cp}(\sigma_{cp}; \sigma_i; \mu_\sigma)}, \quad (93)$$

Для определения параметров прочности строятся круги предельных напряжений Мора и их огибающие предельные прямые  $\tau - \sigma$ , Диаметры кругов Мора равны разностям  $\sigma_I - \sigma_2$  предельных главных нормальных напряжений.

Прочностные характеристики, угол внутреннего трения –  $\phi$  и сцепление  $c$  определяем графическим методом:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{\sigma_n - \sigma_{n-1}}, \quad (94)$$

где  $\phi = \arctg \phi$ ;

$\tau_n$  – сопротивление грунта сдвигу, соответствующее нормальному напряжению.

$$c = \tau_n - \sigma_n \operatorname{tg} \phi, \quad (95)$$

Расчётный метод определения  $\phi$  и  $c$  основан на использовании предельных величин  $\sigma_I$  и  $\sigma_2$ , полученных по результатам испытания и связанных между собой зависимостью:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2ctg(45^\circ + \frac{\varphi}{2}), \quad (96)$$

для определения параметров  $\varphi$  и  $c$  выражение (96) представим в виде:

$$\sigma_1 = \sigma_2 a + b, \quad (97)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a &= \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \\ b &= 2ctg(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \end{aligned} \right\}, \quad (98)$$

отсюда

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= 2\arctg \sqrt{a} - 90^\circ \\ c &= \frac{b}{2\sqrt{a}} \end{aligned} \right\}, \quad (99)$$

величины коэффициентов  $a$  и  $b$  определяются из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} a &= \frac{n \sum_1^n \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sum_1^n \sigma_1 \cdot \sum_1^n \sigma_2}{n \sum_1^n \sigma_2^2 - \left( \sum_1^n \sigma_2 \right)^2}, \\ b &= \frac{\sum_1^n \sigma_2^2 \sum_1^n \sigma_1 - \sum_1^n \sigma_3 \cdot \sum_1^n \sigma_1 \cdot \sigma_3}{n \sum_1^n \sigma_2^2 - \left( \sum_1^n \sigma_3 \right)^2}, \end{aligned} \quad (100)$$

Сопротивление недренированному сдвигу -  $c_u$  (кПа), определяют по результатам неконсолидированно-недренированного испытания по формуле

$$c_u = \frac{\sum \sigma_1^p - \sum \sigma_3^p}{2n} \quad (101)$$

где  $\sigma_1^p$  и  $\sigma_3^p$  - значения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  при разрушении образца, МПа;

$n$  - число испытаний.

При измерении давления в порового давления  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  заменяют на  $\sigma_1'$  и  $\sigma_3'$ , , следует принимать по принципу эффективных напряжений Терцаги:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - P_w, \quad (102)$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - P_w, \quad (103)$$

где  $P_w$  - давление в поровой жидкости, МПа.

Для оценки разброса экспериментальных данных и выявления ошибок испытаний перед вычислением  $tg\varphi$  и  $c$  строят график зависимости  $\sigma_1 = f(\sigma_3)$  при разрушении образцов.

Коэффициент порового давления определим из соотношения:

$$\beta = \frac{\Delta p_w}{\Delta \sigma_i}, \quad (104)$$

где  $\Delta \sigma_i$  и  $\Delta p_w$  – приращение напряжений и порового давления.

## 8.14 Методы определения коэффициента фильтрации

Лабораторный метод определения коэффициента фильтрации распространяется на нескальные грунты.

Коэффициент фильтрации является эмпирическим показателем и представляет собой линейное соотношение между скоростью фильтрации и градиентом напора при условии ламинарного характера течения воды, подчиняющегося закону Дарси. При градиенте напора воды равной 1, коэффициент фильтрации будет равен скорости фильтрации воды. Для определения коэффициента фильтрации применяют методы фильтрации при постоянном градиенте напора и при падающем градиенте напора воды. Значение коэффициента фильтрации необходимо для расчета консолидации или развития осадок во времени, а также характеризует степень уплотнения нескальных грунтовых оснований.

### 8.14.1 Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов

#### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: фильтрационного прибора; электронных весов; термометра; секундомера; гидравлического пресса.

Фильтрационный прибор представляет собой трубку, состоящей из полого цилиндра с отверстиями и муфты с сетками; мерной посуды; телескопического прибора для создания градиента напора.

Коэффициент фильтрации -  $K$ , м/сут, определяют:

$$K = \frac{864 \times V}{tATJ}, \quad (105)$$

где  $V$  — объем воды, см<sup>3</sup>;

$t$  — продолжительность фильтрации, с;

$A$  — площадь сечения цилиндра трубки, см<sup>2</sup>,

$J$  — градиент напора;

$T = (0,7 + 0,03 T_\phi)$  — температурная поправка;

$T_\phi$  — температура воды при испытании, °С;

864 — переводной коэффициент (из см/с в м/сут).

### 8.14.2 Определение коэффициента фильтрации глинистых грунтов

#### Оборудование и приборы

Оборудование состоит из: компрессионно-фильтрационного прибора, устройства для создания градиента напора воды; электронных весов; пьезометра, термометра и секундомера.

Для определения коэффициента фильтрации нескольких глинистых грунтов необходим автоматизированный компрессионно-фильтрационный прибор. Одометры прибора должны обеспечивать во время испытания отвод воды из образцов грунта вверх и вниз. При этом размеры рабочего кольца одометра соответствуют отношению диаметра к высоте в пределах от 2 до 6. Для регистрации фильтрации объема воды из грунта используются мерные трубки определенного сечения. Перед началом испытания проводят градуировку всей системы приборов.

Массу грунта при заданном значении плотности сухого грунта ( $p_d$ ), кг/м<sup>3</sup> определяем:

$$m = p_d (1 + \omega) V \quad (106)$$

Коэффициент фильтрации грунта определяется:

$$K_{10} \left[ \varphi \left( \frac{s}{H_0} \right) / t \right] \times \frac{A_n}{A_k} \times \frac{h}{T} \times 864, \quad (107)$$

где  $S$  — изменение воды в пьезометре, см;

$H_0$  — начальный напор, см;

$\varphi \left( \frac{s}{H_0} \right)$  — безразмерный коэффициент, определяемый по Таблице справочника;

$t$  — время падения уровня воды, с;

$A_n$  — площадь сечения пьезометра, см<sup>2</sup>;

$A_k$  — площадь кольца, см<sup>2</sup>;

$h$  — высота образца грунта, см;

$T = (0,7 + 0,03T_\phi)$  — температурная поправка;

$T_\phi$  — температура воды, °C;

864 — переводной коэффициент (из см/с в м/сут).

### 8.15 Определение характеристик просадочности грунтов

Метод определения характеристик просадочности распространяется на несколько глинистых грунты.

## Приборы

Для испытаний просадочных грунтов применяют автоматизированный компрессионный прибор. Одометры компрессионного прибора должны обеспечивать во время испытания отвод воды из образцов грунта вверх и вниз. При этом размеры рабочего кольца одометра соответствуют отношению диаметра к высоте в пределах от 2 до 6. Для регистрации деформации используются электрические индикаторы. Система устройства передачи нагружения и разгружения автоматизирована. Перед началом испытания проводят градуировку всей системы прибора.

По результатам исследований просадочного грунта в компрессионном приборе определяется:

- величина осадки -  $\Delta h_i$  ;
  - величина деформации -  $\Delta \delta_i$  при соответствующих значениях давления  $P_i$
- определяется:

$$\delta_i = \frac{\Delta h_i - r}{h_0}, \quad (108)$$

где  $r$  — поправка на упругую деформацию прибора, мм;

$h_0$  — высота образца грунта равная:

$$h_x - \Delta h_\sigma, \quad (109)$$

где  $h_n$  — начальная высота образца грунта, мм;

$\Delta h_\sigma$  — абсолютное сжатие образца грунта, мм.

По результатам исследования получаем график зависимости  $\delta = f(P)$  с отображением просадочных деформаций (Приложение Н, Рисунок Н.1.)

Относительная просадочность грунта -  $\delta_{np}$ , при заданном давлении  $P_3$  по испытаниям по схеме «одной кривой» определяется как дополнительное относительное сжатие образца грунта в результате замачивания:

$$\delta_{np} = \frac{\Delta h_{np}}{h_0} = \frac{h' - h_{np}}{h_0}, \quad (110)$$

где  $\Delta h_{np}$  — просадка грунта в результате замачивания;

$h'$  — высота образца грунта с природной влажностью при заданном давлении;

$h_{np}$  — высота образца грунта после просадки.

Величины относительной просадочности  $\delta_{np}$  для различных давлений при испытаниях по схеме «двух кривых» надлежит определять как разность значений относительного сжатия образцов в водонасыщенном состоянии  $\delta_e$  и природной влажности  $\delta_e$  или разности ординат соответствующих кривых графика  $\delta=f(P)$ . По значениям  $\delta_{np}$  следует строить график зависимости относительной просадочности от давления  $\delta_{np}=f(P)$ .

Начальное просадочное давление  $P_{np}$  следует определять по графику зависимости относительной просадочности от давления  $\delta_{np}=f(P)$ , (Приложение Н, Рисунок Н.1) принимая за величину  $P_{np}$  то давление, при котором относительная просадочность составляет 0,01.



### 8.16 Определение характеристик набухания и усадки

Набуханием грунта называется увеличение в объеме при взаимодействии с водой и присущее главным образом нескальным – глинистым грунтам.

Усадкой грунта называется уменьшение его объема при высыхании.

Показателями набухания и усадки являются:

- свободное набухание ( $\delta_0$ ) – величина набухания, выражаемой отношением приращения объема грунта при набухании к его первоначальному объему,
- давление набухания ( $p_n$ ) напряжению, развивающемуся в грунте в результате его набухания при увлажнении.;
- влажность грунта после набухания ( $W_n$ ), влажностью грунта, соответствующей максимальной величине набухания;
- набухание под нагрузкой ( $\delta_e$ ) величина давления соответствующая прекращению набухания;
- усадки по высоте ( $\delta_h$ ), диаметру ( $\delta_d$ ), объему ( $\delta_v$ ) – это отношение изменения объема к первоначальному объему грунта;
- влажность на пределе усадки ( $W_y$ ) это величина влажности, с уменьшением которой дальнейшего изменения (уменьшение) его объема не происходит.

#### Приборы

Оборудования для исследования набухания и усадки грунтов состоит из: приборов свободного набухания грунтов, снабженная кольцом с грунтом; верхнего штампа и нижнего поддона с отверстиями для приема воды; индикатора для определения показателей набухания и усадки образца грунта.

На основании результатов испытаний грунта в приборах определяют:

- абсолютную деформацию грунта ( $\Delta h$ ) в мм;
- относительную деформацию грунта ( $\delta$ ) по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta h_i}{h} = \frac{n_i - n_0 - m}{h}, \quad (111)$$

По результатам испытаний получают кривую относительных деформаций от давления  $\delta=f(p)$  (Приложение О, Рисунок О.1.). По полученной кривой определяют величину давления набухания ( $p_n$ ), соответствующий точке пересечения кривой с осью давления ( $p_n$ ).

По результатам испытаний усадки грунта определяют:

- объем грунта:

$$V_i = \frac{\pi d_i^2 h_i}{4} \quad (112)$$

где  $d_i$  – изменяющийся диаметр образца в процессе исследования, см;

$h_i$  - изменяющаяся высота образца в процессе исследования, см;

- влажность грунта:

$$W = \frac{g_i - g}{g}, \quad (113)$$

где  $g_i$  - масса образца грунта, гс;

$g$  - масса образца сухого грунта, гс;

- усадку по высоте, диаметру и объему:

$$\delta_h = \frac{h - h_k}{h}, \quad (114)$$

$$\delta_d = \frac{d - d_k}{d}, \quad (115)$$

$$\delta_v = \frac{V - V_k}{V}, \quad (116)$$

где  $h$ ,  $d$ ,  $V$  и  $h_k$ ,  $d_k$ ,  $V_k$  - начальные и конечные значения высоты, диаметра, см, и объема образца грунта в процессе исследования, см<sup>3</sup>.

По результатам исследования строят кривую изменения объема образца от влажности  $V=f(W)$ . По графику определяют предел усадки и значение влажности, с уменьшением которой прекращается уменьшение объема грунта. Значению влажности на пределе усадки ( $W_y$ ) соответствует влажность, в точке изгиба графика  $V=f(W)$ . (Приложение П, Рисунок П.1.).

**Приложение А**  
(информационное)

**Методы проведения геотехнических исследований**

В Таблице А.1 приводится сравнительная Таблица отечественного и зарубежного оборудования и определяемые характеристики грунтов.

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
1	$C_c$	20276-85; 12248-96	ASTM D2435; ASTM D2850;	Компрессионные, трехосного сжатия, штампы	КПр-1, Ст- А, Б; ГТ 0.1.1; ГТ 0.3.8.	Записи результатов неавтоматизированы
2	$c'$	12248-96	ASTM D3080	Прибор предварительного уплотнения и на срез	Приборы ГПП-29, ПСГ-3М; ГТ 0.2.1.	-
3	$c_{f,v}$			Нет приборов	-	-
4	$c_u$	12248-96	ASTM D3080	Прибор предварительного уплотнения и на срез	Приборы ГПП-29, ПСГ-3М; ГТ 0.2.1.	-
5	$C_s$	24143-80	ASTM D2435	Компрессионные, Прибор свободного набухания	КПр-1, ПНГ; ГТ 0.1.1;	Записи результатов неавтоматизированы
6	$c_v$	12248-96	ASTM D4186; ASTM D2435;	Компрессионные, трехосного сжатия	КПр-1, Ст - А, Б; ГТ 0.1.1; ГТ 0.3.8.	Записи результатов неавтоматизированы
7	$C_\alpha$	12248-96	ASTM D2435; ASTM D2850;	Компрессионные, трехосного сжатия	КПр-1, Ст - А, Б; ГТ 0.1.1; ГТ 0.3.8.	Записи результатов неавтоматизированы

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов (продолжение)**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
8	$D_n$	12536-79	ASTM D854; D427; D4318	Набор сит	15-DO403/A; 15-DO406; 15-DO406/1; 47-DO418/1;	Просеивание производится вручную
9	$E$	12248-96; 20276-85	ASTM D2435	Компрессионные, штампы	КПр-1, 26-ТО302; 26-ТО312; ГТ 0.1.1; Штампы	Записи результатов неавтоматизированы
10	$E'$			Нет приборов	-	-
11	$E_{FDT}$			Нет приборов	-	-
12	$E_M$			Нет приборов	-	-
13	$E_{means}$			Нет приборов	-	-
14	$E_{oed}$	12248-96	ASTM D2435	Компрессионные	КПр-1; ГТ 0.1.1; 26-ТО302; 26-ТО312	
15	$E_{PLT}$	20276-85	BST-1372	Штампы	Штампы 600; 1000; 2500 и 5000 см <sup>2</sup> . пригрузочные устройства, домкраты, прогибомеры, насосы; 35-ТО121-B	Записи результатов неавтоматизированы
16	$E_r$			Нет приборов	-	-
17	$E_{theor}$			Нет приборов	-	-
18	$E_u$			Нет приборов	-	-
19	$E_0$			Нет приборов	-	-
20	$E_{50}$			Нет приборов	-	-
21	$I_A$			Не определяются	-	-

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов (продолжение)**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
22	$I_C$	5180-84	ASTM D854; D427; D4318	Сушильный шкаф, весы	19-DO602/B; 19-DO602/BZ; 11-DO643; 11-DO643/B;	
23	$I_D$	12536-79	ASTM D427; D4318	Весы	11-DO643; 11-DO643/B;	
24	$I_{DMT}$			Нет приборов	-	-
25	$I_L$	5180-84	ASTM D854; D427; D4318	Сушильный шкаф, весы	19-DO602/B; 19-DO602/BZ; 11-DO643; 11-DO643/B;	
26	$I_P$	5180-84	ASTM D854; D427; D4318	Сушильный шкаф, весы	19-DO602/B; 19-DO602/BZ; 11-DO643; 11-DO643/B;	
27	$K_{DMT}$			Нет приборов	-	-
28	$k_s$			Не определяются	-	-
29	$m_v$	12248-96	ASTM D2435	Компрессионные, трехосного сжатия, штампы	КПр-1; ГТ 0.1.1; 26-ТО302; 26-ТО312	Записи результатов неавтоматизированы

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов (продолжение)**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
30	$N$	19912-81	EN ISO 22476-1; 22476-2; 22476-3	Зонд	С-979; УБП-15; SPT-3050; FUGRO	Записи результатов неавтоматизированы
31	$N_k$	20069-81	EN ISO 22476-1; 22476-2; 22476-3	Зонд	С-979; УБП-15; СРТ-1028, FUGRO	Записи результатов неавтоматизированы
32	$N_{k,t}$			Нет приборов	-	-
33	$N_{10L}$			Нет приборов	-	-
34	$N_{10M}$			Нет приборов	-	-
35	$N_{10H}$			Нет приборов	-	-
36	$N_{10SA}$			Не определяются	-	-
37	$N_{10SB}$			Нет приборов	-	-
38	$N_{20SA}$			Нет приборов	-	-
39	$N_{20SB}$			Нет приборов	-	-
40	$N_{60}$			Нет приборов	-	-
41	$(N_1)_{60}$			Нет приборов	-	-
42	$p_{LM}$			Нет приборов	-	-
43	$q_c$	20069-81; 19912-81	EN ISO 22476-1; 22476-2; 22476-3	Зонд	С-979; УБП-15; СРТ-1028;	Записи результатов неавтоматизированы
44	$q_t$			Нет приборов	-	-
45	$q_u$			Нет приборов	-	-

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов (продолжение)**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
46	$w_{opt}$	5180-84	ASTM D854; D427; D4318; DIN 40040; ASTM D698;	Сушильный шкаф, весы	19-DO602/B; 19-DO602/BZ; 11-DO643; 11-DO643/B;	
47	$\alpha$			Эмпирический		
48	$\varphi$	12248-96	ASTM D3080;	Приборы предварительного уплотнения и приборы на срез	Приборы ГПП-29, ПСГ-3М; 33-Т8612; 27-Т0206/А; 27-Т0207	Изготовлены в 80-х годах, Записи результатов неавтоматизированы
49	$\rho_{d,max}$	22733-77	ASTM D698; D1557	Сушильный шкаф, весы, приборы стандартного уплотнения	19-DO602/B; 19-DO602/BZ; 11-DO643; 11-DO643/B;	Записи результатов неавтоматизированы
50	$\sigma_c$	12248-96	ASTM D4543; D2850;	Пресс, индикатор, манометры	50-С36, С46, С56; 30 – WF6208; 30 – WF6209; 30 – WF6210;	Изготовлены в 80-х годах, Записи результатов неавтоматизированы

**Таблица А.1 - Сравнительная Таблица отечественного оборудования и определяемые характеристики грунтов (продолжение)**

№ п/п	Обозначение	ГОСТ	Зарубежные стандарты	Наименование приборов РК	Марка приборов РК и зарубежных	Недостатки Приборов РК
51	$\sigma_T$	12248-96	ASTM D4543; D2850;	Прессы, индикаторы, манометры	50-C36, C46, C56; 30 – WF6208; 30 – WF6209; 30 – WF6210;	Записи не автоматизированы
52	$\nu$	12248-96	ASTM D2850;	Трехосного сжатия	Ст - А,Б; 28-T0401; 28-T0403	Изготовлены в 80-х годах, записи не автоматизированы

В Таблице А.2 приводится перечень полевых и лабораторных испытаний и их результатов, которые должны быть представлены в отчете об инженерно-геологических условиях.

**Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований**

Полевые испытания	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
СРТ	Удельное сопротивление грунта погружению зонда $q_c$ . Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда $f_s$ . Коэффициент трения $R_f$	Статическое зондирование, зонд с измерением $q_c, f_s, R_f$
СРТУ	Скорректированное сопротивление грунта погружению зонда с учетом давления поровой воды $q_t$ . Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда $f_s$ . Измерение порового давления $u$	Нет оборудования для измерения порового давления
Динамическое зондирование	Количество ударов $N_{10}$ для испытаний: DPL, DPM, DPH <sup>2)</sup> . Количество ударов $N_{10}$ (или $N_{20}$ ) для испытаний DPSH	Динамическое зондирование, зонд для отсчета количество ударов



Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований (продолжение)

Полевые испытания	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
SPT	Количество ударов $N$ . Коэффициент энергии $E_r$ . Определение вида грунта	Динамическое зондирование зонд для отсчета количество ударов, $E_r$ и определение видов грунта
Прессиометрические	Модуль Менарда $E_M$ . Давление ползучести $p_f$ . Предельное давление Менарда $p_{LM}$ . Кривая разгрузки	Нет оборудования
Дилатометрические на изгиб	Дилатометрический модуль $E_{FDT}$ . Кривая деформаций	Нет оборудования
Прочие прессиометрические	Кривая разгрузки	Нет оборудования
Зондирование крыльчаткой	Недренированное сопротивление срезу (нескорректированное) $c_{f,v}$ . Недренированное сопротивление срезу (скорректированное переформование образца) $c_{r,v}$ . График «Вращение от приложенного усилия»	Нет оборудования
Статической нагрузкой	Запись изменения во времени сопротивления зондированию. Сопротивление зондированию это: глубина проникновения при стандартной нагрузке; или количество полуоборотов, необходимых для проникновения вглубь на 0,2 м при стандартной нагрузке 1кН	Нет оборудования
Штамповые	Предельное контактное давление по подошве $p_u$	Штамповые испытания, штампы 600; 1000; 2500 и 5000 см <sup>2</sup> . Пригрузочные устройства, домкраты, прогибомеры, насосы для подачи давления.

Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований (продолжение)

Лабораторные испытания	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
Плоским dilatометром	Скорректированное напряжение при растяжении (отрыве) $p_0$ . Скорректированное напряжение при расширении $p_1$ (расширение 1,1 мм). Дилатометрический модуль деформации $E_{DMT}$ , коэффициент материала $I_{DMT}$ и коэффициент для определения горизонтальных напряжений $K_{DMT}$	Нет оборудования
Влажность (нескальный грунт)	Влажность $w$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Плотность грунта (нескальный грунт)	Плотность $\rho$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Плотность частиц грунта (нескальный грунт)	Плотность частиц $\rho_s$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Гранулометрический состав (нескальный грунт)	Кривая гранулометрического состава	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер и набор сит.
Пределы текучести и раскатывания (консистенции) (нескальный грунт)	Предельные значения текучести $w_L$ и раскатывания $w_p$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Коэффициент пористости (нескальный грунт)	$e_{min}$ , $e_{max}$ , $I_D$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Содержание органических веществ (нескальный грунт)	Содержание органических веществ ( $C_{OM}$ )	Химические реактивы, набор сит, электронные весы
Содержание карбонатов (нескальный грунт)	Содержание карбонатов ( $C_{CaCO_3}$ )	Химические реактивы, набор сит, электронные весы

Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований (продолжение)

Лабораторные испытания	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
Содержание сульфатов (нескальный грунт)	Содержание сульфата ( $C_{SO_4}^{2-}$ ) или ( $C_{SO_3}^{2-}$ )	Химические реактивы, набор сит, электронные весы
Содержание хлоридов (нескальный грунт)	Содержание хлоридов ( $C_{Cl}$ )	Химические реактивы, набор сит, электронные весы
рН (нескальный грунт)	рН	Химические реактивы, набор сит, электронные весы
Компрессионная сжимаемость грунта (нескальный грунт)	Компрессионная кривая деформации сжатия (различные варианты). Кривая консолидации (различные варианты). Кривая ползучести (вторичная компрессионная кривая). $E_{oed}$ (в интервале напряжений) и $\sigma_p$ или $C_s$ , $C_c$ , $\sigma_p$ , $C_\alpha$	Компрессионные приборы, индикаторы
Испытания на сдвиг (нескальный грунт)	Недренированное сопротивление сдвигу $c_u$	Приборы предварительного уплотнения и на сдвиг (срез), индикаторы
Падение конуса (нескальный грунт)	Недренированное сопротивление сдвигу $c_u$	Не проводятся
Одноосное сжатие (нескальный грунт)	Напряжение при сжатии $q_u = 2c_u$	Прессы, монометры, индикаторы
Неконсолидированно – недренированный срез (нескальный грунт)	Недренированное сопротивление сдвигу $c_u$	Приборы предварительного уплотнения и на сдвиг (срез), индикаторы

Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований (продолжение)

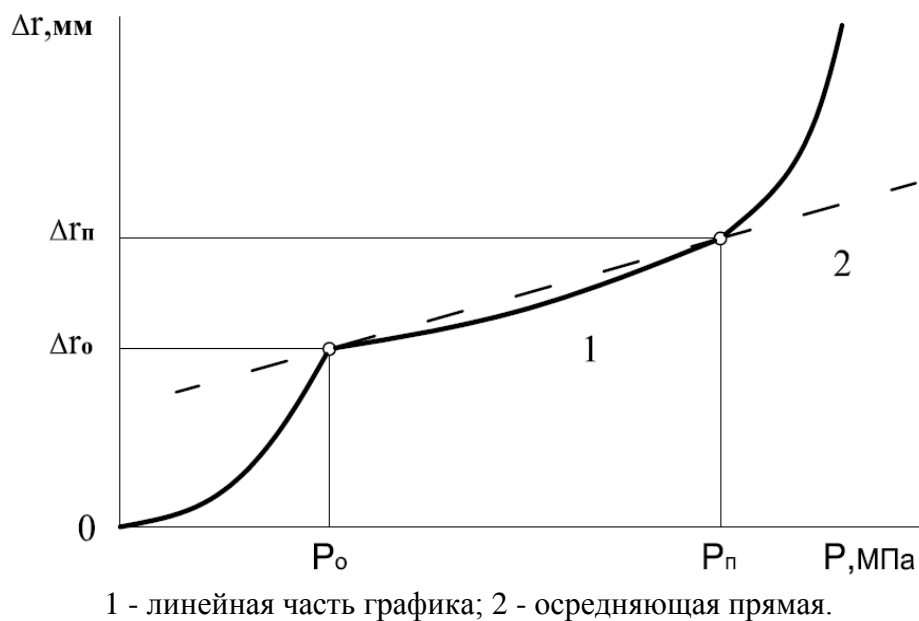
Лабораторные испытания <sup>b)</sup>	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
Консолидированное трехосное сжатие грунта (нескальный грунт)	Кривые напряженно-деформированного состояния и порового давления. Распределение напряжений (линии равных напряжений). Круги Мора. $c'$ , $\varphi'$ или $c_u$ . Изменчивость $c_u$ и $\sigma_c$ . Деформационные характеристики $E'$ и $E_u$	Прибор трехосного сжатия (стабилометры)
Консолидированный прямойсдвиг (нерадиальный) (нескальный грунт)	Кривая зависимости вытеснения грунта от нагрузки. Зависимость $\tau - \sigma$ . $c'$ , $\varphi'$ . Остаточные параметры	Приборы предварительного уплотнения и на сдвиг (срез), индикаторы
Калифорнийский тест на степень плотности грунта (скальный грунт)	Индекс CBR ( $I_{CBR}$ )	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Фильтрация грунта (скальный грунт)	Коэффициент фильтрации $k$ , полученный по результатам: непосредственных лабораторных испытаний; полевых испытаний; одометрических испытаний	Компрессионно-фильтрационный прибор
Содержание воды (скальный грунт)	Влажность $w$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Плотность и пористость (скальный грунт)	Плотность $\rho$ и пористость $n$	Сушильные шкафы, электронные весы, влагомер
Набухание (скальный грунт)	Коэффициент напряжения набухания. Давление набухания. Поверхность набухания. Набухание от постоянной нагрузки	Прибор ПНГ

Таблица А.2 - Методы проведения геотехнических исследований (продолжение)

Лабораторные испытания <sup>b)</sup>	Результаты испытаний	Оборудования применяемые РК
Одноосное сжатие и деформируемость (скальный грунт)	$\sigma_c$ . Модуль упругости Юнга $E$ . Коэффициент Пуассона $\nu$	Прессы, монометры, индикаторы
Испытания сосредоточенной нагрузкой (скальный грунт)	Индекс $I_{50}$	Прессы, монометры, индикаторы
Прямые испытания на сдвиг (скальный грунт)	Кривая зависимости вытеснения грунта от нагрузки. Круги Мора. $c'$ , $\phi'$ . Остаточные параметры	Не проводятся
Исследования по бразильскому методу (скальный грунт)	Сопротивление растяжению $\sigma_T$	Не проводятся
Трехосное сжатие грунта (скальный грунт)	Кривая распределения напряжений. Распределение напряжений (линии равных напряжений). Круги Мора. $c'$ , $\phi'$ . Модуль упругости Юнга $E$ и коэффициент Пуассона $\nu$	Не проводятся

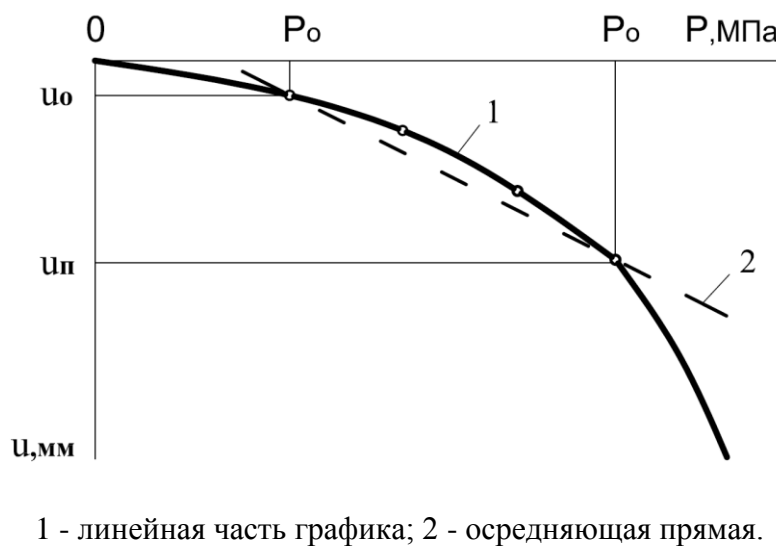
**Приложение Б**  
(информационное)  
**Образцы графического оформления результатов испытания грунта  
прессиометром**

Радиальный прессиометр- график  $\Delta r = f(P)$



**Рисунок Б.1**

Лопастный прессиометр - график  $u = f(P)$



**Рисунок Б.2**

## Приложение В (информационное)

### Образец графического оформления результатов статического зондирования

Скважина №8

Диаметр скважины D=168мм Способ бурения: ударно-канатный

Абс.отм. устья 99,62мм

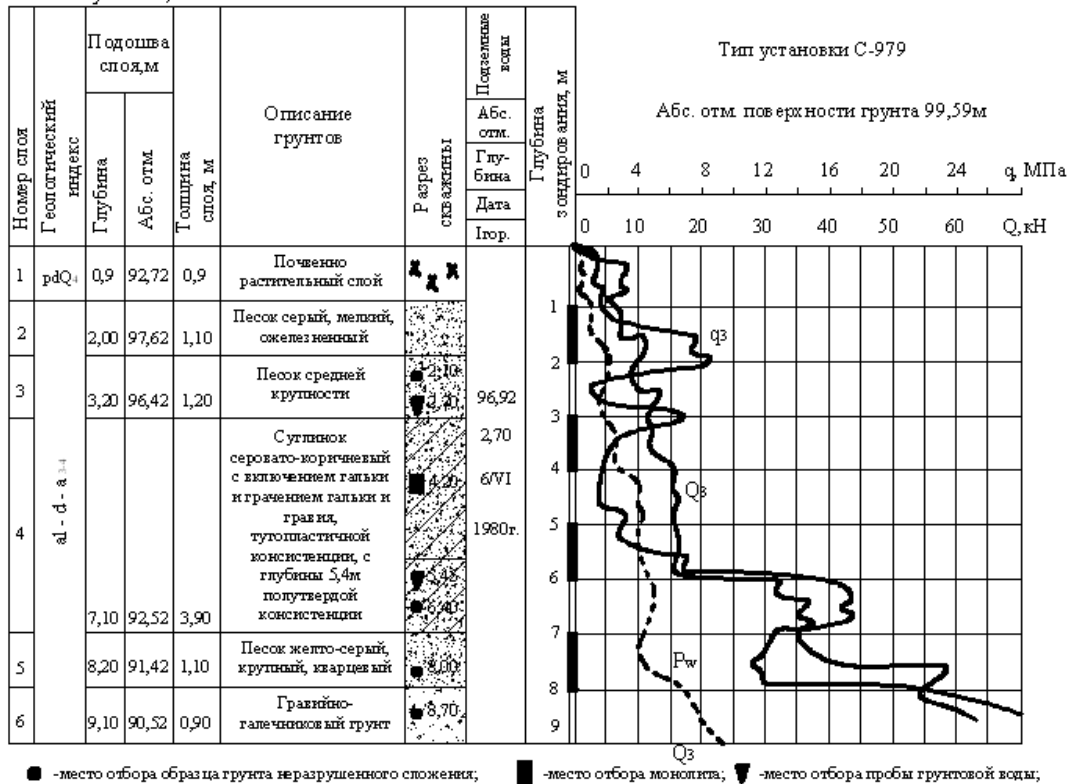


Рисунок В.1

### Определение одометрического модуля по удельному сопротивлению грунта погружению зонда

Здесь приводится пример определения одометрического модуля  $E_{od}$ , зависящего от вертикального напряжения, который часто рекомендуется для расчета осадки фундамента и определяется следующий образом:

$$E_{od} = w_1 p_a \cdot \left( \frac{\sigma'_{vo} + 0.5 \Delta \sigma'_v}{p_a} \right), \quad (B.1)$$

где  $w_1$  — коэффициент жесткости;  $w_2$  — показатель жесткости:

$w_2 = 0,5$  — для песков с коэффициентом однородности  $C_U \leq 3$ ;

$w_2 = 0,6$  — для тугопластичных глин ( $I_P \leq 10$ ;  $w_L \leq 35$ );

$\sigma'_{vo}$  — эффективные вертикальные напряжения в основании фундамента или на любой глубине под ним, вызванные перегрузкой грунта покровными пластами грунта;

$\Delta \sigma'_v$  — эффективные вертикальные напряжения в основании фундамента или на любой глубине под ним;

$p_a$  — атмосферное давление;

$I_P$  — показатель пластичности грунта;

$w_L$  — предел текучести грунта.

Значения коэффициента жесткости  $w_1$  можно определить по удельному сопротивлению грунта погружению зонда, используя следующие формулы в зависимости от типа грунта:

— пески с неоднородным гранулометрическим составом ( $C_U \leq 3$ ) над уровнем грунтовых вод:

$$w_1 = 167 \lg q_c + 113 \text{ (для диапазона: } 5 \leq q_c \leq 30 \text{);}$$

— пески с однородным гранулометрическим составом ( $C_U > 6$ ) над уровнем грунтовых вод:

$$w_1 = 463 \lg q_c - 13 \text{ (для диапазона: } 5 \leq q_c \leq 30 \text{);}$$

— тугопластичные глины с консистенцией не менее ( $0,75 \leq I_C \leq 1,30$ ) и над уровнем грунтовых вод, где  $I_C$  — показатель консистенции:

$$w_1 = 15,2 q_c + 50 \text{ (для диапазона: } 0,6 \leq q_c \leq 3,5 \text{).}$$



## Приложение Г (информационное)

### Образец графического оформления результатов динамического зондирования

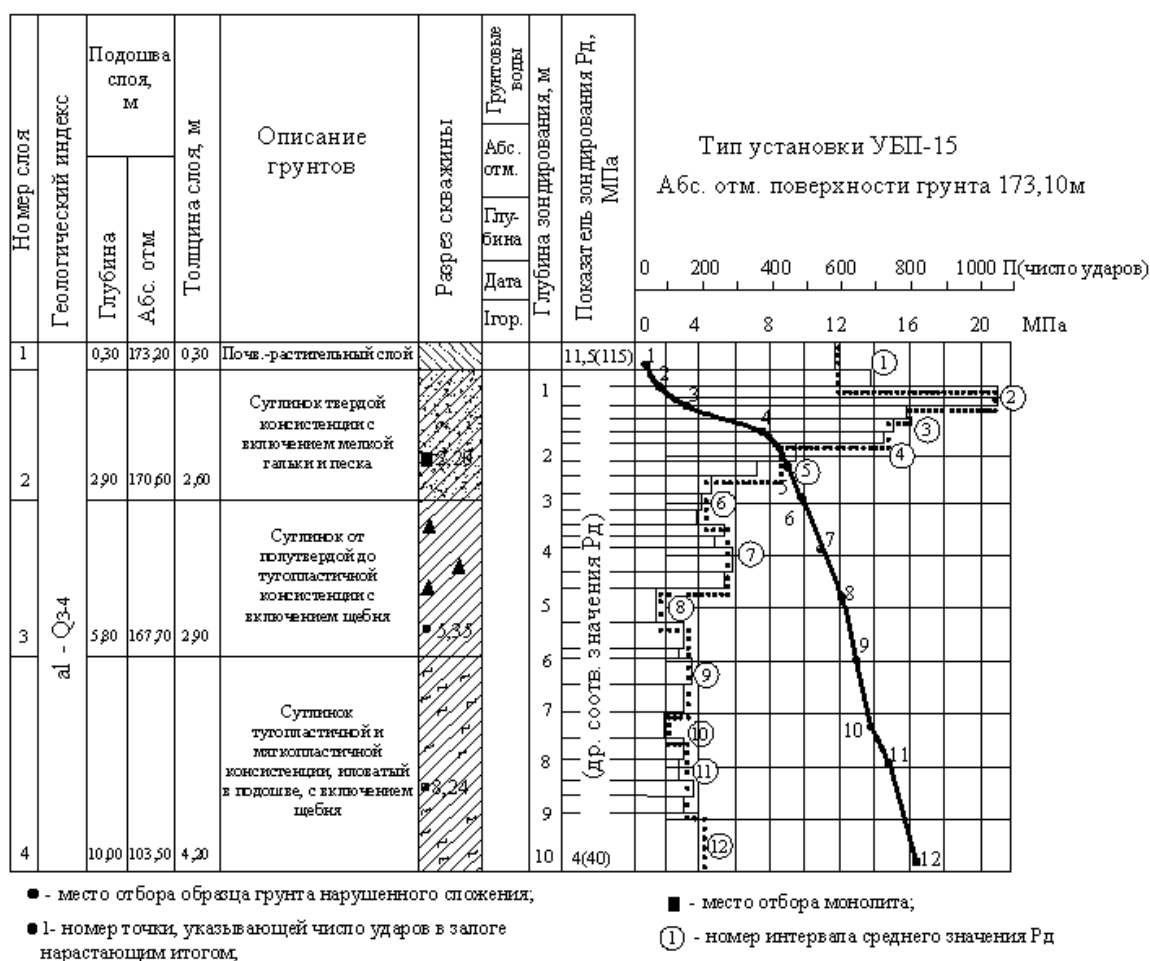
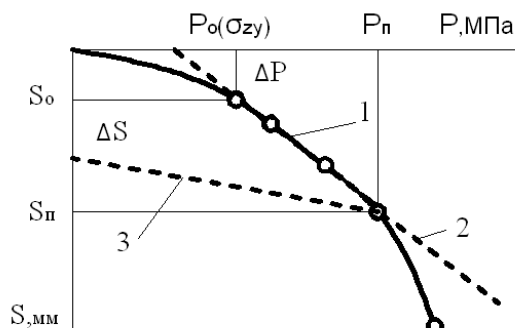


Рисунок Г.1

**Приложение Д**  
(информационное)

**Образец графического оформления результатов испытания грунта штампом**

График  $S = f(P)$

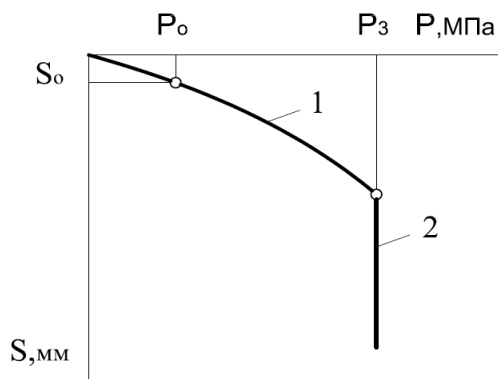


1- линейная часть графика (нагрузка); 2- осредняющая прямая; 3- график разгрузки

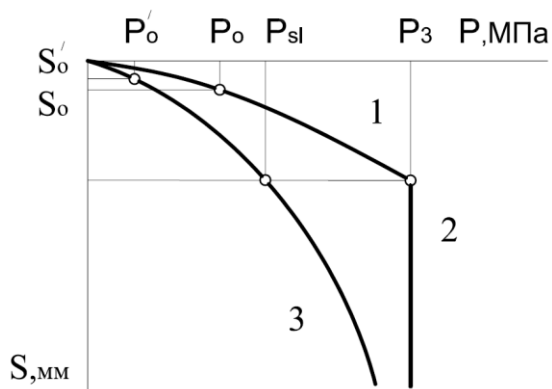
**Рисунок Д.1**

График  $S = f(P)$  испытания штампом просадочного грунта с замачиванием.

**По схеме «одной кривой»**



**По схеме «двух кривых»**



1- осадка; 2 - просадка при заданном давлении; 3 - осадка после замачивания.

**Рисунок Д.2**

**Приложение Е**  
(информационное)

**Образцы графического оформления результатов полевого испытания грунта сваями**  
**Образец графического оформления результатов полевого испытания грунтов**  
**сваями динамической нагрузкой**

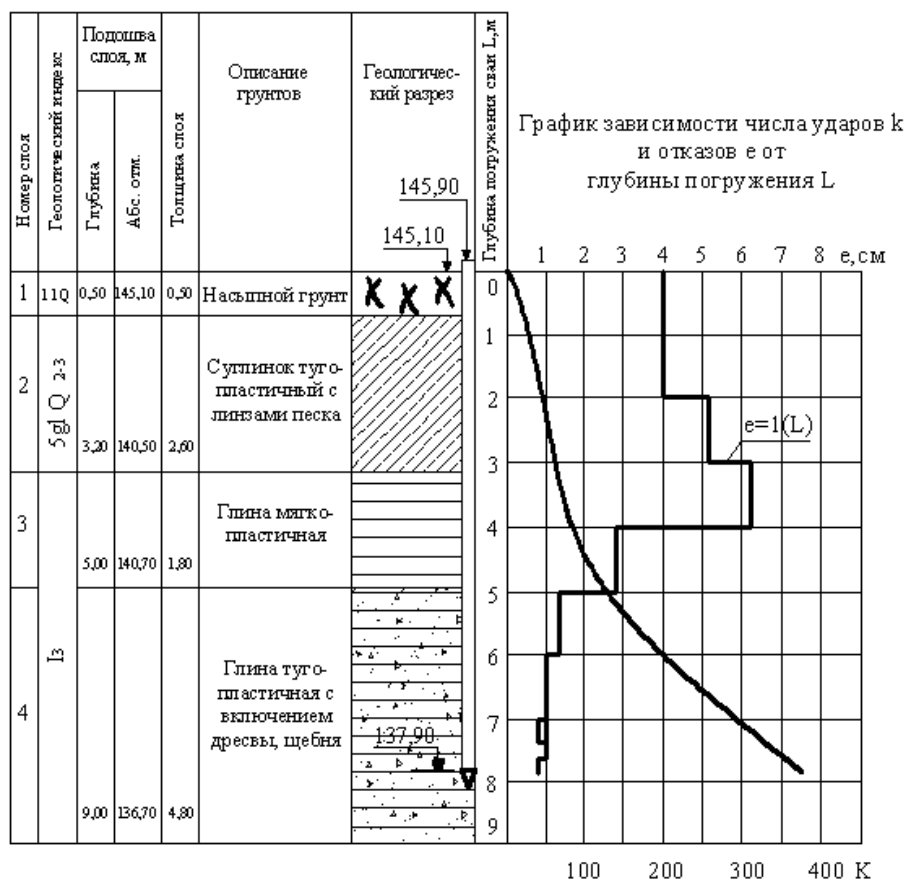
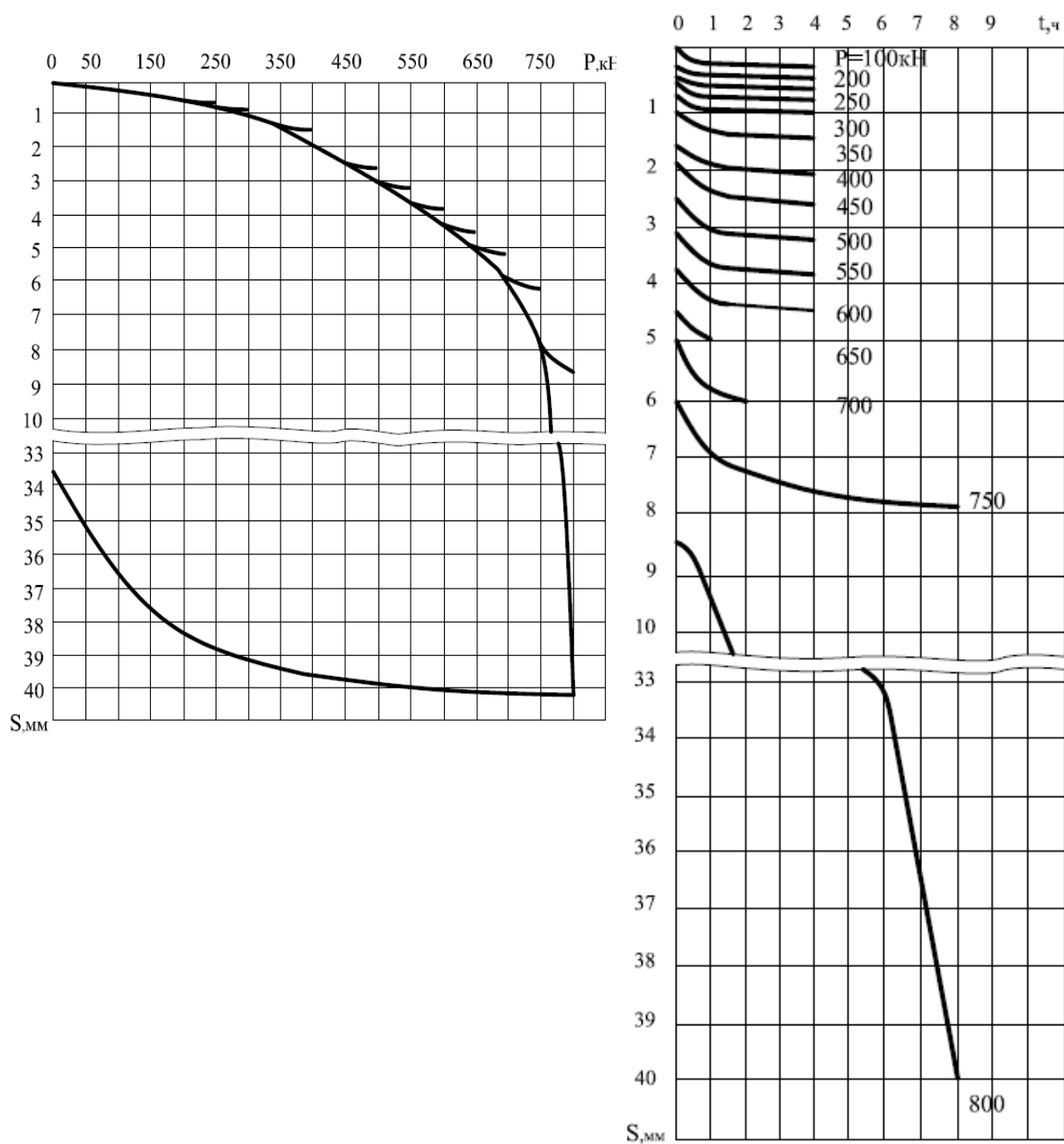


Рисунок Е.1

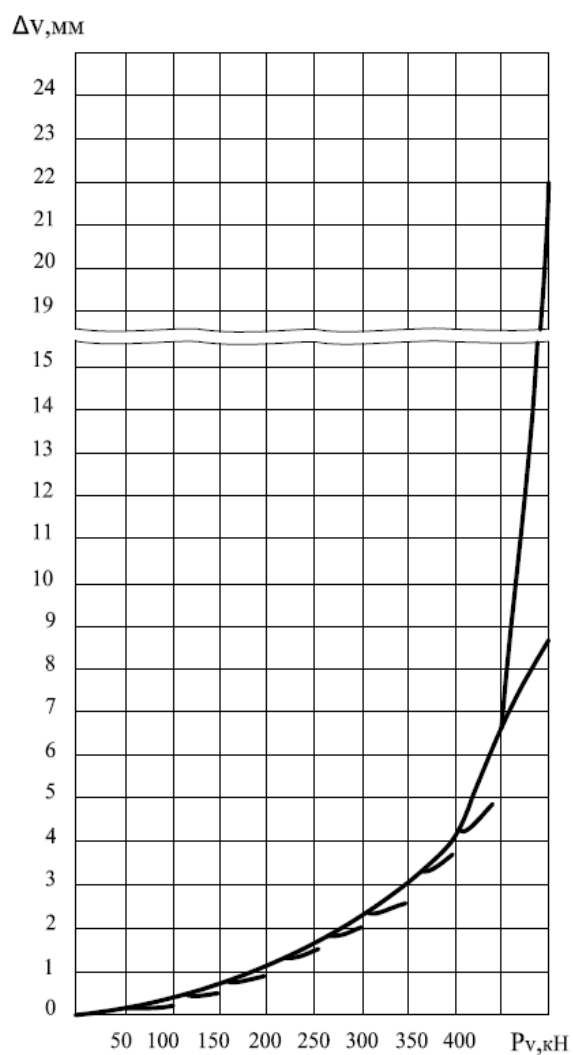
**Образец графического оформления результатов полевого испытания грунтов  
сваями статической вдавливающей нагрузкой**



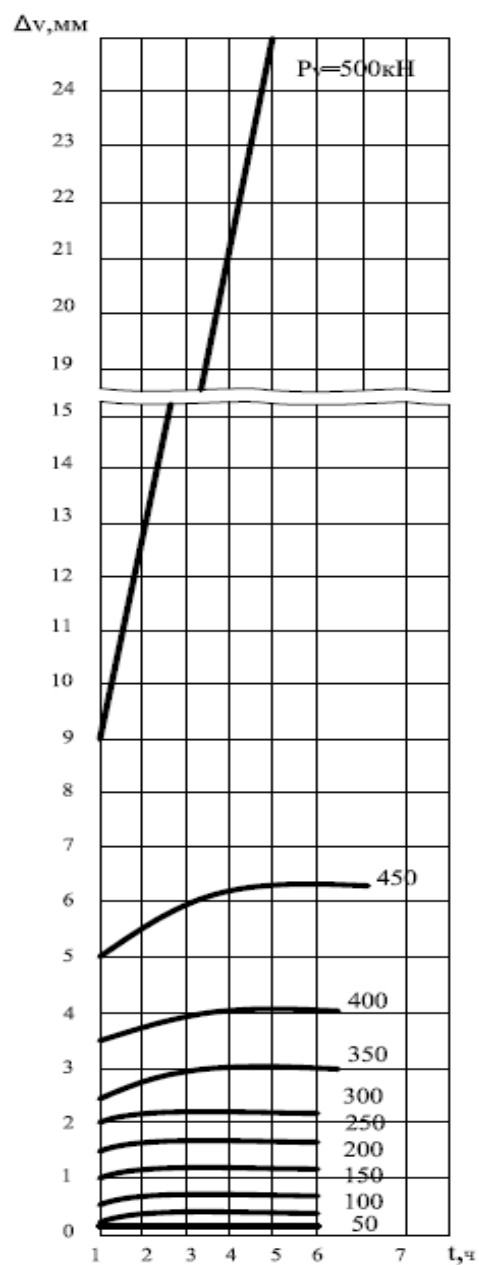
**Рисунок Е.2**

**Образец графического оформления результатов полевого испытания грунтов  
сваями статической выдергивающей нагрузкой**

**График зависимости выхода сваи из грунта  
 $\Delta v$  от нагрузки  $P_v$**



**График изменения выхода сваи из  
грунта  $\Delta$  во времени  $t$   
(по ступеням нагружения)**



**Рисунок Е.3**

Образец графического оформления результатов полевого испытания грунтов  
сваями статической горизонтальной нагрузкой

График зависимости горизонтального перемещения сваи  $\Delta_n$  от нагрузки  $P_n$

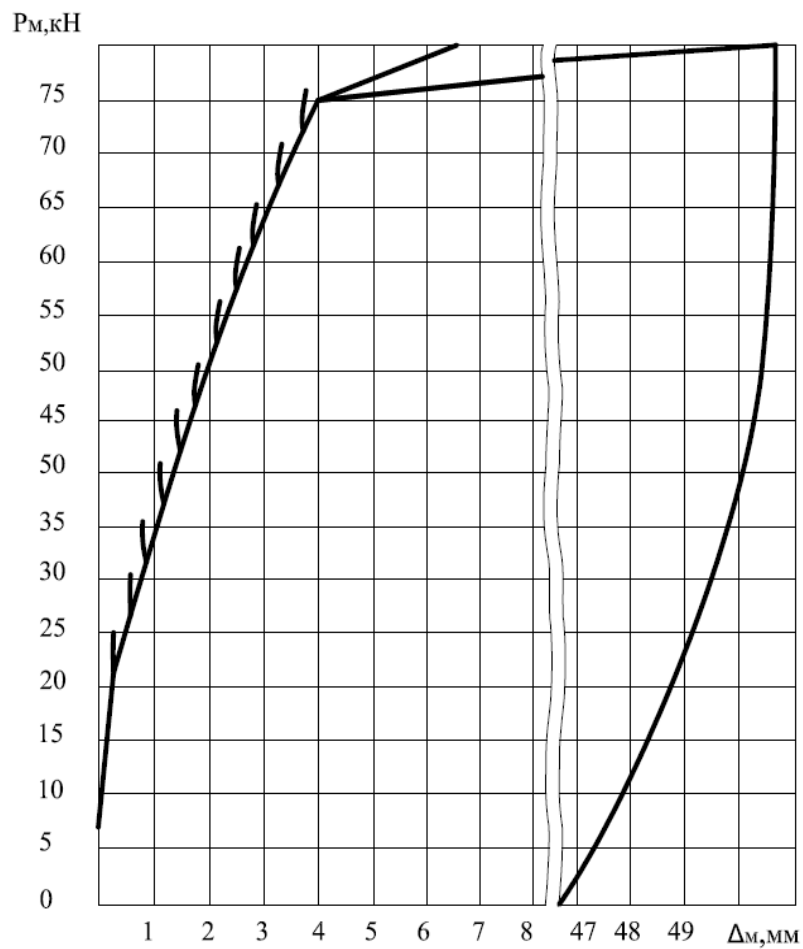
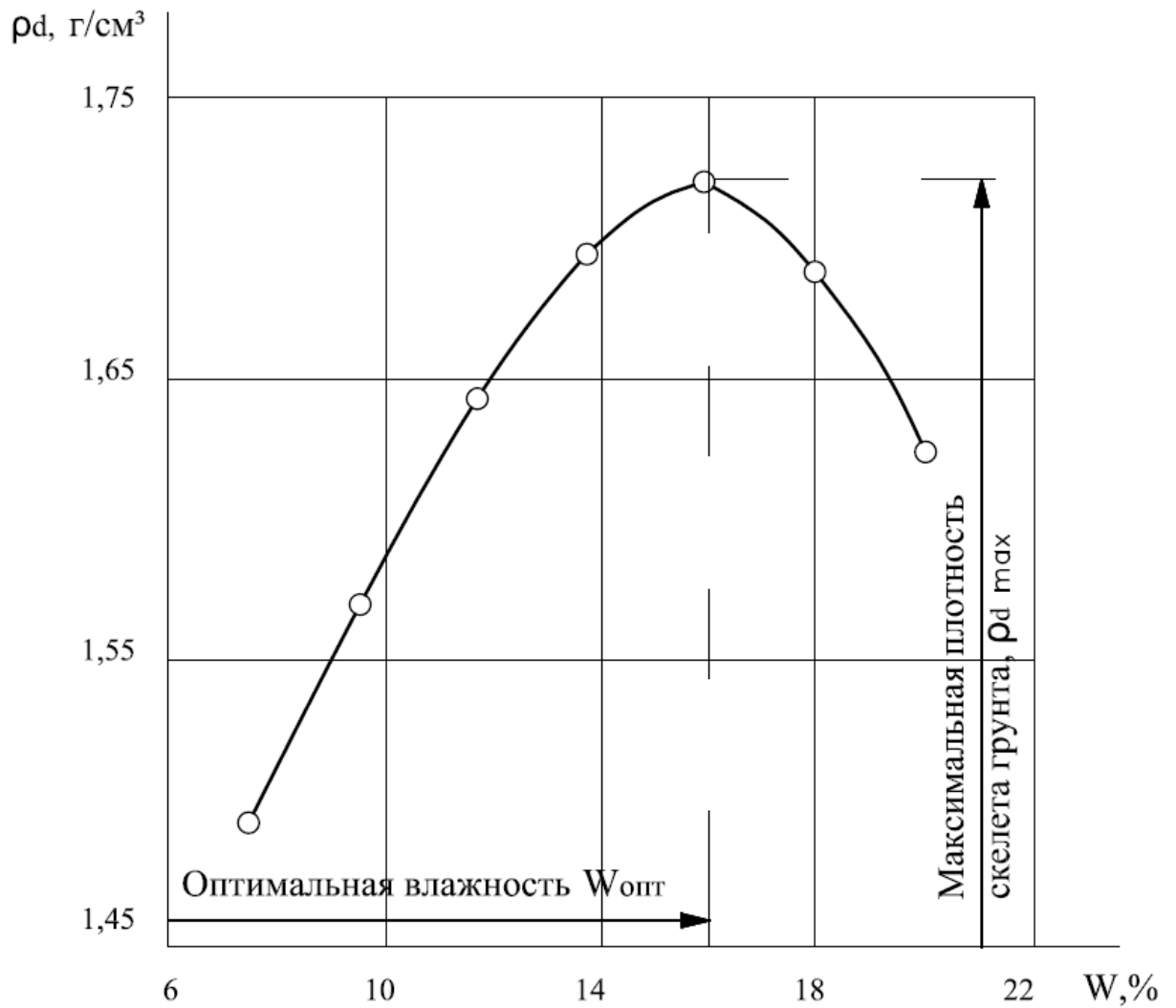


Рисунок Е.4

**Приложение Ж**  
(информационное)

**Пример построения графика зависимости плотности скелета грунта от влажности при стандартном уплотнении**



**Рисунок Ж.1**

**Приложение 3**  
(информационное)

**Образец графического оформления результатов испытания грунта методом  
одноплоскостного среза**

График  $\Delta l = f(\tau)$

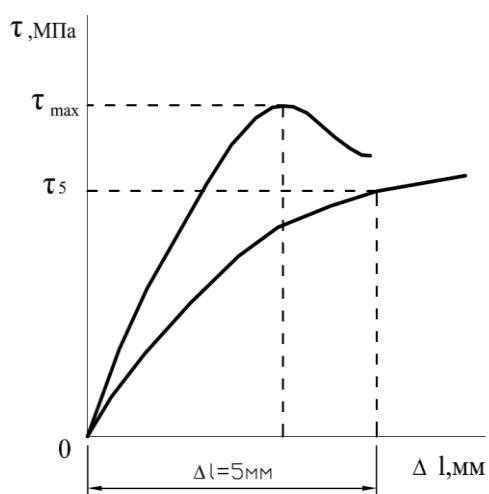
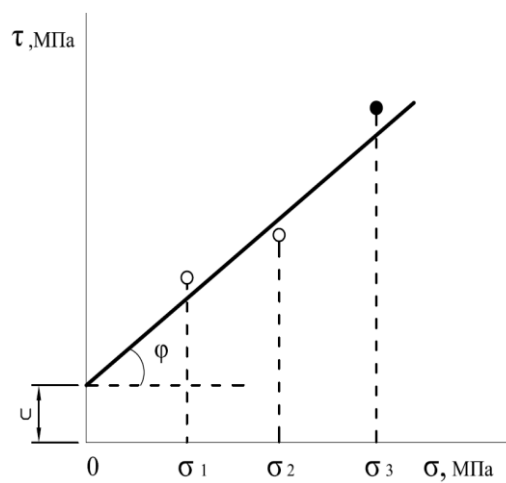


График  $\Delta l = f(\sigma)$



**Рисунок 3.1**



**Приложение И**  
(информационное)

**Образец графического оформления результатов испытания грунта методом  
компрессионного сжатия**

Графики  $\varepsilon=f(P)$

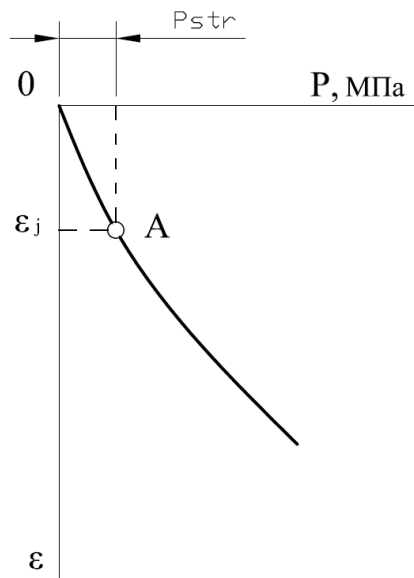


График - Относительное сжатие  
грунта в зависимости  
от давления  $p$

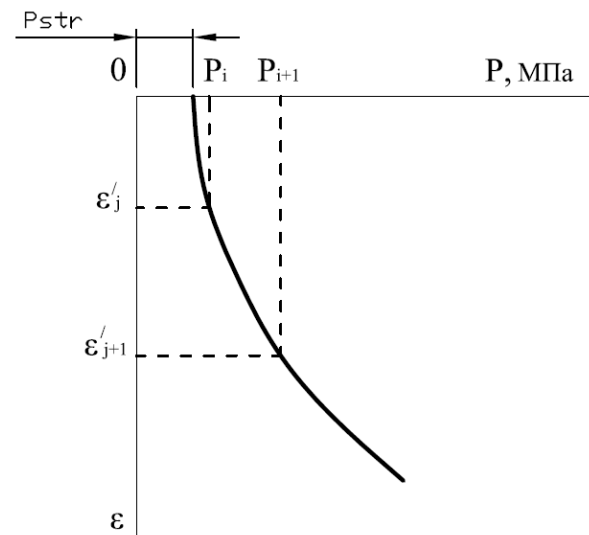


График - Относительное сжатие  
глинистого грунта при частичном  
разуплотнении в зависимости от  
давления  $p$

$A$ - точка графика, принимаемая по ординате, равной  $\varepsilon=\Delta h_n/h$ ;

$p_{str}$  - структурная прочность при испытании грунта в компрессионном приборе

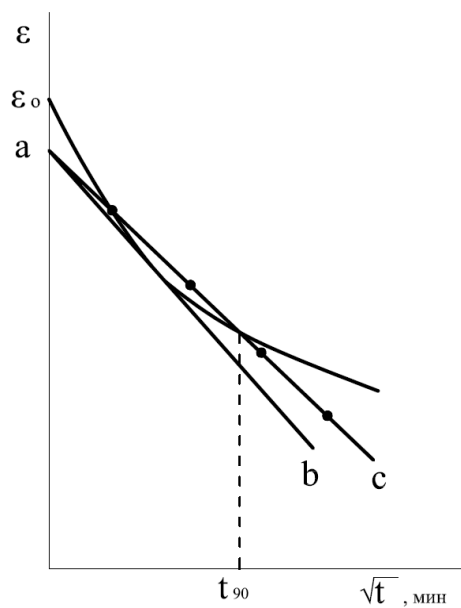
**Рисунок И.1**

**Приложение К**  
(информационное)

**Графики определение коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации**

**Графики кривых консолидации грунта**

График обработки кривой консолидации методом корень квадратный из времени



$t_{90}$  - время, соответствующее степени консолидации грунта 0,90

**Рисунок К.1**

### График обработки кривой консолидации логарифмическим методом

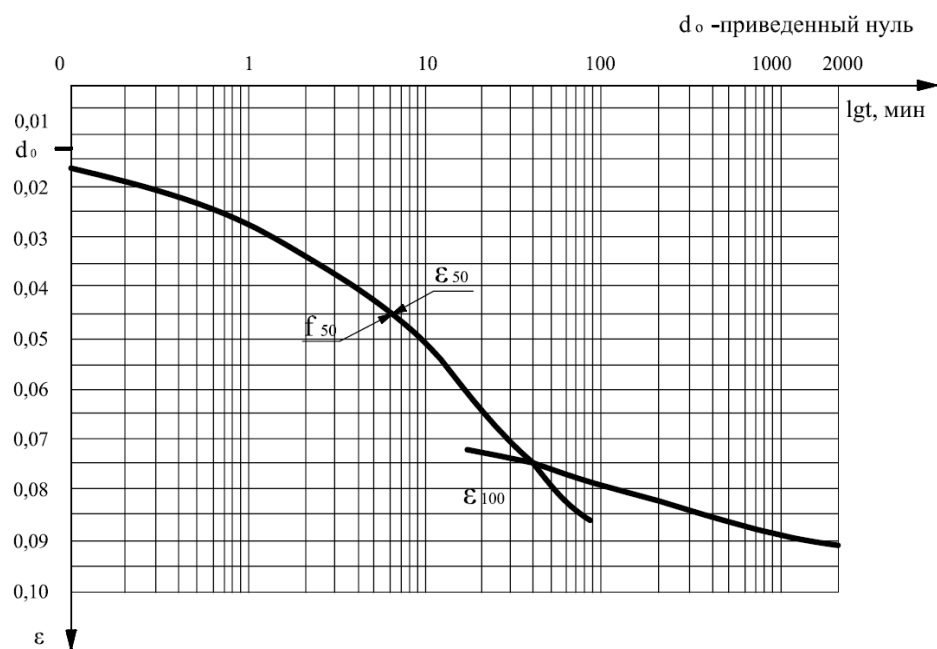


Рисунок К.2

### График зависимости относительной деформации от логарифма времени ( $lgt$ ). для определения вторичной консолидации

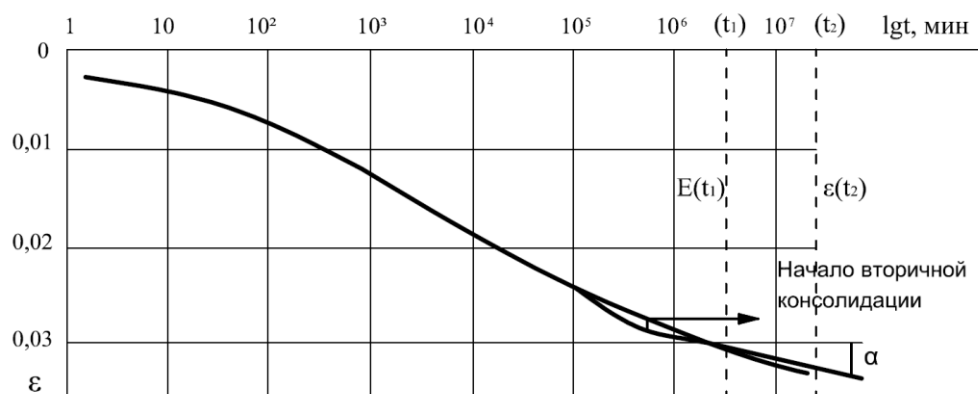


Рисунок К.3

**Приложение Л**  
(информационное)

**Образец графического оформления результатов испытания засоленного грунта при сжатии в компрессионно-фильтрационном приборе**

График  $\varepsilon=f(P)$ .  
(по схеме «одной кривой»)

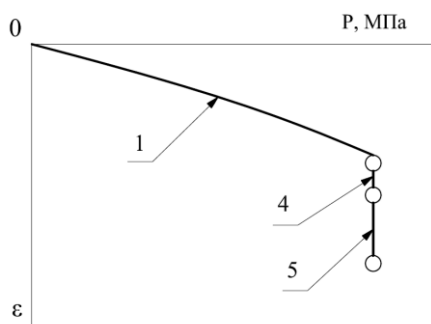
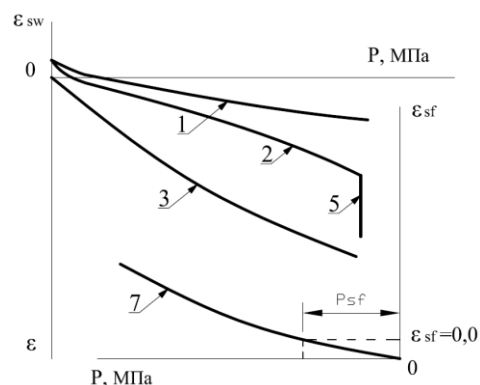
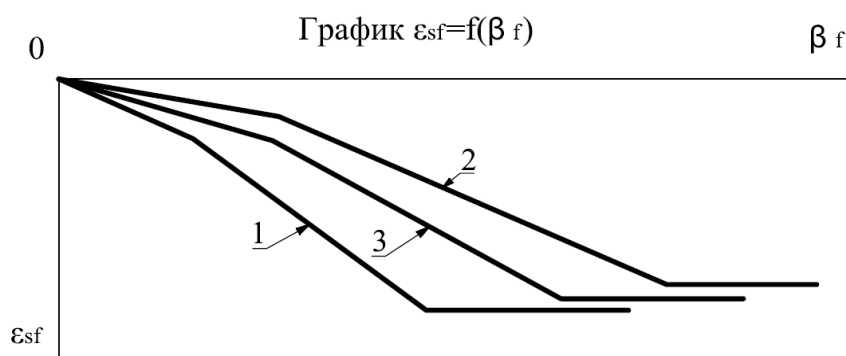


График  $\varepsilon=f(P)$   
(по схеме «трех кривых»)



1, 2, 3 - относительное сжатие  $\varepsilon$  грунта соответственно: природной влажности, в водонасыщенном состоянии и выщелоченного без нагрузки в зависимости от давления; 4 - относительное сжатие грунта в результате замачивания (относительная просадочность) при заданном давлении  $p$ ; 5 - относительное суффозионное сжатие грунта при фильтрации воды и заданном давлении  $p$ ; 6 - деформация грунта при набухании  $\varepsilon_{sf}$ ; 7 - зависимость относительного суффозионного сжатия  $\varepsilon_{sf}$  от давления ( $p_{sf}$  - начальное давление суффозионного сжатия).



1 - зависимость относительного суффозионного сжатия от степени выщелачивания солей, получаемая в процессе проведения испытания при  $D>D_0$ ; 2 - то же, при  $D<D_0$ ; 3 - откорректированная зависимость

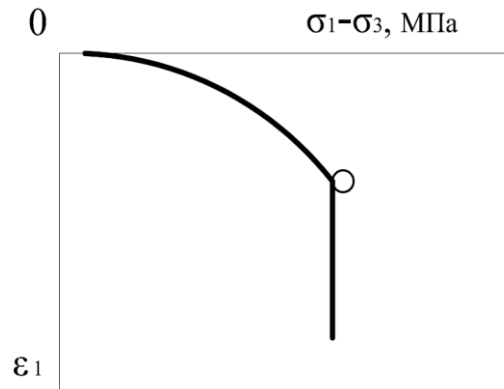
**Рисунок Л.1**

**Приложение М**  
(информационное)

**Образец графического оформления результатов испытания грунта методом  
трехосного сжатия**

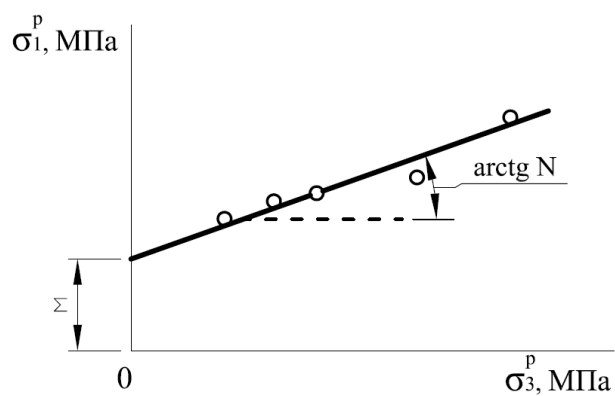
**1. При определении характеристик прочности**

**График  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1 - \sigma_3)$ .**



**Рисунок М.1**

**График  $\sigma_{p1} = f(\sigma_3^p)$**



**Рисунок М.2**

## 2. При определении характеристик деформируемости

Графики  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$

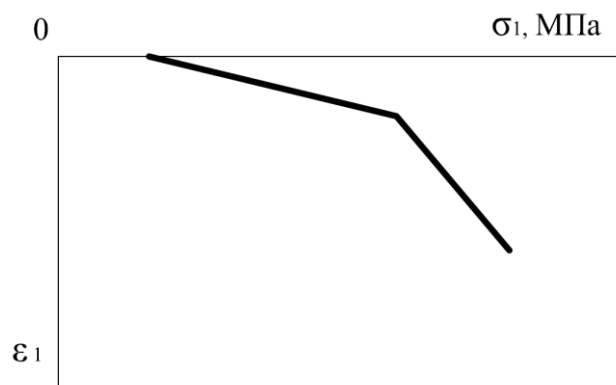


Рисунок М.3

Графики  $\varepsilon_v = f(\sigma_1)$

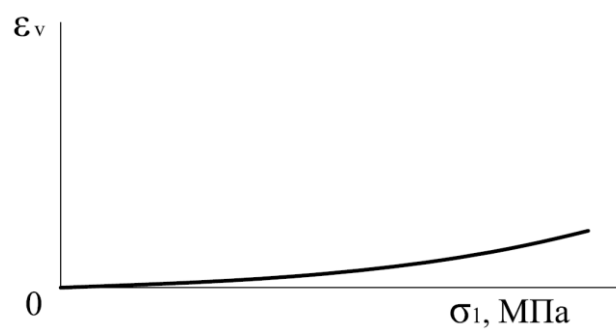


Рисунок М.4

### Определение модуля сдвига $G$ и модуля объемной деформации $K$

1. По результатам консолидированно-дренированного и консолидированно-недренированного (с измерением давления в поровой жидкости) испытаний образцов исследуемого грунта в условиях трехосного сжатия при различных значениях постоянного всестороннего давления в камере составляют графический "паспорт" зависимостей

$$\sigma_i = f(\sigma'), \sigma_i^p = f(\sigma'), \varepsilon_v = f(\sigma'), e_i = f(\sigma_i),$$

где  $\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{3}}(\sigma_1 - \sigma_3)$  - интенсивность касательных напряжений;

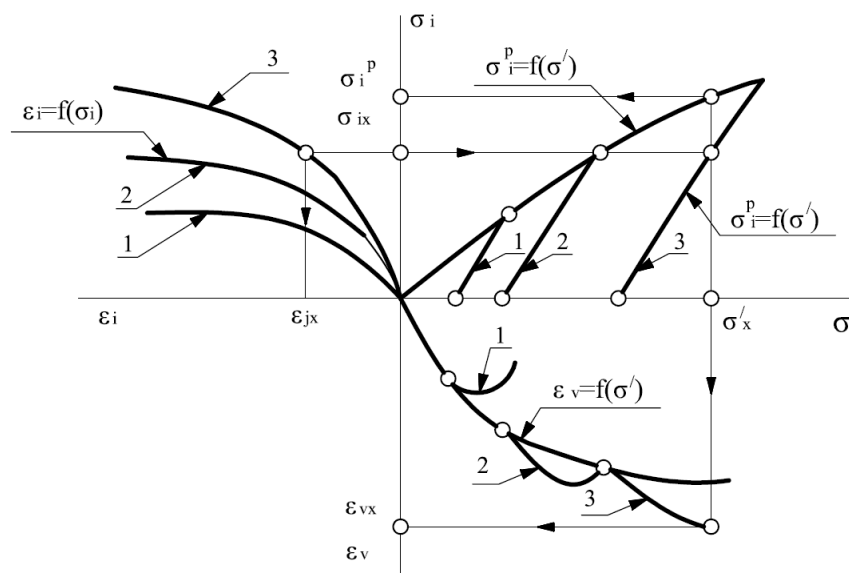
$e_i = \frac{2}{\sqrt{3}}(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)$  - интенсивность деформации сдвига;

$\sigma' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$  - среднее эффективное напряжение;

$e_v = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3$  - объемная деформация.

### Графический "паспорт" обработки результатов испытания грунта методом трехосного сжатия

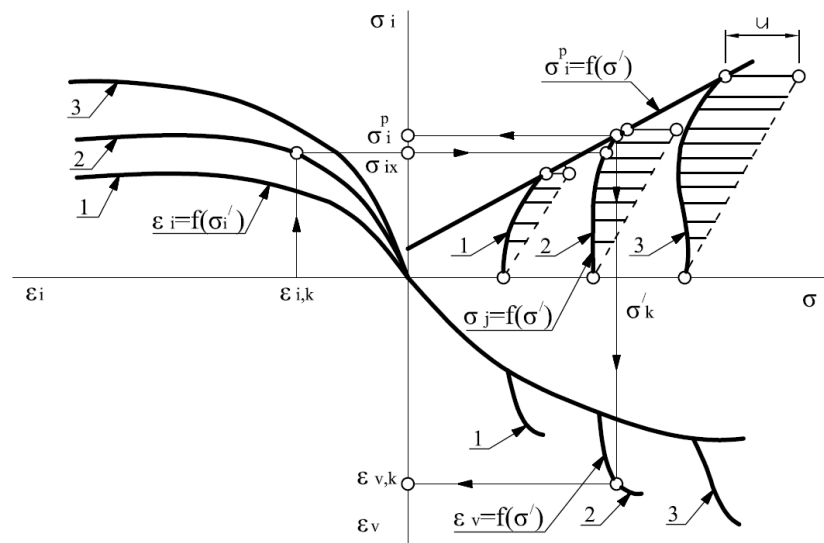
а) Для консолидированно-дренированного испытания



1, 2, 3 ..... - номера испытаний

Рисунок М.5

## б) Для консолидированно-недренированного испытания



1, 2, 3 - номера испытаний

Рисунок М.6

2. Частные значения модуля сдвига  $G_k$  и модуля объемной деформации  $K_k$  соответствующие различным значениям  $e_i$ , вычисляются по формулам:

$$G_k = \frac{\sigma_{i,k}}{l_{i,k}}, \quad (\text{М.1})$$

$$K_k = \frac{\sigma_k}{\varepsilon_{v,k}}, \quad (\text{М.2})$$

где  $\sigma_{i,k}, \sigma_k, \varepsilon_{v,k}$  - по "паспорту испытаний".

3. Зависимость модуля сдвига  $G$  от  $e_i$  и  $\sigma$  аппроксимируется выражением

$$G = \frac{\sigma_i^p(\sigma)}{a + b e_i}, \quad (\text{М.3})$$

где

$$\sigma_i^p(\sigma) = C_1 + \sigma + \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (\text{М.4})$$

здесь  $C_1$  и  $\varphi_1$  - параметры графика  $\sigma_3^p = f(\sigma)$  в случае линейной зависимости;

$a$  и  $b$  - постоянные коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов из выражения

$$\frac{\sigma_i^p(\sigma)}{G} = a + b e_i, \quad (\text{М.5})$$

4. Зависимость модуля объемной деформации  $K$  от  $e_i$  и  $\sigma$  аппроксимируется выражением

$$K = a + t \sigma, \quad (\text{М.6})$$

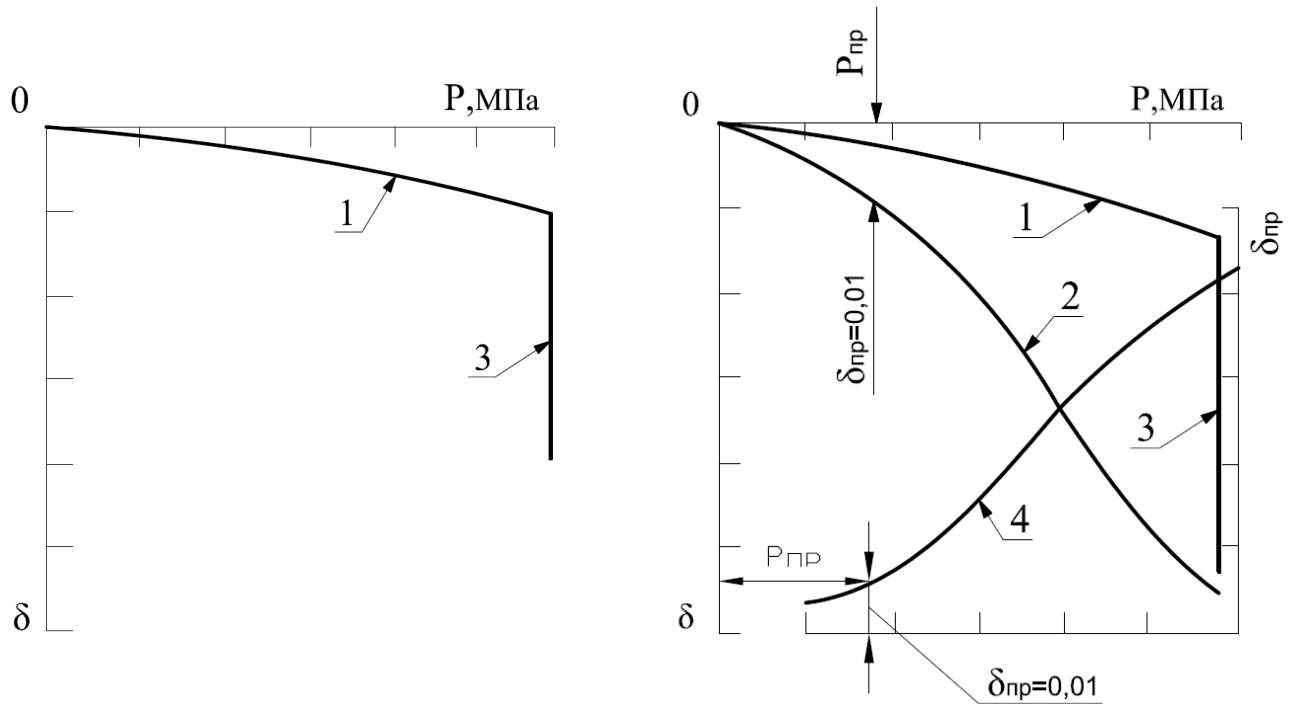
где параметры  $d$  и  $f$  определяют по графику зависимости частных значений  $K_k$  от  $\sigma$  для различных значений  $e_i$



**Приложение Н**  
(информационное)

**Графики испытания просадочного грунта в компрессионном приборе**

**По схеме «одной кривой»    По схеме «двух кривых»**



1, 2 - относительное сжатие  $\delta$  грунта с природной влажностью и в водонасыщенном состоянии в зависимости от давления;

3 - дополнительное относительное сжатие грунта в результате замачивания (относительная просадочность) при заданном давлении; 4 - зависимость относительной просадочности  $\delta_{пр}$  от давления;

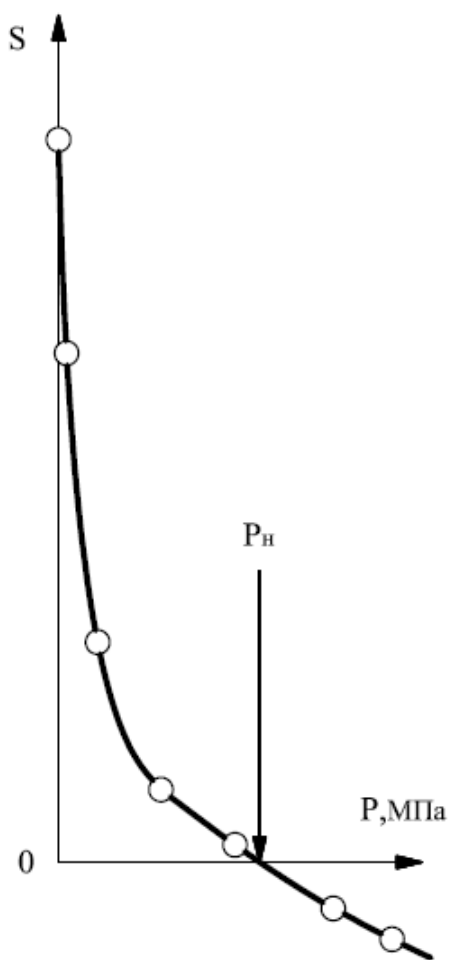
$P_{пр}$  - начальное просадочное давление

**Рисунок Н.1**

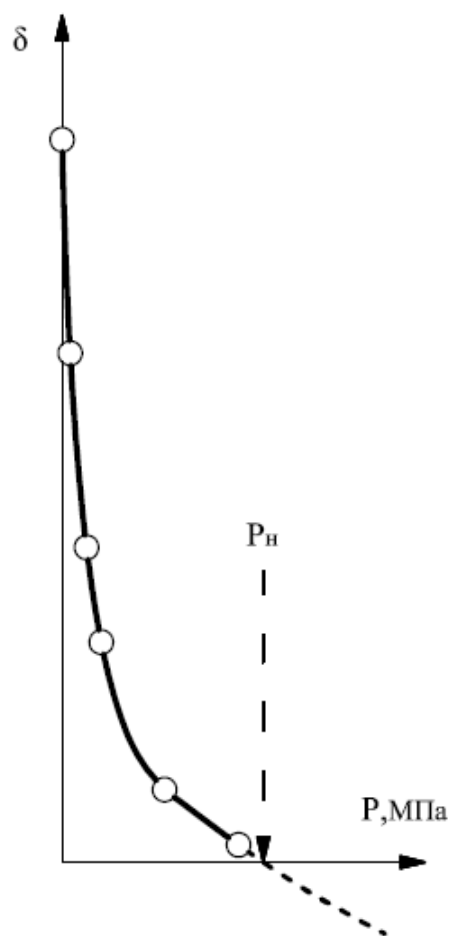
**Приложение О**  
(информационное)

**Испытание грунта в компрессионном приборе**

**График 1**



**График 2**



$p_n$  - установленная величина давления набухания (график 1); предполагаемая величина давления набухания (график 2).

**Рисунок О.1**

**Приложение II**  
(информационное)

**График зависимости изменения объема образца грунта  $V$  при изменении влажности  $W$  в процессе усадки**

График 1

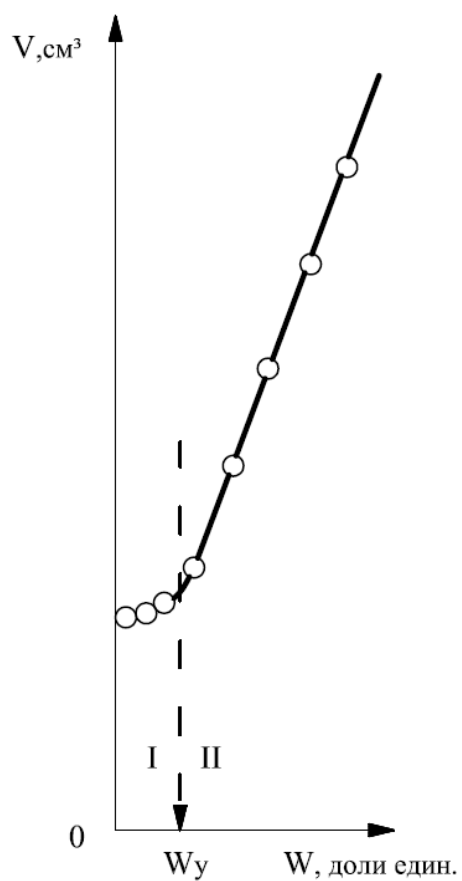
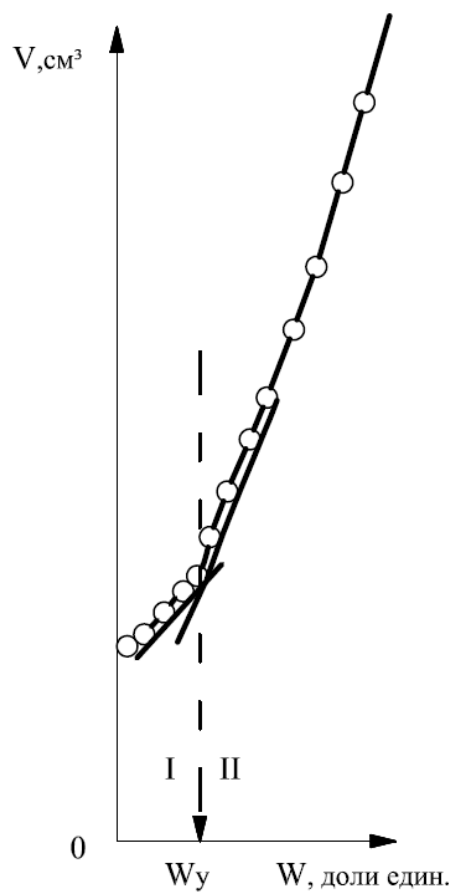


График 2



I - первый этап сушки; II - второй этап сушки;  $W_u$ - влажность глинистого грунта на пределе усадки

Рисунок П.1

**УДК 624.131.3**

**МКС 93.020**

---

**Ключевые слова:** Приборы, методика испытаний, грунты, геотехнические свойства, полевые и лабораторные методы исследования свойств грунтов

---

*Ресми басылым*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛІГІНІҢ  
ҚҰРЫЛЫС, ТҮРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ ЖӘНЕ  
ЖЕР РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУ КОМИТЕТІ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
НОРМАТИВТІК ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

**ҚР НТҚ 07-02.1-2011**  
**ТОПЫРАҚТЫ ЗЕРТТЕУГЕ ЖӘНЕ СЫНАУҒА АРНАЛҒАН**  
**ҚОЛДАНЫСТАҒЫ ГЕОТЕХНИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАР МЕН**  
**ҚҰРАЛДАРДЫ ҚР ҚН ЕН ТАЛАПТАРЫНА СӘЙКЕС ҚОЛДАНУ**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – қабылдау бөлмесі

*Издание официальное*

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ МИНИСТЕРСТВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**НТП РК 07-02.1-2011**  
**ПРИМЕНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО**  
**ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИБОРОВ**  
**ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ В**  
**СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК ЕН**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – приемная