

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ГОУ ВО ВГУ)

Геологический факультет
Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков

**МЕТОДЫ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Учебное пособие для вузов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2021

УДК 624.131.38 (075.3)
ББК 26.3 Я7
К66

Утверждено решением Ученого совета геологического факультета
Воронежского государственного университета 02.12.2021 года,
протокол № 0300-22-02.

Авторы:
Н. А. Корабельников, Ю. М. Зинюков

Рецензент –
доктор технических наук, профессор А. А. Аузин

Методы инженерно-геологических исследований: учебное пособие /
Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков. – Воронежский государственный
университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. – 134 с.

Учебное пособие подготовлено на кафедре гидрогеологии,
инженерной геологии и геоэкологии геологического факультета
Воронежского государственного университета.

Пособие рекомендуется для бакалавров геологического факультета по
направлению подготовки 05.03.01 «Геология», обучающихся по профилю
«Гидрогеология и инженерная геология», «Поиски и разведка подземных вод
и инженерно-геологические изыскания». Также данное пособие может быть
полезным магистрантам, аспирантам и специалистам, работающим в области
гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

УДК 624.131.38 (075.3)
ББК 26.3 Я7

ISBN ...

© Корабельников Н.А., Зинюков Ю.М.
составление, 2021

© Оформление. Издательский дом ВГУ, 2021

Содержание

Введение.....	4
1. Предмет «Методы инженерно-геологических исследований» как составная часть инженерной геологии	5
2. Полевое описание грунтов	9
3. Инженерно-геологическое опробование	23
4. Инженерно-геологические горные выработки	33
5. Срез целиков грунта.....	44
6. Вращательный срез грунта	58
7. Испытания штампом.....	67
8. Испытания радиальным прессиометром	85
9. Статическое зондирование	95
10. Динамическое зондирование.....	107
ЛИТЕРАТУРА	116
Приложение 1. Обзор буровых установок для инженерных изысканий	118
Приложение 2. Образец журнала испытания на срез целиков грунта, оформленный в Excel.....	129
Приложение 3. Образец журнала испытания грунта штампом, оформленный в Excel.....	130
Приложение 4. Журнал испытания грунта радиальным прессиометром .	131
Приложение 5. Пример оформления результатов статического зондирования	132
Приложение 6. Пример оформления результатов динамического зондирования.....	133

Введение

Курс «Методы инженерно-геологических исследований» читается с основными курсами инженерно-геологических дисциплин, таких как «Грунтоведение», «Инженерная геодинамика», «Механика грунтов». Основная цель дисциплины дать представление студентам об основных методах проведения опытных полевых инженерно-геологических исследований.

Данный курс предшествует учебной полевой практике по проведению опытных работ в гидрогеологии и инженерной геологии, и дисциплинам, для которых необходимы знания методов получения инженерно-геологических данных, в таких направлениях как инженерно-геологическое картирование, инженерно-геологические изыскания, инженерная геология месторождений, геотехническое моделирование.

Исходя из сложившихся традиций преподавания инженерно-геологических дисциплин, методы лабораторных исследований физико-механических характеристик грунтов изучаются в курсах по грунтоведению и механике грунтов, методы изучения геологических и инженерно-геологических процессов в рамках задач инженерной геодинамики, методы инженерно-геологического картирования в рамках курса «Инженерно-геологическое картирование», общие принципы проведения инженерно-геологических изысканий – в курсе «Инженерно-геологические изыскания». Основная цель настоящего курса – изучение полевых методов инженерно-геологических исследований.

Курс основан на действующих в России технических регламентах (своды правил, ГОСТы), благодаря чему, студенты овладевают методикой работ с нормативно-методическими документами, которые широко применяются в профессиональной деятельности.

1. Предмет «Методы инженерно-геологических исследований» как составная часть инженерной геологии

И. В. Попов [8] писал: «Инженерная геология как наука является отраслью геологии, изучающей динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека».

Согласно В. Т. Трофимову инженерная геология определяется как «наука геологического цикла, исследующая инженерно-геологические условия верхних горизонтов земной коры (литосферы), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых геологических процессов, формирующихся в ходе развития земной коры под влиянием совокупности всех природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной, деятельностью человечества» [7].

Более простое определение инженерной геологии: инженерная геология - наука геологического цикла, изучающая морфологию, динамику и региональные особенности верхних горизонтов земной коры (литосферы) и их взаимодействие с инженерными сооружениями (элементами техносферы) в связи с осуществленной, текущей или планируемой инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной, деятельностью человека [7].

Как у любой сложившейся науки, у инженерной геологии определен объект и предмет изучения.

Объектом исследования инженерной геологии являются верхние горизонты земной коры (часто называемые геологической средой), исследуемые в специальном инженерно-геологическом отношении [7].

Близкое определение объекта дается Г. К. Бондариком: «объектом инженерной геологии следует считать геологическую среду, её структуры,

свойства и процессы её движения, отбираемые и учитываемые при инженерно-геологической оценке» [5].

В соответствии с вышеприведенным определением инженерной геологии её предметом изучения являются *знания о морфологии, динамике и региональных особенностях верхних горизонтов земной коры (литосферы) и их взаимодействии с инженерными сооружениями (элементами техносферы) в связи с осуществленной, текущей или планируемой инженерно-хозяйственной деятельностью человека* [7].

Из вышеприведенного определения инженерной геологии вытекают три основных научных направления этой науки: грунтоведение (морфология грунтов и грунтовых толщ, составляющих верхние горизонты литосферы), инженерная геодинамика (динамика верхних горизонтов литосферы) и региональная инженерная геология (региональные особенности верхних горизонтов литосферы). Каждое из этих научных направлений представляет собой определенную систему научных инженерно-геологических понятий и знаний, характеризующихся своим предметом и объектом исследования.

Как самостоятельная наука инженерная геология имеет собственные методы исследований.

Помимо трех научных направлений, в рамках инженерной геологии можно выделить ряд прикладных разделов, которые призваны способствовать решению конкретных практических задач, обеспечивать информацией конкретные виды инженерно-хозяйственной деятельности человечества. Иногда эти разделы объединяли под названием специальная инженерная геология (по Ф. П. Саваренскому). Для решения большинства практических задач необходимы комплексные исследования с привлечением данных и грунтоведения, и инженерной геодинамики, и региональной инженерной геологии, а иногда и других геологических и негеологических наук [8].

Исходя из структуры научного метода инженерной геологии, современная инженерная геология использует методическую терминологию (категории) общих методов познания (материалистической диалектики, системного анализа и др.), специальных (как общенаучных, так и общегеологических) методов, частных методов познания (сопредельных и геологических наук) и, наконец, специальных методов инженерной геологии. В их состав входят инженерно-геологическое картирование, опытные лабораторные и полевые инженерно-геологические работы (исследования), инженерно-геологическое моделирование, инженерно-геологический мониторинг [7].

Методика инженерно-геологических исследований - прикладной раздел инженерной геологии, рассматривающий вопросы содержания, организации и рациональной последовательности (этапности) инженерно-геологических работ, комплексирования при их проведении частных и комплексных методов получения инженерно-геологической информации, ее накопления, обработки и представления [1].

Методика инженерно-геологических исследований включает методику изучения состава, строения, состояния и свойств грунтов и грунтовых толщ, методику изучения современных геологических процессов и методику региональных инженерно-геологических исследований, а также теоретико-методологические положения, определяющие принципы исследований и изысканий, связь последних с этапами проектирования, вопросы комплексирования и др. Ее предметом является система знаний о способах инженерно-геологического изучения верхних горизонтов земной коры. Согласно Г.К. Бондарнику [4] методика инженерно-геологических исследований включает в себя методики трех основных направлений инженерной геологии, а с учетом собственных теоретико-методологических положений (принципы изысканий, связь инженерно-геологических работ с

этапами проектирования, вопросы комплексирования частных методов и т.п.). Методика инженерно-геологических исследований представляет собой надстройку (или «надстроечную категорию» по Г.К. Бондарiku [3]) над теоретическим базисом инженерной геологии.

В содержательном и структурном планах методика инженерно-геологических исследований подразделяется на общую и специальную части. В общей части рассматриваются теоретические положения, лежащие в основе методов и технологий инженерно-геологических работ, совокупность методов и приемов производства, обработки и представления инженерно-геологической информации и технология процесса инженерно-геологических работ безотносительно к конкретному виду строительства. Она содержит три раздела: теоретические основы методики; учение о методах производства, накопления, обработки и представления инженерно-геологической информации; общую технологию инженерно-геологических работ.

Методы проведения полевых опытных инженерно-геологических работ, соответственно, включают в себя: теоритические основы применяемых методов, технологии их осуществления, приборы и оборудование для их проведения, методы обработки получаемых данных.

2. Полевое описание грунтов

Инженерно-геологические исследования, как и другие геологические работы, начинаются с визуального описания объекта изучения – геологической среды и, в частности, грунтов.

Основные правила ведения полевой документации и полевого описания грунтов приводятся в соответствии с ГОСТ Р 58325-2018 «Грунты. Полевое описание» [10]

Основные правила ведения полевой документации

Полевая документация служит основанием для составления исходных геологических документов, а также для последующих обобщений и выводов, необходимых для проектирования сооружений на них.

Поскольку качество окончательных инженерно-геологических материалов зависит от качества первичных документов, полевой документации должно быть уделено самое серьезное внимание.

К исходным полевым материалам, получаемым при выполнении инженерно-геологических относятся полевые журналы (бурения, шурфования, инженерно-геологического обследования, полевых испытаний грунтов и др.), отобранные образцы грунтов, полевые геологические колонки, разрезы.

Первичная документация может быть признана полноценной только в том случае, если она осуществлена одновременно с проходкой выработок, достаточно подробно и по определенно принятой системе.

Геолого-разведочные выработки (буровые скважины, шурфы, расчистки, канавы), а также точки геофизических измерений должны быть обязательно привязаны в плановом и высотном отношении.

Полевые работы производятся инженерно-техническими работниками в соответствии с выданным заданием, при ясном понимании цели проходки каждой задаваемой выработки.

Полевые записи в журнале следует выполнять простым карандашом средней твердости. Стирать и подчищать записи воспрещается. Неправильная запись зачеркивается (так, чтобы можно было прочесть зачеркнутое).

Описание грунтов выполняют на очищенных поверхностях, сколах, срезах керна, образца и грунтах естественного залегания.

Полевая документация описания грунтов в обязательном порядке также содержит следующую дополнительную информацию [10]:

местоположение горной выработки или обнажения в плане - координаты или ситуационная привязка (на застроенных территориях), на неосвоенных территориях описывают также положение выработки в рельефе;

положение описываемого грунта относительно устья горной выработки или обнажения (за устьем горной выработки принимают поверхность земли или дна акватории или условную высотную отметку). Условную высотную отметку, от которой ведется описание и отбор образцов в обнажении, как правило, располагают в верхней его части, доступной для установки временного знака и последующей инструментальной привязки;

методы бурения/проходки/зачистки и пробоотбора;

используемое оборудование (при механизированной проходке и бурении - марку установки техники, при бурении - тип и диаметр бурового снаряда);

интервалы опробования для лабораторных исследований;

методы отбора проб;

наличие фотоматериалов, рисунков, абрисов и схем, сопровождающих описание;

должность, ФИО исполнителя описания, дату проходки скважины (горной выработки) и описания грунта, точки наблюдения.

Формы полевой документации определяют стандартом организации, выполняющей инженерные исследования.

Полевая документация может быть произведена на основании рабочих (черновых) записей исполнителя, в том числе аудио- и видеоматериалов, выполненных в процессе бурения (проходки), но должна быть оформлена в течение того дня, когда проводилось описание. Рабочие записи не относятся к полевой документации.

Основные правила описания грунтов

Полевое описание грунтов является обязательной частью первичной полевой инженерно-геологической документации, разрабатываемой с целью предварительного определения наименования грунта в соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [11], а также оценки его состояния, свойств, структурно-текстурных особенностей и других характеристик.

Описание грунта выполняют непосредственно после его извлечения из грунтового массива или в естественном залегании по признакам, определяемым, как правило, в следующем порядке:

основное наименование - дополнительные наименования - цвет - вещественный состав - состояние - дополнительные характеристики и признаки - полуколичественные показатели свойств или состава.

Схема описания грунтов и состав описываемых признаков определяют принадлежность описываемого грунта к классу, а для дисперсных грунтов - подклассу грунта [11]. Основные группы грунтов: скальные, дисперсные несвязные, дисперсные связные и мерзлые. По основным геотехническим признакам также выделяют специфические грунты.

Идентификация грунтов (определение основного и дополнительных наименований)

Основное наименование грунта присваивают в соответствии с полевым определением типа, подвида или разновидности описываемого грунта [11] по их полевым признакам или показателям свойств и состава.

Основное наименование дают именем существительным и документируют прописными буквами, например «ПЕСОК мелкий». Наименования более высоких таксонов (скальный, дисперсный, осадочный) в описания грунтов не включают, за исключением указания на класс мерзлых грунтов и типов техногенных грунтов, например: «ПЕСОК крупный, мерзлый». «ПЕСОК мелкий, техногенный (намывной)». При полевым описании допускается использовать сокращения, приведенные в ГОСТ Р 58325-2018 [10], либо расшифровка которых приведена в полевой документации.

Дополнительное наименование присваивают в виде имени прилагательного или дополнения на уровне предполагаемой разновидности. Признаки для предварительного определения дополнительного наименования грунта определяют в соответствии с группой грунта.

Для скальных грунтов дополнительным наименованием определяют прочность грунта и трещиноватость.

Для несвязных дисперсных грунтов - гранулометрический состав, наличие включений и примесей.

Для связных дисперсных грунтов - пластичность и консистенция.

Для специфических грунтов - основное геотехническое свойство (зоторфованный, пластичный, лессовидный, просадочный, трещиноватый, выветрелый).

Описание цвета в полевой документации обязательно для всех грунтов. Для озерно-болотных, болотных, аллювиально-болотных илов, техногенных грунтов также фиксируют запах, например «ПЕСОК заиленный, темно-серый, с сильным запахом сероводорода».

Цвет грунта описывают в естественном состоянии, при полном дневном освещении. Допускается описание цвета при искусственном освещении с использованием ламп дневного света или при любом освещении применением сравнительного образца или эталона, цветовых шкал. Для объективного описания цветов рекомендуется пользоваться цветовыми шкалами (палетками), например выполненными по системе Мунселла. или другими системами, специализированными для определения цвета грунтов (например, цветовая таблица грунтов S133N) [10].

Цвет грунта описывают на свежем срезе или скопе (для скальных грунтов). Сухие грунты смачивают водой.

Подготовительные операции фиксируют в полевой документации примечаниями типа: «светло-бурый, при смачивании - коричневый».

Первичную интерпретацию цвета и его видимых изменений проводят в полевых условиях при естественной влажности. Цветовые признаки вещественного состава и геохимической обстановки:

- черные и серые цвета и оттенки - перегнойные вещества, восстановительная обстановка:

- сизые пленки, зеленовато-серых или синевато-серых пятен и разводов, буряющих на воздухе. - соединения закиси железа, глеевая обстановка:

- красные, желтые и оранжевые цвета - окиси железа, окислительная обстановка:

- белый цвет - кремнистые и каолиниговые минералы.

Характерные для определенной (региональной или генетической) группы грунтов признаки (запах, текстура, включения, в т. ч. палеофлоры и палеофауны, а также линзы, прослои, гнезда, специфические примеси и др.) также включают в описание, например: «ГЛИНА пылеватая, полутвердая,

серая, неяснослоистая, с отдельными конкрециями фосфоритов, обломками палеофауны».

Структурно-текстурные признаки (относятся к дополнительным признакам) - размеры и пространственное положение структурных элементов грунта различного уровня. При описании грунтового массива необходимо зафиксировать пространственное положение (глубину, угол падения), размеры основных текстурных элементов и их структуру (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Наименование основных структурных элементов связанных грунтов

Наименование	Мощность, мм
Пласт, слой	Св. 60
Слой	От 20 до 60
Прослой, тонкое напластование	Не более 20
Прослоек, слоек	Не более 1
Включения	Небольшие линзы, карманы

Описание грунта при проходке закрытых горных выработок (скважин)

При проходке буровых скважин описание керна следует выполнять непосредственно после каждого подъема бурового снаряда (порейсово) с указанием проходки.

Описание грунтов инженерно-геологических скважин, дополнительно к общим, также включает в себя:

наличие (или отсутствие) грунтовых вод, глубину их залегания и установившийся уровень (при наличии), для мерзлых грунтов - глубину кровли (подошвы) мерзлых грунтов:

характеристику состояния извлеченного керна и его целостности для различных типов грунтов:

для скальных грунтов - описание по показателю качества грунта (трещиноватости) согласно ГОСТ 25100 [11], с указанием угла наклона трещин относительно горизонта, их шероховатости, частоты, степени выветрелости грунта в стенках трещин, наличия заполнителя:

для дисперсных грунтов - степень нарушения по размерам нарушенной периферийной зоны: менее 50 % от допустимого размера нарушенной периферийной зоны - малая степень нарушения, от 50 % до 100 % - допустимая, от 100 % до 200 % - нарушенный образец, более 200 % полностью нарушенный.

Для мерзлых грунтов нарушенная периферийная зона определена зоной растепления.

Фотодокументацию керна производят после его очистки от шлама или среза нарушенной периферийной зоны. На фотографируемый керн и образцы устанавливают этикетки с номером выработки и интервалом отбора.

Ограничения полевого описания

Окончательное наименование грунту присваивают после соответствующих лабораторных определений и испытаний.

Возраст грунтов при полевом описании не определяют. При полевом описании достаточно ограничиться обобщенным стратиграфическим подразделением в соответствии со сведениями о геологическом строении в программе выполнения инженерных изысканий. Более дробное расчленение производят после камеральной обработки полевых материалов и лабораторных определений с учетом имеющихся фондовых источников.

Петрографический и минеральный состав определяют на уровне типа грунта (магматический, метаморфический, осадочный), в отдельных случаях - основные структурообразующие минералы.

валунные (глыбовые) грунты подлежат изучению в открытых горных выработках или естественных и техногенных обнажениях.

Описание дисперсных грунтов

Описание дисперсных грунтов предваряет определение их подкласса (несвязные/связные), а также подвида в соответствии с ГОСТ 25100. Дальнейшее описание и классификационную идентификацию выполняют в зависимости от определенных подкласса и подвида описываемого грунта.

Крупнообломочные несвязные грунты

К крупнообломочным относят грунты, у которых содержание фракций крупнее 2 мм составляют более 50 % весового содержания.

Ограничения на изучение крупнообломочных грунтов бурением дополнительно включают в себя трудность проходки, неизбежное нарушение сложения грунта, а также дробление крупнообломочного материала. Оценить реальное содержание и размеры валунов и глыб в грунте можно только в открытых горных выработках или на естественных или техногенных обнажениях.

Физические свойства крупнообломочных грунтов зависят преимущественно от размера, окатанности и петрографического состава слагающих их структурных элементов, а также состава и свойств заполнителя.

Основное наименование крупнообломочных грунтов присваивают по размерам и окатанности слагающих элементов. При полевом описании выделяют следующие разновидности крупнообломочных грунтов: ГРАВИЙНЫЕ (ДРЕСВЯНЫЕ), ГАЛЕЧНИКОВЫЕ (ЩЕБЕНИСТЫЕ), ВАЛУННЫЕ (ГЛЫБОВЫЕ).

Если содержание фракций различных размеров в составе обломочного материала примерно одинаковое, а окатанность различная, допускаются смешанные наименования, например: ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНЫЙ грунт. ВАЛУННО-ГЛЫБОВЫЙ грунт.

По степени окатанности обычно различают: неокатанный материал (угловатые формы, острые ребра); слабоокатанный материал (неправильной формы, с притупленными углами и ребрами); полуокатанный материал (с сильно сглаженными углами и ребрами); хорошо окатанный материал (правильной формы, с гладкой, часто отшлифованной поверхностью, округлой или эллипсоидной формы).

Содержание преобладающих по размеру фракций устанавливают визуально с предварительным обмером наиболее характерных, эталонных обломков складным метром или рулеткой.

Помимо размеров структурных элементов указывают петрографический состав (тип) обломков, консистенцию или плотность сложения заполнителя.

При затруднениях в определении петрографических разностей обломочного материала указывают тип скальных грунтов, к которому они относятся (магматические, метаморфические, осадочные).

При определении пластичности и консистенции глинистого заполнителя достаточно установить тип заполнителя (супесь, суглинок, глина) без детализации по разновидности грунта и указать состояние заполнителя.

При определении состава песчаного заполнителя достаточно установить примерную разновидность по гранулометрическому составу, например: «Заполнитель - песок от средней крупности до гравелистого».

Пески

Основными показателями физических свойств песков являются их гранулометрический состав (крупность и однородность) и плотность сложения.

При необходимости получения проб песка ненарушенного сложения используют специальные пробоотборники. В полевой документации

указывают тип и основные технические характеристики пробоотборника. Плотность сложения песков может быть приблизительно оценена по характеру проходки или по результатам опережающего зондирования (более точно).

Физические свойства песков в первую очередь определяют их гранулометрическим (зерновым) составом, плотностью сложения и степенью влажности. Также важнейшими показателями при их оценке являются однородность и водопроницаемость.

Зерновой состав песков устанавливают по зрительным впечатлениям и тактильным (на ощупь).

Плотность песчаного грунта косвенно оценивают по усилиям, затрачиваемым на его разрыхление шанцевым инструментом или буровыми наконечниками.

Из структурно-текстурных признаков для песков описывают слоистость. Наиболее характерными для песков являются: горизонтальная, косая и волнистая слоистость. При наличии горизонтальной слоистости прибегают к терминам "слоистый" и "тонкослоистый".

Крупнообломочные включения характеризуют по форме, крупности, их процентному содержанию в песчаной массе и петрографическому составу. Форму и размер обломков определяют одним термином: гравий (дресва, мелкий щебень), галька (щебень), валуны (глыбы). Процентное содержание и петрографический состав указывают визуально, при необходимости с использованием палеток.

Состояние песчаных грунтов зависит от степени их влажности. Определение этого показателя проводят двумя способами: визуальным (таблица 2.2) и расчетным. При визуальной оценке выделяют три состояния грунта в соответствии с ГОСТ 25100: маловлажный, влажный, водонасыщенный. Также возможно выделение сухого состояния.

Таблица 2.2 - Полевые признаки определения степени влажности песков

Разновидности по таблице В.11 приложения В [11]	Степень влажности грунта по [11]	Признаки
Малой степени водонасыщения	Сухой	Визуально сухой; при сжатии рассыпается
	Маловлажный	При сжатии рукой ощущается холодная масса; при встряхивании в ладони рассыпается на комки
Фильтровальная бумага, на которой лежит грунт, остается сухой или только через некоторое время сыреет		
Средней степени водонасыщения	Влажный	В руке при сжатии ощущается влажность; можно придать форму, которая при разжатии держится некоторое время
Фильтровальная бумага, на которой лежит грунт, быстро сыреет, образуя пятно		
Водонасыщенные	Насыщенный водой	На ладони при встряхивании расплзается в лепешку
	Переувлажненной	При спокойном состоянии расплзается и растекается

Дисперсные связные грунты

Основное наименование глинистого грунта (СУПЕСЬ. СУГЛИНОК. ГЛИНА) определяют по характеру раскатывания и вспомогательным признакам (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Вспомогательные признаки определения основного наименования глинистых грунтов [10]

Основное наименование	Вспомогательный признак
СУПЕСЬ	При резанье характерный "шуршащий" звук, поверхность среза шероховатая. В сухом состоянии легко крошится пальцами. Во влажном состоянии сыпуче-пластичен, очень быстро размокает в воде и быстро высыхает. Очень легко смывается слабой струей воды. Зернистость основной массы грунта различима под лупой (x10). Частилки грунта оседают в воде в течение 40-60 с
СУГЛИНОК	При резании звук отсутствует, поверхность среза гладкая, но могут встречаться мелкие песчинки и макропоры. Во влажном состоянии слабо пластичен, в сухом крошится пальцами и быстро размокает в воде. Легко смывается слабой струей воды. Зернистость основной массы грунта не различима. Частилки грунта оседают в воде в течение 1-1,5 мин
ГЛИНА	При резанье звук отсутствует, поверхность среза гладкая, блестящая. Во влажном состоянии пластичен, в сухом не крошится пальцами и размокает в воде с трудом, набухает. Сохнет долго, часто трещины усыхания. Не смывается слабой струей воды или смывается с трудом, липкий. Зернистость грунта не различима. Время оседания > 2 мин

Дополнительное наименование присваивают согласно консистенции грунта в его природном состоянии (таблица 2.4).

Таблица 2.4 - Полевые признаки определения консистенции [10]

Состояние грунта (консистенция)	Свойство
Текучая	Не сохраняет форму, течет по плоскости
Текучепластичная	Очень влажный, легко разминается, меняет форму при легком нажатии пальцем, продавливается сквозь пальцы при сжатии
Мягкопластичная	Влажный, палец вдавливается при умеренном нажиме на несколько сантиметров
Тугопластичная	С трудом разминается руками, палец легко оставляет неглубокий отпечаток, но вдавливается с трудом
Полутвердая	При разминании крошится. Ноготь вдавливается без особых усилий
Твердая	Ноготь вдавливается с трудом, при растирании превращается в пыль Нельзя сделать вмятину ногтем большого пальца

Особенности описания скальных грунтов

Описание образца (керн) скальных грунтов в общем виде включает в себя определение основного наименования скального грунта, качества скального грунта, а также определение дополнительных и вспомогательных идентификационных признаков.

Основное наименование скального грунта определяют по выделенным типам (генетическим группам) скальных грунтов:

магматические; метаморфические; вулканогенно-осадочные; осадочные; техногенные.

При наличии геологических материалов для изучаемой территории, которые позволяют дать петрографическое наименование грунтов, или при возможности его определения в образце предварительное наименование уточняют до подвида. Некоторые подвиды осадочных грунтов, такие как песчаники, конгломераты, известняки-доломиты, галиты, угли, уверенно идентифицируют визуально.

Цвет скального грунта описывают во влажном (смоченном) состоянии. Если необходимо, цветовые различия могут быть уточнены использованием таких терминов, как «пестрый», «пятнистый», «испещренный», «крапчатый», «полосчатый». Окраска скального фунта обусловлена цветом породообразующих минералов. Различают грунты, имеющие светлую окраску, и грунты темной окраски.

Карбонатные скальные грунты оценивают на карбонатность.

Качество скального грунта по керну оценивают по процентному отношению суммарной длины сохранных (неразрушившихся) кусков керна длиной более 10 см к длине пробуренного интервала [11] (показатель RQD). Также проводят описание видимых причин разрушения керна, таких как сланцеватость, трещиноватость, выветрелость, зоны разломов или технологические причины.

Описание структурных и текстурных особенностей, характера отдельности и трещиноватости выполняют в конце описания керна с учетом ранее выполненных определений.

При описании грунтов магматического и метаморфического происхождения необходимо различать следующие виды структур:

а) зернистую, подразделяющуюся по крупности зерна:

на крупнозернистую диаметр зерен > 5 мм.

среднезернистую » » 1-5 мм.

мелкозернистую » » < 1 мм:

б) порфировую, отличающуюся наличием крупных зерен на фоне однородной массы более мелких зерен;

в) аморфную, скрытокристаллическую - состав минералов и зернистость визуально неразличимы.

Размер минеральных зерен породообразующих минералов следует оценивать визуально в миллиметрах без набора статистического ряда. При

этом необходимо отдельно характеризовать цемент и содержащиеся в нем более крупные минеральные зерна или частицы грунта.

По текстурным признакам для магматических грунтов следует выделять однородную (массивную), неоднородную (полосчатую) и пористую текстуры.

При описании скальных грунтов осадочного происхождения структуру следует характеризовать в соответствии с классификацией крупнообломочных грунтов. Для цемента осадочных скальных грунтов следует визуально-контактным методом приближенно оценивать минеральный состав. Используют следующие термины: «кремнистый», «известковый», «углистый», «железистый», «глинистый».

Выветренность грунтов оценивают качественно по видимым и диагностируемым изменениям исходного грунта.

При описании скальных грунтов в открытых горных выработках, расчистках и обнажениях помимо идентификационных признаков грунта дополнительно определяют и описывают классификационные признаки массива грунта. Определению подлежат следующие классификационные признаки: сплошность скального массива; степень экзогенного изменения; разновидности отдельностей.

3. Инженерно-геологическое опробование

Инженерно-геологическое опробование - проводят при инженерно-геологических работах с целью определения состава, строения, состояния и свойств грунтов, а также заключённых в них подземных вод и газов.

Инженерно-геологическое опробование включает планирование, собственно опробование и обработку его результатов. Системы и методы опробования планируются в зависимости от расчётной схемы объекта изучения, особенностей геологического строения территории и задач, стоящих на данной стадии проектирования. По методике проведения собственно опробования различают полевые исследования массива в естественном залегании без отбора проб и лабораторные методы, включающие отбор проб, их транспортировку, хранение и изучение. Отбор проб осуществляется из обнажений непосредственно либо дистанционно специальными устройствами (пробоотборниками, грунтоносами). В зависимости от конкретных условий территории и задач инженерно-геологическое опробование для исследования горных пород и грунтов применяют определённые приборы и установки.

Отбор образцов грунтов из инженерно-геологических выработок и естественных обнажений, а также их упаковку, доставку в лабораторию и хранение следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» [12].

Инженерно-геологическое опробование производится с целью характеристики состава, состояния и физико-механических свойств пород, состава и свойств грунтовых вод и изучения закономерностей изменения показателей этих свойств в пространстве и во времени в зависимости от природных и искусственных факторов [5].

В программе работ обосновывается схема опробования грунтов, обеспечивающая изучение инженерно-геологического разреза с

необходимой детальностью и соблюдением требований ГОСТ 20522 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» [13], в зависимости от уровня ответственности и конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений, свойств грунтов, характера их пространственной изменчивости. Схема опробования должна содержать количество опробуемых скважин и интервал отбора образцов грунта.

Методы опробования должны учитывать состав пород и свойства, характер пространственной изменчивости, а также целевое назначение инженерно-геологических исследований.

От качества опробования зависят:

- обоснованность выбора типа фундаментов зданий и сооружений;
- достоверность номенклатурных, нормативных и расчетных показателей пород (параметры фундаментов, глубина их заложения, схемы расчетов системы “основание – фундамент” и др.);
- надежность строительства и эксплуатации зданий и сооружений;
- экономическая обоснованность строительства нулевого цикла и дополнительных мероприятий по антикоррозийной, антиагрессивной защите и т.д.;
- определение способов и стоимости разработки грунтов и пород;
- прогноз влияния сооружения на окружающую среду и выбор мероприятий по защите последней.

Инженерно-геологическое опробование включает: определение системы пространственного размещения точек отбора проб и мест проведения опытных работ; отбор, упаковку, транспортировку и хранение проб, лабораторные и полевые исследования состава и свойств пород; обработку результатов исследований.

Недостатки в опробовании являются в ряде случаев основной причиной низкого качества инженерно-геологических работ. Трудность при

составлении рекомендаций по опробованию заключается в том, что система и параметры опробования зависят от изменчивости горных пород в пространстве, которая проявляется в процессе опробования. Задача существенно образом облегчается при исследованиях грунтов, для которых степень изменчивости состава и свойств выявлена более ранними работами.

Н. В. Коломенский (1968) выделил три типа закономерностей инженерно-геологической изменчивости пород: скачкообразную незакономерную, скачкообразную закономерную и функциональную (рис.3.1) [5].



Рис. 3.1. Графики инженерно-геологической изменчивости горных пород [6]:

- 1-скачкообразная незакономерная изменчивость;
- 2-скачкообразная закономерная изменчивость;
- 3-функциональная изменчивость

Изменчивость состава и свойств пород проявляется в виде неоднородности показателей, характеризующих эти свойства. Каждый из показателей состава и свойств пород отражает неоднородность характеризующей величины в точке отбора по сравнению с некоторым средним значением этого показателя и суммарную ошибку определения этого показателя, по величине стандартного отклонения S и коэффициента вариации V [13].

Детальность и количественные показатели инженерно-геологического опробования в первую очередь зависят от масштаба, вида инженерно-

геологических исследований и, соответственно, выделяемых таксономических элементов.

При инженерно-геологических изысканиях основным таксономическим элементом является **инженерно-геологический элемент (ИГЭ)**. Под **ИГЭ** можно понимать выделенное геологическое тело, характеризующееся общим генезисом, определенным набором сходных физико-механических свойств грунтов, выделяемых применительно к решению конкретной инженерно-геологической задачи.

Согласно ГОСТу 20522-2012 [13] за инженерно-геологический элемент принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения и вида при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно), либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. Принципы выделения инженерно-геологических элементов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные критерии выделения инженерно-геологических элементов

<i>Критерии</i>	<i>Примеры</i>
Стратиграфическое подразделение	Нижнелепестовые отл. донской свиты
Генетический тип	Моренные отложения
Литологическая разновидность	Суглинки
Состояние	Тугопластичные
Показатели свойств, учитываемые различными схемами расчета сооружений: прочностные, деформационные, просадочность, совместная работа свай и грунта	При расчетах по первому и второму предельному состоянию При проектировании свайных фундаментов. При проектировании сооружений башенного типа, фундаментов с динамическими нагрузками и др.
Специальные характеристики (коэффициент фильтрации, набухаемость и т.д.)	В зависимости от важнейших требований и специфики проектируемых сооружений

Дальнейшие требования к выделению ИГЭ связаны с возможностью охарактеризовать их обобщенными, усредненными показателями состава и физико-механических свойств, при соблюдении однородности показателей,

при которой их пространственная изменчивость, в плане и глубине, не превышает определенных статических допусков [13] (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Дополнительные критерии выделения инженерно-геологических элементов

<i>Породы и их изменчивость</i>	<i>Характеристика пород и их изменчивости</i>
Крупнообломочные	Гранулометрический состав, общая влажность и влажность глинистого заполнителя
Песчаные	Гранулометрический состав, коэффициент пористости, влажность для песков пылеватых
Глинистые	Пределы и число пластичности, коэффициент пористости, влажность
Породы и их изменчивость	Характеристика пород и их изменчивости
Пространственная изменчивость по каждой из пород	Незакономерная или закономерная, если коэффициент вариации закономерно изменяющейся характеристики не превышает 0,15 для коэффициента пористости и влажности и 0,30 для характеристик механических свойств

Если установлено, что характеристики грунтов изменяются в пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом, этот элемент принимают за окончательный независимо от значений коэффициента вариации характеристик.

За единый инженерно-геологический элемент могут быть приняты грунты, представленные часто сменяющимися тонкими (менее 20 см) слоями и линзами грунтов различного вида. Слои и линзы, сложенные рыхлыми песками, глинистыми грунтами с показателем текучести более 0,75, илами, сапропелями, заторфованными грунтами и торфами, рассматривают как отдельные инженерно-геологические элементы независимо от их мощности.

Технология отбора инженерно-геологических проб [12].

Образцы грунта отбираются из зачищенных забоя и стенок горных выработок. Для определения полного комплекса физико-механических характеристик проба может состоять из нескольких образцов.

Для образцов грунта, для которых требуется сохранение естественной влажности, бурение проводится без применения промывочной жидкости. С пониженным числом оборотов.

Для лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов отбирают пробы с нарушенной или ненарушенной (монолиты) структурой.

Отбор образцов нарушенной структуры

Для отбора образцов грунта нарушенной структуры отбирают с помощью лопаты, ножа, зубила и т.д. из зачищенных дна, стенки шурфа (обнажения) или керна скважины.

Масса образцов нарушенного сложения для определения стандартного набора физических характеристик должна составлять:

- 1,5-2,0 кг – для глинистых грунтов;
- 2,0-3,0 кг для песков;
- 3,0-5,0 кг – для крупнообломочных грунтов;

По отдельному заданию могут отбираться крупнообъемные (валовые) пробы массой до 20 кг.

Образцы грунты ненарушенного сложения упаковываются в тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц (мешочки из синтетической пленки, плотной ткани и т.п.). Для образцов, требующих сохранения естественной влажности, применяют бьюксы с герметично закрывающейся крышкой. Внутри тары укладывают этикетку, которая изолируется в отдельный полиэтиленовый пакет.

Отбор монолитов грунтов

Монолиты отбирают для определения расчетных характеристик физико-механических свойств связных пород. Для рыхлых песчаных пород монолиты можно заменить пробами с нарушенной структурой, но в этом

случае надо определять плотность грунтов в естественном залегании полевыми методами.

Монолиты отбираются режущим кольцом и ручным вырезанием из обнажений грунтов, в шурфах и подземных горных выработках и грунтоносами из буровых скважин.

При отборе монолитов из открытых выработок ручным способом используют нож, лопату и т.д.

Размеры монолитов, отбираемых ручным вырезанием: 100x100x100 мм, 200x200x200 мм, 300x300x300 мм (для дресвяно-гравийных грунтов).

Содержание работы вне зависимости от способа отбора монолитов: операции, связанные с обслуживанием рабочего места; разогревание парафина и пропитывание им марли; заполнение этикеток; парафинирование и упаковка монолита; документация.

В зависимости от способа отбора монолитов в содержание работы дополнительно включаются:

а) при отборе монолитов режущим кольцом: спуск в шурф лестницы и подъем ее; закрепление и раскрепление лестницы; зачистка обнажения или стенки горной выработки; погружение кольца в грунт с постепенной выемкой грунта вокруг кольца до полного его заполнения грунтом; подрезание грунта ниже края кольца; выравнивание грунта с краем кольца; подъем монолита из шурфа;

б) при отборе монолитов ручным вырезанием: спуск в шурф лестницы, инструмента и других предметов и подъем их; закрепление и раскрепление лестницы; зачистка обнажения или стенки горной выработки; разметка контура монолита и выемка ниши в обнажении или стенке горной выработки; подрезание граней монолита и его снятие; подъем монолита из шурфа

в) при отборе монолитов грунтоносами: сборка грунтоноса; установка задавливающего устройства; спуск грунтоноса в буровую скважину на

заданную глубину и подъем его; погружение грунтоноса в породу; извлечение монолита из грунтоноса

После извлечения из грунтоноса монолит очищают от шлама и немедленно консервируют для сохранения структуры и естественной влажности грунта. Существуют два способа консервации: парафинированием и упаковкой в жесткую тару. При упаковке монолита следует отметить его верх и в случае необходимости дать ориентировку по сторонам света.

Монолит, отобранный из жесткой тары, покрывают слоем туго обматывают марлей, предварительно пропитанной расплавленной парафиновой смесью. Для парафинирования монолитов применяют смесь, состоящую из двух частей парафина и одной части гудрона, которую подогревают до температуры 60-65 градусов. Затем поверх марли его покрывают еще одним слоем парафина, вновь обматывают марлей и покрывают третьим слоем парафина. До парафинирования на верхнюю грань образца кладут этикетку, завернутую в кальку, которую также покрывают парафином. Второй экземпляр этикетки смачивают расплавленным парафином, прикрепляют к поверхности запарафинированного образца и также покрывают тонким слоем парафина.

В настоящее время парафинирование монолитов заменяют обматыванием монолита грунта несколькими слоями современных влагонепроницаемых материалов, в частности полиэтиленовой стрейч-пленкой.

Монолиты грунта, отбираемые в жесткую тару (обойму) или специально изготовленные металлические или деревянные ящики, упаковывают в той же таре. На верхнюю грань образца между резиной и крышкой кладут этикетку, а вторую этикетку прикрепляют к поверхности жесткой тары.

Монолиты немерзлого грунта, отобранные в тонкостенные гильзы, должны быть упакованы жесткими крышками с резиновыми прокладками. При отсутствии резиновых прокладок соединение тары с крышкой изолируют или парафинируют.

Внутренний диаметр грунтоносов или жестких обойм должны обеспечивать проведение лабораторных испытаний грунтов, превышать диаметр лабораторных колец.

На этикетки образца грунта необходимо указать:

- наименование организации, проводящей изыскания;
- наименование объекта (участка);
- наименование выработки и ее номер;
- номер образца;
- глубину отбора;
- краткое описание грунта (разновидность);
- должность и фамилия лица, производящего отбор;
- дату отбора образца.

Перевозить монолиты надо в деревянных ящиках. Во избежание повреждений упаковки промежутки между монолитами засыпают опилками. Образцы талых пород необходимо предохранять от замораживания, а мерзлых – от оттаивания, так как при этом они теряют структуру.

Упакованные образцы, доставленные в лабораторию без ведомости, приниматься на хранение и производство лабораторных работ запрещается.

Сроки хранения монолитов грунта с момента отбора до начала лабораторных испытаний в помещениях с необходимой влажностью не должны превышать 1,5 месяцев для немерзлых скальных грунтов, песков, глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции, и 1,0 месяц для остальных грунтов.

Грунтоносы

Для отбора монолитов грунта используются грунтоносы вдавливаемого, забивного, обуривающего и вибрационного типов.

В настоящее время известно более 150 конструкций грунтоносов различного типа (Рис. 3.2).



Рис. 3.2 - Грунтоносы: а) задавливаемый; б) обуривающий (ПШН-185).

Принципиальная схема устройства грунтоносов показана на рис. 3.2

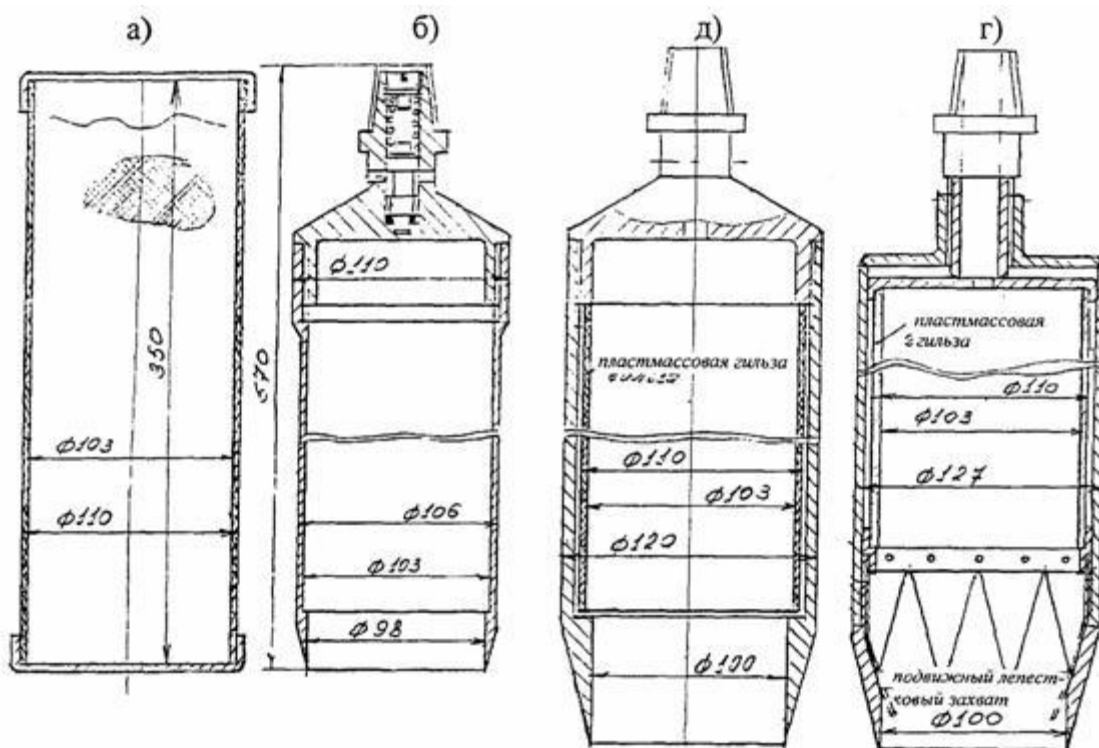


Рис. 3.3 - Принципиальная схема устройства задавливаемых грунтоносов.

4. Инженерно-геологические горные выработки

Инженерно-геологическая выработка - горная выработка для изучения геологического разреза, отбора образцов грунтов для изучения их состава, состояния и свойств, измерения уровней и отбора проб подземных вод, а также для полевых исследований грунтов (в том числе геофизическими методами).

Проходка горных выработок при инженерно-геологических исследованиях осуществляется с целью [20]:

- установления или уточнения геологического разреза, условий залегания грунтов и подземных вод;
- определения глубины залегания уровня подземных вод;
- отбора образцов грунтов для определения их состава, состояния и свойств, а также проб подземных вод для их химического анализа;
- проведения полевых исследований свойств грунтов, определения гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и зоны аэрации и производства геофизических исследований;
- выполнения стационарных наблюдений (локального мониторинга компонентов геологической среды);
- выявления и оконтуривания зон проявления геологических и инженерно-геологических процессов.

При инженерно-геологических изысканиях применяют следующие виды инженерно-геологических выработок:

- закопушки (глубиной до 0,6 м);
- расчистки (в глубь обнажения до 1,0 м);
- канавы (глубиной до 3,0 м);
- траншеи (глубиной до 6,0 м);
- шурфы и дудки (глубиной до 20 м);
- шахты (глубиной 20 м и более);

- штольни (длиной 10 м и более);
- инженерно-геологические скважины (глубина определяется программой).

Проходку горных выработок следует осуществлять, как правило, механизированным способом. Бурение скважин вручную применяется в труднодоступных местах и стесненных условиях (в подвалах, внутри зданий, в горах, на крутых склонах, на болотах, со льда водоемов и т.п.) при соответствующем обосновании в программе изысканий.

Выбор вида горных выработок, способа и разновидности бурения скважин следует производить исходя их целей и назначения выработок с учетом условий залегания, вида, состава и состояния грунтов, крепости пород, наличия подземных вод и намечаемой глубины изучения геологической среды. Способы проходки горных выработок и в частности бурения скважин должны обеспечивать высокую эффективность, необходимую точность установления границ между слоями грунтов (отклонение не более 0,25-0,50 м), возможность изучения состава, состояния и свойств грунтов, их текстурных особенностей и трещиноватости скальных пород в природных условиях залегания.

Шахты и штольни рекомендуется проходить при изысканиях для проектирования особо ответственных и уникальных зданий и сооружений, а также объектов народного хозяйства, размещаемых в подземных горных выработках при обосновании в программе работ. В шахтах и штольнях следует изучать условия залегания и обводненность пород, их температурные особенности, степень сохранности, характер геологических структур и разрывных нарушений, а также проводить отбор проб, выполнять исследования свойств пород и другие специальные работы.

Все горные выработки после окончания работ должны быть ликвидированы: шурфы - обратной засыпкой грунтов с трамбованием,

скважины - тампонажем глиной или цементно-песчаным раствором с целью исключения загрязнения природной среды и активизации геологических и инженерно-геологических процессов

Основные виды горных выработок при инженерно-геологических исследованиях

Расчистка - в геологии, наиболее простая горная выработка, проходима при геологоразведочных работах для вскрытия выходов коренных п. и полезных ископаемых путем удаления перекрывающего их маломощного слоя рыхлых отложений.

Закопушка - простейшая, обычно ямообразная горная выработка, которая служит для вскрытия коренных п., залегающих непосредственно под растительным слоем, почвой и рыхлыми наносами мощностью до 0,5 м. Широко используются на всех стадиях поисковых и разведочных работ, а также для взятия металлометрических и шлиховых проб.

Шурф - вертикальная (реже наклонная) горная выработка (чаще прямоугольного сечения), проведённая с поверхности земли для поиска и разведки полезных ископаемых, а также для инженерно-геологических и гидрогеологических исследований.

Разведочные шурфы служат для изучения условий залегания и литологического сложения пород под основанием запроектированного сооружения, степени их сохранности и устойчивости, для отбора проб (монолитов) пород в состоянии естественной влажности и нарушенной структуры. Опытные шурфы - для проведения в них экспериментов по оценке несущей или фильтрационной способности горных пород, эксплуатационные - для вентиляции шахт, водоотлива, транспортирования материалов, спуска и подъёма людей. Эксплуатационные шурфы в отличие от шахтных стволов имеют глубину не более нескольких десятков метров,

оснащены лёгким вспомогательным подъёмом, используются главным образом для проветривания. Неглубокие шурфы круглого сечения называются дудками. Шурфы, проходимые в неустойчивых и рыхлых породах, крепят, а глубиной более 10 м - вентилируют.

Основные способы бурения инженерно-геологических скважин

При бурении инженерно-геологических скважин применяются следующие основные способы: колонковый, шнековый, вибрационный и ударно-канатный кольцевым забоем [20].

Применение того или иного способа бурения определяется следующими основными условиями:

- *Колонковое бурение* используют преимущественно в скальных и полускальных породах, также в плотных связных грунтах при условии использования глинистой промывки; глубина бурения до 100 метров;
- *Шнековый способ*, также весьма производительный, следует применять в случаях вскрытия водоносных слоев, забоя на ту или иную глубину без подробного изучения проходимых пород, глубина бурения до 50 метров.
- Ударно-канатное бурение кольцевым забоем рекомендуется применять для разведки различных рыхлых, связных и полускальных пород; глубина бурения до 50 метров;
- *Вибрационный способ*, применяется для проходки связных и рыхлых пород, не содержащих значительной примеси крупнообломочного материала; глубина бурения до 15 –20 метров.

Колонковое бурение

Колонковое бурение предложено швейцарцем Ж. Лешо в 1862 году. Это вращательное бурение, при котором разрушение породы осуществляется не по всей площади забоя, а по кольцу с сохранением внутренней части

породы в виде *керна* (рис.4.1). При колонковом бурении частицы разрушенной породы удаляются из забоя и выносятся на поверхность промывочной жидкостью, нагнетаемой буровым насосом в колонну бурильных труб. Выбуренный *кern* входит в колонковую трубу и по мере углубления скважины заполняет её. Периодически *кern* заклинивают, отрывают от забоя и поднимают на поверхность.

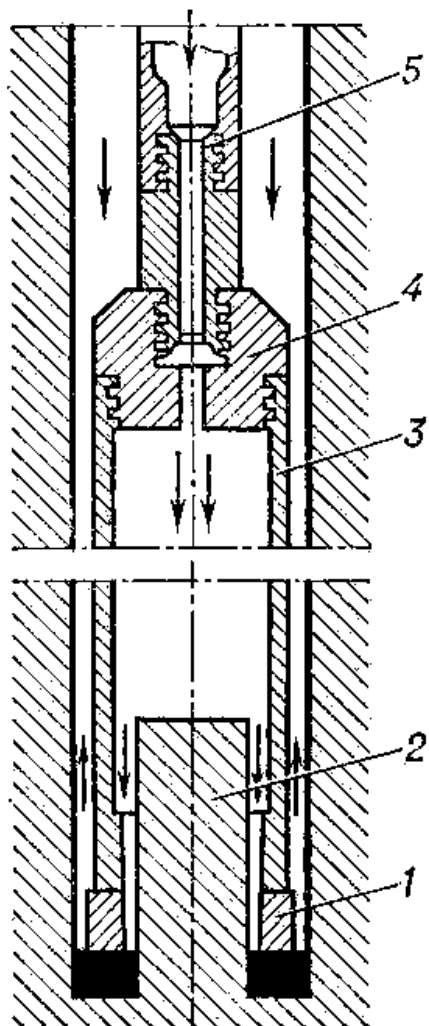


Рис. 4.1. Схема обуривания *керна* при колонковом бурении: 1 - буровая коронка; 2 - *кern*; 3 - колонковая труба; 4 - переходник; 5 - колонна бурильных труб для подачи промывочной жидкости к забояу, вращения коронки и передачи осевой нагрузки на неё.

Колонковое бурение осуществляется буровыми установками, с помощью которых производятся спуск и подъём инструмента, вращение и подача бурового снаряда и др. операции. В зависимости от твёрдости и абразивных свойств горных пород для бурения используются буровые коронки (или долота) различных типов. Колонковым бурением проходят вертикальные, наклонные, восстающие, многозабойные скважины в породах с самыми разнообразными физико-механическими свойствами.

Ударно-канатное бурение

Ударно-канатное бурение скважин – это самый простой метод бурения, который может применяться для бурения скважин практически в любых грунтах. Ударно-канатное бурение можно осуществлять без применения тяжелой техники: установки для бурения ударно-канатным способом достаточно компактны, и за исключением некоторых деталей их можно сделать самостоятельно.

Установка для ударно-канатного бурения состоит из следующих элементов:

- забивной стакан или желонка,
- ударная штанга,
- трос или канат,
- каркас установки,
- блок,
- лебёдка.

Забивной стакан – это основной инструмент для ударно-канатного бурения. Он представляет собой кусок трубы, в нижней части которой есть упрочненная режущая кромка со скосом внутрь стакана. Эта кромка позволяет стакану глубже врезаться в грунт при ударе. На верхней части бурового стакана располагается наковальня, по которой совершает удары ударная штанга.

С помощью лебедки забивной стакан поднимают над забоем и отпускают его. Стакан врежется в грунт и захватывает его часть. За счет сил трения грунт удерживается внутри стакана, когда его поднимают. Чтобы вбить стакан глубже используется ударная штанга: ей поднимают и отпускают, она ударяет по наковальне забивного стакана. После нескольких ударов, забивной стакан, заполненный грунтом, поднимают на поверхность и опустошают. Затем процедура бурения продолжается. Забивные стаканы можно использовать только при бурении достаточно мягких и нессыпучих пород.

Для ударно-канатного бурения сыпучих и обводненных пород используется желонка. В отличие от забивного стакана в нижней части желонки есть клапан, который открывается, когда желонка врежется в грунт, и позволяет сыпучему грунту попадать внутрь. Когда желонку поднимают вверх, под действием давления со стороны захваченного грунта клапан закрывается и не даёт грунту высыпаться. Желонку поднимают на поверхность и очищают, после чего процедура повторяется.

Для ударно-канатного бурения твердых и каменистых грунтов вместо забивного стакана или желонки используется буровое долото. Удары бурового долота разрушают и измельчают твёрдую породу, а полученные при этом мелкие частицы извлекаются со дна скважины с помощью желонки.

Если канатно-ударное бурение скважины происходит в сыпучих грунтах, или хотя бы с прослойками такого грунта, то эти самые сыпучие грунты будут засыпать скважину. Чтобы этого не происходило нужно уже в процессе бурения опускать обсадные трубы.

На первом отрезке обсадной трубы делают конусный расширительный башмак. По мере увеличения глубины скважины, обсадные трубы под собственным весом или под действием несильных ударов сверху опускаются вниз. Диаметр обсадных труб должен быть несколько больше, чем диаметр

забивного стакана, чтобы последний мог свободно перемещаться в скважине. Таким образом, диаметр скважины оказывается меньше диаметра обсадных труб, и часть грунта со стенок скважины срезается самой обсадной трубой

Шнековое бурение

Это вращательное бурение, при котором разрушенная порода доставляется из скважины на поверхность шнеком (бурильной трубой с навитой на ней стальной лентой). Для шнекового бурения применяют буровые установки с подвижным вращателем с повышенным крутящим моментом, имеющие ход подачи в 1,8-3,0, иногда до 15 м. Шнеки соединяются между собой посредством резьбы или элементов фигурного сечения. Разрушение породы на забое при шнековом бурении происходит путём резания и разрыхления породы лопастным буровым долотом. При бурении плотных пород и гравийно-галечных отложений используются долота, лопасти которых обращены к забою под углом ок. 90°, в мягких и рыхлых породах - 30-60°. В процессе бурения режущие элементы долота охлаждаются разрушенной породой. Подъём породы происходит благодаря её скольжению по шнековой спирали, поскольку трение породной массы о поверхность шнека меньше, чем трение о стенки скважины. При нормальном транспортировании разрушенная порода заполняет 0,2-0,4 объёма межвиткового пространства. Производительность шнекового транспортёра обычно больше или равна производительности долота, выраженной в объёме разрушенной породы (с учётом её разрыхления в 1,3-1,6 раза). Частота вращения шнеков диаметром до 100 мм не менее 150-200 и не более 500 об/мин, при диаметре 150-200 мм - от 80-100 до 150-200 об/мин.

Наиболее эффективны шнеки с центральным каналом, через который к забою подаются вода или воздух, что снижает коэффициент трения породы о поверхность шнеков и крутящий момент. По каналу шнеков доставляются съёмные кернаприёмники, забивные и обуривающие грунтоносы,

пенетрационные зонды, спускаются в скважину фильтры и взрывчатые вещества. Полые шнеки могут использоваться в качестве обсадной колонны. Центр. канал шнеков при бурении сплошным забоем перекрывают съёмным долотом на канате или бурильных трубах.

Шнековое бурение используется для проходки скважин глубиной до 50 (реже до 100-120 м), диаметром от 60 до 600-800 мм в мягких и рыхлых породах, а также в породах средней твёрдости, при ведении сейсморазведочных, геологоразведочных, взрывных работ, а также инженерно-геол. изысканиях, сооружении гидрогеологических скважин.

Преимуществами шнекового бурения являются высокие скорости (до 100-300 м/смену) и простота организации работ. Перспективы шнекового бурения связаны с созданием специализированного бурового оборудования повышенной мощности, комбинацией этого способа с др. видами бурения (с промывкой и продувкой), с применением съёмных керноприёмников и непрерывным выносом образцов пор.

Основой бурового инструмента для шнекового бурения служат буровые шнеки составляющие колонну с непрерывной спиральной ребордой от полотна или коронки на забое до поверхности (Рис.4.2). В зависимости от разновидности бурения применяют три основных вида шнеков: обычные, в том числе и утяжеленные, магазинные и полые. Наиболее часто применяют обычные буровые шнеки (рис.4.2), которые носят также название стандартных буровых шнеков.

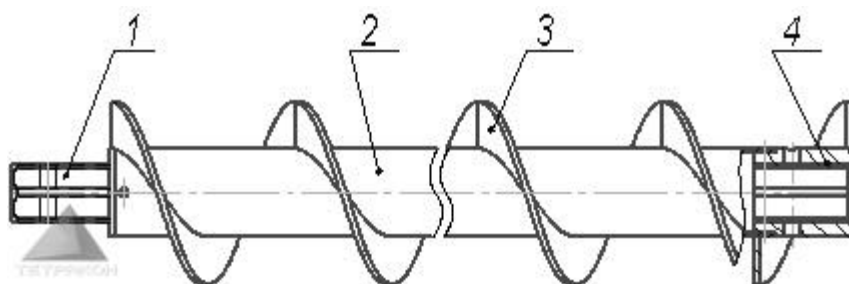


Рис. 4.2 Конструкция шнека

Магазинный шнек (рис. 4.3) состоит из трубы 1, диаметр которой несколько больше, чем у трубы обычного шнека. На наружной поверхности трубы приваривают спиральную реборду с шагом и наружным диаметром, равными обычным шнекам. На нижнем конце магазинного шнека на резьбе навинчена коронка 3, а внутри размещена разъемная гильза.

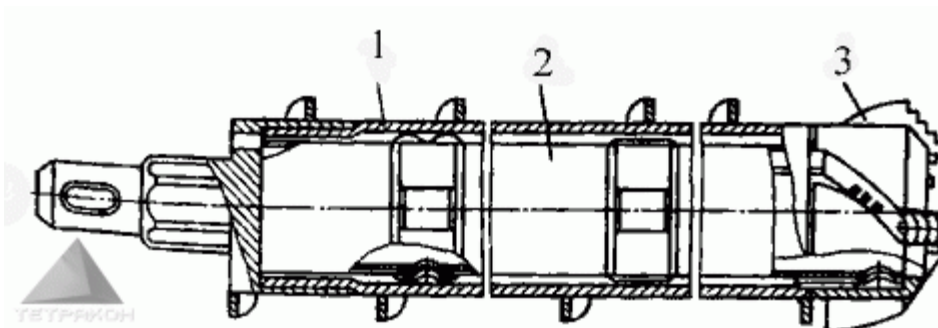


Рис. 4.3 Колонковый (магазинный) шнек.

Вибрационное бурение

Вибрационное бурение позволяет получить скважины глубиной 15...40 м, диаметром 108...219 мм. Для этого используют установки АВБ-2М, АВБ-3, БУЛИЗ-15 и др. Транспортной базой для этих установок являются автомобили.

В качестве бурового инструмента применяют зонд, стакан, желонку и бурильные колонки. Наиболее распространенным является зонд, который может быть с одним или несколькими клапанами.

Вибрационное бурение ведут в песчаных и глинистых породах. В первом случае используют собственно вибрационное бурение, а во втором - виброударное.

Сущность вибрационного бурения состоит в том, что в процессе вибрации бурового снаряда резко снижается сопротивление породы. Это позволяет ему быстро погружаться в грунт. При виброударном бурении буровой снаряд погружается в грунт под действием частых ударов,

наносимых по его верхнему концу. Поэтому его применяют в грунтах со значительным лобовым сопротивлением.

В настоящее время вибрационное бурение часто используется при почвенном опробовании.

Обзор современных буровых установок, используемых для производства инженерно-геологических изысканий, представлен в Приложении 1.

5. Срез целиков грунта

Общие требования к проведению полевых испытаний грунтов

Метод определения характеристик физико-механических свойств грунтов устанавливают в программе испытаний в зависимости от стадии проектирования, грунтовых условий, вида и уровня ответственности проектируемых зданий и сооружений. Методы полевых испытаний грунтов в зависимости от вида грунта приведены в таблице А.1 работы [14].

Полевые испытания проводят непосредственно на поверхности грунта, в массиве грунта или опытных горных выработках (котлованах, шурфах, дудках или буровых скважинах). Площадка, выбранная для проведения испытаний грунтов или проходки горной выработки, должна быть при необходимости спланирована и оконтурена водоотводной канавой. Размеры площадки устанавливают из условий размещения выработки и установки для испытаний грунта.

Точки проведения испытаний или опытные выработки закрепляют временными знаками с использованием геодезических методов. Планово-высотная привязка этих точек должна быть приведена в материалах испытаний.

Испытания просадочных грунтов, проводимые с замачиванием, следует выполнять на специально отводимой опытной площадке.

Способы проходки выработок для испытаний должны обеспечивать сохранение ненарушенного природного сложения и плотности грунта и его природной влажности, а также, при необходимости, и напряженно-деформируемого состояния. При бурении скважины для испытания грунта ниже уровня подземных вод не допускается его понижение в скважине. При подготовке к испытанию грунта забой выработки зачищают до ненарушенного природного грунта, а при испытании мерзлого грунта - до ненарушенного мерзлого грунта. Выработки, в которых проводятся полевые

испытания, должны находиться на расстоянии, исключающем влияние на них рядом расположенных выработок (котлованов, выемок и др.). В процессе проходки выработок следует вести документацию литологического строения, а в мерзлых грунтах - также криогенного строения толщи грунтов.

Места проведения испытаний должны быть защищены от проникновения поверхностных вод и атмосферных осадков, а в зимнее время - от промерзания. Приборы и оборудование должны быть защищены от непосредственного воздействия солнечных лучей, сильного ветра и атмосферных осадков.

Результаты полевых испытаний грунта заносят в журналы испытаний, содержащие данные о месте проведения испытаний, схему расположения точек испытаний или опытных горных выработок, описание и другие необходимые характеристики грунта, данные об используемых установках, приборах, оборудовании и методиках (стандартах) выполнения испытаний. Образцы грунта для определения этих характеристик отбирают непосредственно в опытных горных выработках на отметке испытания грунта и на расстоянии не более 3 м от оси выработки.

Срез целиков проводится для определения прочностных характеристик грунтов.

Прочностью грунтов называется их способность сопротивляться разрушению. В общем случае разрушение грунта может быть вызвано силами разной природы (механическими, термическими, электрическими и др.), поэтому выделяют соответствующие типы прочности грунтов по природе разрушающих воздействий. В инженерно-геологических целях в первую очередь важно знать *механическую прочность* грунтов, т. е. их способность сопротивляться разрушению под влиянием механических напряжений. Если деформационные характеристики грунтов определяются

при напряжениях, не приводящих к разрушению (т. е. докритических), то параметры прочности грунтов соответствуют критическим разрушающим напряжениям и определяются при предельных нагрузках, вызывающих либо разделение тела на части (для упругих грунтов), либо необратимое изменение формы тела в результате деформации пластического течения (для пластичных грунтов) [2].

Физическая природа прочности грунтов определяется силами взаимодействия между их структурными элементами - кристаллами, зернами, обломками, агрегатами, частицами, т. е. зависит от типа и особенностей структурных связей. Чем больше силы взаимодействия между структурными элементами грунта, тем выше его прочность в целом. Поэтому скальные грунты, среди которых преобладают прочные химические (кристаллизационные и цементационные) структурные связи, имеют большую прочность, чем дисперсные грунты со слабыми физическими и физико-химическими структурными связями.

Прочность грунтов определяется их *сопротивляемостью сдвигу*, которое можно описать линейной зависимостью Кулона (рис. 5.1.б)

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ – касательное напряжение (сопротивление сдвигу), МПа (кПа); σ – нормальное (вертикальное) напряжение (давление), МПа (кПа); $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; φ – угол внутреннего трения, град; c – сцепление МПа.

Закон Кулона для несвязного грунта имеет следующий вид (рис.5.1.а):

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

где φ - угол внутреннего трения. Угол внутреннего трения следует рассматривать как параметр линейного графика среза образца песчаного грунта, который проведен через начало координат.

Однако в ряде случаев диаграмма может иметь начальный участок со,

называемый зацеплением. Обычно величина этого зацепления очень невелика.

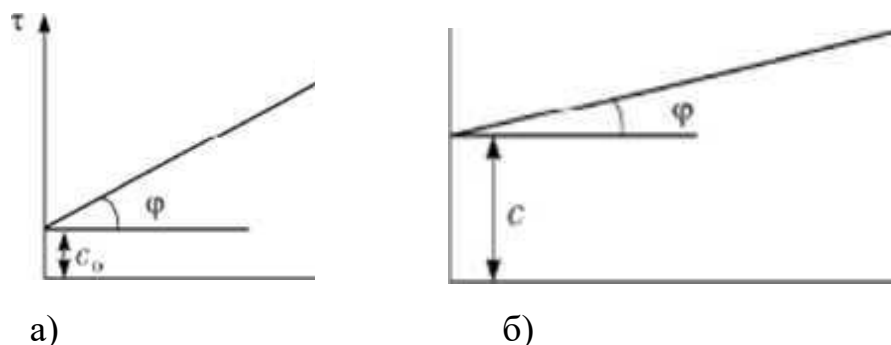


Рис. 5.1. Результирующая схема испытания прямым срезом [2]
а - песчаный грунт; б - глинистый грунт

Область применения метода среза целиков грунта

Прочностные характеристики грунтов определяют как лабораторными, так и полевыми методами.

Согласно своду правил, регламентирующих проведение инженерно-геологических изысканий [20], срез целиков грунта методом поступательного (одноплоскостного) среза используют для определения характеристик грунтов при расчете устойчивости склонов или прочностных свойств массива, сложенных крупнообломочными или неоднородными грунтами (Рис. 5.2).

Сущность метода

Испытания целиков грунта на срез проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 20276-2012 «ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» [15].

Характеристики определяют по результатам среза целика в выработке (расчистке, котловане, шурфе, штреке и т.п.) по фиксированной плоскости касательной нагрузкой при одновременном нагружении целика грунта нагрузкой, нормальной к плоскости среза.



Рис. 5.2 Крупнообломочные грунты

Допускаются испытания крупногабаритного монолита, отделенного от массива, в крупногабаритной срезной установке по типу лабораторного срезного прибора (Рис. 5.3)



Рис. 5.3 Крупногабаритная установка для среза цилиндров грунта.

Соппротивление грунта срезу определяют как предельное среднее касательное напряжение, при котором целик грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном давлении. Для определения значений ϕ и c необходимо провести не менее трех испытаний целиков грунта при различных значениях нормального давления при испытании однородного грунта в одной выработке и на одной глубине.

Испытания можно проводить для следующих состояний грунта:

- природного сложения и природной влажности;
- насыпных и намывных грунтов независимо от влажности;
- крупнообломочных грунтов нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Испытания проводят по следующим схемам:

- консолидированно-дренированный (медленный) срез - для определения характеристик прочности крупнообломочных грунтов, песков и глинистых грунтов с показателем текучести $I_L < 1$ (независимо от коэффициента водонасыщения) в стабилизированном состоянии;
- неконсолидированный (быстрый) срез - для определения характеристик прочности водонасыщенных глинистых грунтов (при $S_r > 0,85$) с показателем текучести $I_L - 0,5$ в нестабилизированном состоянии.

Оборудование и приборы

В состав установки для испытания целика грунта методом среза должны входить:

- кольцо с внутренним диаметром $D = 200$ мм и высотой кольца $H = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}\right)D$, мм. Размер включений не должен превышать $1/5$ диаметра образца;
- жесткие штампы размерами, соответствующими внутреннему диаметру кольца;

- механизм для вертикального нагружения целика грунта;
- механизм для создания срезающей нагрузки с анкерным устройством;
- устройства для измерения деформаций целика грунта и прикладываемой нагрузки.

Принципиальная схема проведения срезовых испытаний приведена на рисунке 5.4.

Конструкция установки должна обеспечивать:

- приложение касательной нагрузки в фиксированной плоскости среза или не более чем на 30 мм выше этой плоскости;
- передачу нормальной и касательной нагрузок ступенями или в виде непрерывно возрастающей нагрузки с постоянной скоростью;
- градуировку измерительных приборов и установление поправок на преодоление трения при перемещении кольца (целика) относительно неподвижной части установки.

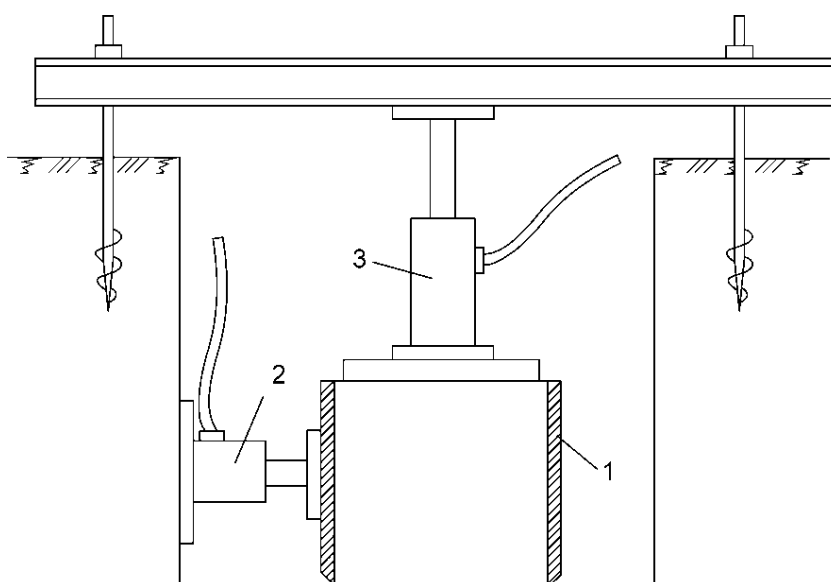


Рис. 5.4. Принципиальная схема испытания блока грунта на срез: 1 – стальной цилиндр; 2 – домкрат горизонтальной нагрузки; 3 – домкрат вертикальной нагрузки

Для создания нормальных и касательных нагрузок применяют домкраты или тарированные грузы.

Приборы (прогибомеры, индикаторы и др.) для измерения деформаций сжатия и среза целика грунта с погрешностью не более 0,1 мм должны быть надежно закреплены на металлической реперной системе.

Подготовка к испытанию

На отметке испытания в выработке вырезают целик грунта с помощью кольца в следующем порядке:

- кольцо смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки;

- кольцо устанавливают на выровненную и зачищенную горизонтальную поверхность грунта в заранее намеченное положение и постепенно, не допуская перекосов, вдавливают кольцо вручную или с помощью домкрата, обрезая грунт вокруг кольца;

- поверхность грунта в кольце выравнивают и на выровненную поверхность укладывают слой маловлажного песка (мелкого или средней крупности) толщиной 1-2 см для глинистых грунтов и 3 см - для крупнообломочных грунтов.

В нижней части целика между краем кольца и поверхностью грунта в основании выработки оставляют зазор размером 1-2 см, но не менее 1/2 максимального размера включений, по которому должна пройти плоскость среза при испытании. Этот зазор должен быть восстановлен в случае его нарушения при подготовке к срезу грунта.

При отборе крупногабаритных монолитов целик грунта отделяется от массива, для чего в его нижней части между торцом и поверхностью выработки должен быть оставлен зазор высотой 1 - 2 см, по которому следует провести подрезку и отделение монолита от массива грунта. Затем поверхность отрыва выравнивают, а кольцо с грунтом доставляют к установке, причем во избежание вывала грунта ее торцы закрывают специальными крышками.

После вырезания целика грунта на кольцо устанавливают штамп и монтируют устройство для передачи нормальной и касательной нагрузок и реперную систему с индикаторами для измерения деформаций сжатия и среза целика грунта (Рис.5.5).



Рис. 5.5 - Проведение среза целика грунта в шурфе

Деформации целика грунта следует определять как среднеарифметическое показаний двух приборов, фиксирующих:

- смещение противоположных сторон кольца в направлении приложения касательной нагрузки в плоскости среза;
- осадку противоположных сторон штампа от нормальной нагрузки.

После монтажа установки и измерительной системы записывают начальные показания приборов (или устанавливают приборы на нулевые деления).

Проведение испытания по схеме консолидированно-дренированного (медленного) среза

Предварительное уплотнение целика грунта проводят нормальными давлениями p , при которых определяют сопротивление грунта срезам τ .

Нормальные давления передают на целик грунта последовательно ступенями; значения давлений и их ступеней указаны в таблице 5.1 [15].

Таблица 5.1 - Значения нормальных давлений и ступеней давления при предварительном уплотнении грунтов

Грунты	Нормальное давление p , МПа			Ступени давления Δp , МПа
	p_1	p_2	p_3	
пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные; глины с $I_L < 0$	0,1	0,3	0,5	0,1
Пески гравелистые, крупные и средней крупности средней плотности; пески мелкие плотные и средней плотности; супеси и суглинки с $I_L < 0,5$; глины с $0 < I_L < 0,5$	0,1	0,2	0,3	0,05
Пески гравелистые, крупные, средней крупности и мелкие рыхлые; пески пылеватые независимо от плотности; глинистые грунты с $I_L > 0,5$	0,1	0,15	0,2	0,025
Органо-минеральные и органические грунты	0,05	0,01	0,15	0,025

Каждую ступень давления при предварительном уплотнении необходимо выдерживать не менее:

- 5 мин - для крупнообломочных грунтов и песков;
- 30 мин - для глинистых грунтов;
- 1 ч - для органо-минеральных и органических грунтов.

Конечную ступень выдерживают до условной стабилизации деформации сжатия целика грунта.

За критерий условной стабилизации деформации сжатия принимают приращение осадки целика, не превышающее 0,05 % за время, указанное в таблице 5.2 [15].

В процессе предварительного уплотнения целиков грунта при дальнейшем испытании необходимо записывать в журнале испытаний значения деформации сжатия целиков.

Таблица 5.2 - Время условной стабилизации деформации

Грунты	Время условной стабилизации деформации, мин	
	Сжатие	Срез
Пески гравелистые, крупные независимо от влажности; средней крупности и мелкие с коэффициентом водонасыщения $S_r < 0,5$	30	1
Пески средней крупности и мелкие с коэффициентом водонасыщения $0,5 < S_r < 1,0$; пылеватые с $S_r < 0,5$; глинистые грунты с $I_L < 0,25$	60	3
Пески пылеватые с коэффициентом водонасыщения $0,5 < S_r < 1,0$; глинистые грунты с $0,25 < I_L < 1,0$	120	5
Органо-минеральные и органические грунты	180	10

Отсчеты по приборам на каждой ступени нагружения следует проводить:

- при испытаниях крупнообломочных грунтов и песков - на промежуточных ступенях давления в начале и конце ступени и конечной ступени давления через 10 мин в течение первого получаса и через 15 мин в течение второго получаса, далее через 30 мин до условной стабилизации деформации грунта;

- при испытаниях глинистых грунтов - на промежуточных ступенях давления через 10 мин и на конечной ступени через каждые 15 мин в течение первого часа и 30 мин в течение второго часа и далее через 1 ч до условной стабилизации деформации грунта.

После предварительного уплотнения грунта и восстановления зазора проводят срез целика грунта при ступенчатом или плавном увеличении касательной нагрузки.

При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10 % значения нормальной нагрузки, при которой производят срез. На каждой ступени нагружения записывают показания приборов для измерения деформации среза через каждые 2 мин до ее условной стабилизации. За критерий условной стабилизации среза принимают

приращение перемещения кольца в плоскости среза, не превышающее 0,1 мм за время, указанное в таблице 5.2.

При непрерывно возрастающей касательной нагрузке скорость среза должна быть постоянной и соответствовать указанной в [15]. Деформации среза фиксируют не реже чем через 2 мин.

Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части грунта по отношению к другой или общая деформация среза превысит 10 %.

При проведении среза с постоянной скоростью за окончание испытаний принимают момент, когда касательная нагрузка достигнет максимального значения, после чего наблюдается некоторое ее снижение или установлено постоянство значения деформации среза, или если общее значение деформации среза превысит 10 %. После окончания испытания целики грунта следует разгрузить и отобрать из зоны среза две пробы грунта для определения влажности.

Проведение испытания по схеме неконсолидированного среза

На целик грунта передают сразу в одну ступень нормальное давление p , при котором будут проводить срез целика грунта. Значения p указаны в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Значения нормальных давлений при срезе [15]

Грунты	Нормальное давление p , МПа
Глинистые и органо-минеральные грунты с показателем текучести: $I_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Если при этих значениях будет происходить выдавливание грунта в зазор между кольцом и поверхностью выработки, то испытание необходимо повторить на других целиках при меньших значениях давлений.

Сразу после передачи нормальной нагрузки проводят срез целика грунта не более чем за 5 мин с момента приложения нормальной нагрузки.

При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10 % значения нормальной нагрузки, при которой проводят срез, и приложение ступеней должно следовать через каждые 15 - 30 с.

При передаче непрерывно возрастающей касательной нагрузки скорость среза принимают в интервале 5 - 20 мм/мин так, чтобы срез произошел в течение указанного времени.

Момент окончания испытания устанавливают, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части грунта по отношению к другой или общая деформация среза превысит 10 %. По окончании испытания следует зафиксировать максимальную касательную нагрузку в процессе испытания. После окончания испытания целики грунта следует разгрузить и отобрать из зоны среза две пробы грунта для определения влажности.

В процессе полевых испытаний ведут журнал по форме, отображенном в Приложении 2 .

Обработка результатов

По измеренным в процессе испытаний значениям нормальной и касательной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения τ и σ , МПа, по формулам:

$$\tau = 10 \frac{Q}{A}; \quad (5.1)$$

$$\sigma = 10 \frac{P}{A}; \quad (5.2)$$

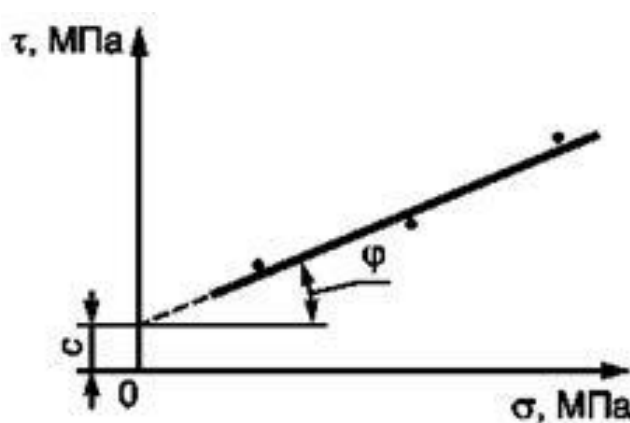
где Q и P - касательная и нормальная нагрузки к плоскости среза соответственно, кН;

A - площадь среза, см².

За касательную нагрузку принимают максимальную касательную нагрузку (P_{max}) при заданной нормальной нагрузки (Q).

За сопротивление грунта принимают **максимальное значение τ** , полученное по графику $\tau = f(\Delta l)$ при значениях деформации Δl , не превышающих 50 мм.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определяют по графику $\tau = f(p)$ (Рис. 5.6), построенному по результатам не менее чем трех



испытаний цилиндров грунта.

Рис. 5.6. График $\tau = f(p)$, где τ - касательное напряжение; φ - угол внутреннего трения; c - удельное сцепление; σ - нормальное напряжение

Значение c определяют как отрезок, отсекаемый осредняющей прямой графика, проведенной методом наименьших квадратов или графическим методом, на оси ординат, а $\text{tg}\varphi$ - как угол наклона этой прямой к оси абсцисс.

Обработка результатов испытаний на практических занятиях проводится в табличном процессоре Excel, пример приводится в Приложении 2.

6. Вращательный срез грунта

Область применения метода

Согласно своду правил, который регламентирует проведение инженерно-геологических изысканий [20], прочностные характеристики органо-минеральных и глинистых грунтов текучепластичной и текучей консистенции определяют методом вращательного среза в соответствии с ГОСТ 20276 -2012 «ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» [15].

Испытания грунта вращательным срезом проводят для определения следующих характеристик прочности: сопротивления грунта срезу τ , сопротивления грунта недренированному сдвигу c_u и оценки пространственной изменчивости прочности глинистых, органо-минеральных и органических грунтов, в том числе с крупнообломочными включениями размерами 2 - 10 мм в количестве не более 15 % по массе.

Испытание вращательным срезом проводят в условиях практического отсутствия дренирования путем приложения горизонтальной касательной нагрузки и смещения грунта по цилиндрической поверхности, образуемой вращением крыльчатки ниже забоя скважины или в массиве (таблица 6.1).

Таблица 6.1 - Условия применения метода вращательного среза [15]

Грунты	Гидрогеологические условия	Условия применения метода				
		Место проведения испытания	Глубина испытания, м	Миним. диаметр скважины, мм	Миним. диаметр обсадных труб, мм	Миним. площадь среза грунта, см ²
Суглинки, глины с $I_L > 0,50$; органо-минеральные и органические грунты	Выше и ниже уровня подземных вод	В массиве ниже забоя буровой скважины	0,5 - 20	89 - 146	89 - 146	200 - 600
Суглинки, глины с $I_L > 1$; органо-минеральные и органические грунты	Выше и ниже уровня подземных вод	В массиве с поверхности	0,3 - 20	-	-	200 - 600

Оборудование и приборы

Конструкция установки должна обеспечивать:

- вдавливание крыльчатки в грунт ниже забоя опытной скважины или массив и фиксацию ее на заданной глубине;
- передачу крутящего момента на крыльчатку;
- градуировку устройства для измерения крутящего момента;
- фиксирование штанг на заданной глубине, исключающее самопроизвольное вертикальное и горизонтальное перемещения штанг и крыльчатки.

Принципиальная схема прибора вращательного среза на Рис. 6.1.

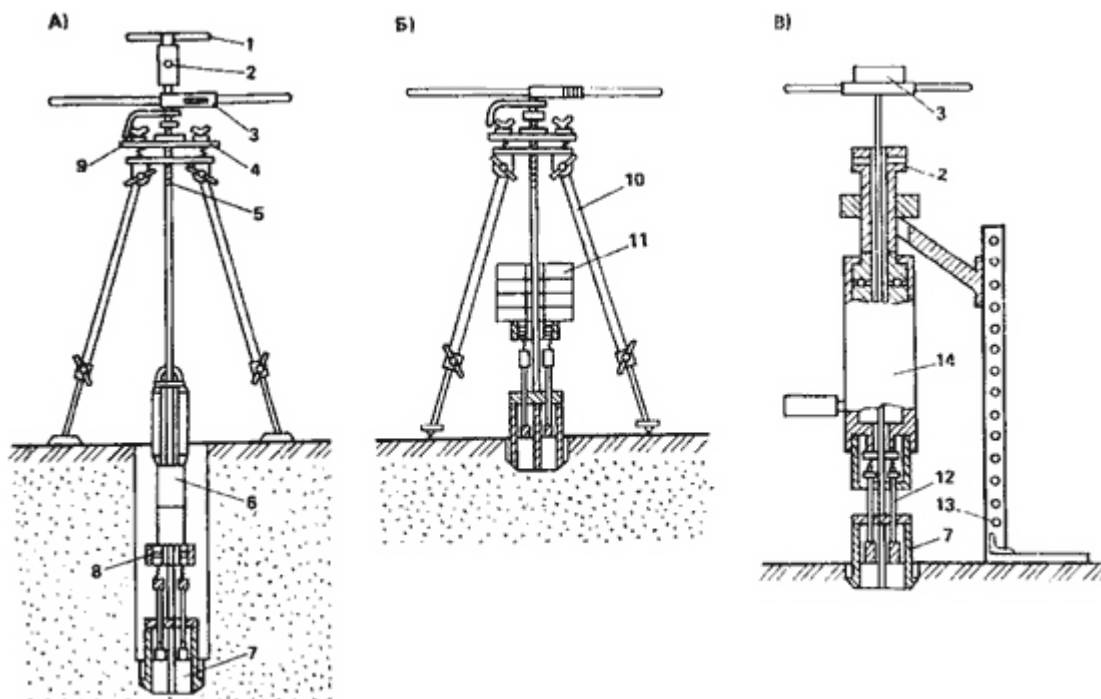


Рис. 6.1. Схема приборов вращательного среза для определения плотности и расчетных прочностных характеристик грунтов : а - СПГ для контроля грунтов в скважинах; б - то же, для испытания на поверхности; в - СПГ-2п для контроля плотности грунтов; 1-динамометр сжатия; 2 - домкрат; 3 - динамометрический ключ (рукоятка); 4 - столик; 5 - штанга; 6 - переходная муфта; 7 - крыльчатка с тонкостенным стаканом; 8 - устройство для распределения давления; 9 - упорная гайка; 10 - тренога; 11 - грузы; 12 - распределительное устройство; 13-опорная площадка; 14 - нагрузочное устройство

В состав установки для испытания грунта вращательным срезом должны входить:

- рабочий наконечник с лопастями (крыльчатка) (Рис. 6.2);
- штанги (Рис.6.3);
- устройства для создания и измерения крутящего момента (Рис. 6.4);
- устройство для вдавливания крыльчатки в грунт.

Для испытания грунта в массиве установку дополняют устройством для отключения крыльчатки от штанг, позволяющим измерять трение штанг о грунт при неподвижной крыльчатке.



Рис. 6.2 Крыльчатки прибора вращательного среза.



www.opt-union.ru

Рис. 6.3 Прибор вращательного среза в комплекте (с механическим устройством измерения крутящего момента)



Рис. 6.4 Прибор вращательного среза в комплекте (с электрическим устройством измерения крутящего момента) производства НПП «ГЕОТЕК»

Установки должны иметь технический паспорт, инструкцию по эксплуатации и градуировочную таблицу (Таблица 6.2) предприятия-изготовителя измерительного устройства.

Устройство для измерения крутящего момента должно быть проградуировано. По результатам градуировки составляют график (таблицу) зависимости крутящего момента M , кН*см, от показаний измерительного устройства N , см, и вычисляют постоянную характеристику измерительного устройства n , кН, по формуле

$$n = \frac{M}{N}. \quad (6.1)$$

Таблица 6.2 - Пример градуировочной таблицы

№ п/п	Показание устройства, N, см	Крутящий момент, M, кН*см	Постоянная изм. устройства, n, кН
1	3,2	6	1,88
2	3,3	6,1	1,85
3	3,1	5,8	1,87
Среднее:			1,87

Поверки измерительного устройства необходимо проводить при получении его с предприятия и перед выездом на полевые работы, но не реже одного раза в 3 мес., а также после выявления и устранения неисправностей измерительного устройства или замены его деталей. Результаты проверок следует оформлять актами.

Периодически необходимо проверять прямолинейность штанг путем их сборки в звенья длиной 3 м на ровной поверхности. Отклонение звеньев штанг от прямой линии не должно превышать 3 мм в любой плоскости по всей длине проверяемого звена. Сопряжения звеньев штанг также должны обеспечивать прямолинейность.

Типы крыльчатки в зависимости от вида и состояния грунта используют следующие:

- тип I - при испытаниях глинистых грунтов с $0,5 < I_L \leq 0,75$, органоминеральных грунтов, в том числе с крупнообломочными включениями размерами 2 - 10 мм, в количестве менее 15 % по массе;

- тип II - при испытаниях глинистых грунтов с $0,75 < I_L \leq 1$, органоминеральных, в том числе с крупнообломочными включениями размером более 10 мм, в количестве менее 15 % по массе;

- тип III - при испытаниях глинистых грунтов с $I_L > 1$, органоминеральных и органических грунтов (без крупнообломочных включений).

Основные параметры установки для испытания грунта вращательным срезом приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Состав установки и ее характеристики в зависимости от типа крыльчатки [15]

Состав крыльчатки и ее характеристики	Тип крыльчатки		
	I	II	III
Крыльчатка размерами, мм:	120	150	200
- высота	60	75	100
- ширина	2	2,5	3
- толщина лопасти			
Постоянная крыльчатки B , см ³	791	1545	3663
Штанга, мм:	22 - 33,5 500 - 3000 18		
- наружный диаметр			
- длина			
Максимальный крутящий момент устройства, кН · см, не менее			
Погрешность измерения крутящего момента, кН · м	0,36	0,18	0,18

Примечание - Постоянная крыльчатки B равна статическому моменту цилиндрической поверхности среза относительно оси вращения и вычисляется по формуле

$$B = \frac{\pi d^2}{2} \left(h + \frac{d}{3} \right), \quad (6.2)$$

где d - диаметр крыльчатки, см;

h - высота крыльчатки, см.

Подготовка к испытанию

При испытании грунта в скважине проходку опытной скважины.

Забой опытной скважины должен быть расположен на 0,4 - 0,5 м выше отметки испытания грунта.

Собранную колонну штанг с крыльчаткой общей длиной на 0,8 - 1,2 м больше глубины отметки испытания грунта вертикально (по отвесу) опускают в скважину и плавно вдавливают в грунт, заглубляя крыльчатку до отметки испытания.

При испытании грунта в массиве крыльчатку вдавливают в грунт, применяя в случае необходимости рычаги, домкраты или специальные устройства, постепенно наращивая колонну штанг.

После погружения верх колонны штанг соединяют с головкой устройства для создания и измерения крутящего момента и записывают начальные показания приборов.

Проведение испытания

С помощью устройства для создания крутящего момента вращают колонну штанг с крыльчаткой с угловой скоростью 0,2-0,3 град/с. По мере вращения записывают показания приборов для измерения крутящего момента до достижения максимального показания N_{\max} , соответствующего максимальному значению крутящего момента M_{\max} .

Далее продолжают вращение с угловой скоростью 2-3 град/с до условной стабилизации значений крутящего момента, достигаемой за 2-3 полных оборота штанги, и записывают установившееся значение $N_{\text{уст}}$, соответствующее установившемуся значению крутящего момента M_c .

При испытании грунта в скважинах допускается не учитывать трение штанг крыльчатки по грунту и принимать крутящий момент на преодоление этого трения M_0 равным нулю.

При испытании грунта в массиве для определения M_0 отсоединяют крыльчатку от колонны штанг и определяют показания измерительного прибора N_0 .

Испытания в массиве можно проводить до глубины, где отношение

$$\frac{M_c - M_0}{M_c} \geq 0,5.$$

При меньших значениях этого отношения испытание следует проводить в скважине.

Обработка результатов

Поданным испытаний вычисляют крутящие моменты M_{\max} , M_c и M_0 по формулам:

$$M_{\max} = n \cdot N_{\max}; \quad (6.3)$$

$$M_c = n \cdot N_{\text{уст}}; \quad (6.4)$$

$$M_0 = n \cdot N_0, \quad (6.5)$$

где n - постоянная измерительного устройства, кН, определяемая по результатам градуировки;

N_{\max} , $N_{\text{уст}}$ - максимальное и установившееся показания измерительного устройства, см;

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

За сопротивление грунта срезу τ_{\max} , МПа, принимают значение, определяемое по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\max} - M_0}{B}, \quad (6.6)$$

где B - постоянная крыльчатки, см³, принимаемая в зависимости от типа крыльчатки.

Для глинистых, органо-минеральных и органических водонасыщенных грунтов по результатам испытания методом вращательного среза определяют сопротивление недренированному сдвигу c_u , принимая $c_u = \tau_{\max}$.

Пример журнала обработки данных вращательного среза приведен в таблице 6.4

Таблица 6.4 - Журнал испытания грунта методом вращательного среза

Тип крыльчатки: _____

Постоянная крыльчатки, В, см³: _____

Постоянная изм. устройства, п, МПа:

Отметка испытания на глубине, м	Показания измерительного устройства, см			Крутящие моменты, кН · см			Удельное сопротивление срезу, МПа		Сопротивление недрен. срезу, МПа
	N_{\max}	$N_{\text{уст}}$	N_0	M_{\max}	$M_{\text{уст}}$	M_0	τ_{\max}	$\tau_{\text{уст}}$	C_u

7. Испытания штампом

Деформационные свойства грунтов

Сжимаемость грунтов обуславливается изменением их пористости вследствие переупаковки частиц, ползучестью водных оболочек, вытеснением воды из пор грунта. Сжатие полностью водонасыщенных грунтов возможно только при условии вытеснения воды из пор грунта.

Деформационные свойства грунтов определяются тремя параметрами. Это модуль упругости E , модуль общей деформации E_0 и коэффициент Пуассона. Чем выше значения E или E_0 , тем «жестче» поведение грунта и меньше его сжимаемость.

Модуль деформации, или, как его называют в механике сплошной среды, модуль Юнга, является коэффициентом пропорциональности зависимости «деформация-напряжение», предложенной Гуком в виде [2]:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \sigma_z;$$

здесь каждому равному приращению одноосного напряжения σ_z соответствует пропорциональное возрастание осевой деформации ε_z .

Модуль упругости всегда больше модуля общей деформации. Модуль упругости определяется из испытаний образцов грунта при их упругом поведении, которое имеет место при разгрузке (ветвь *ab* на рис. 1), а модуль общей деформации, характеризующий поведение грунта при наличии как упругих, так и остаточных деформаций, и находят из испытаний по ветви нагружения *0a* (Рис. 7.1).

Закон сжимаемости в дифференциальной форме имеет вид

$$\frac{de}{dp} = -m_0,$$

где e – пористость; p - давление; m_0 - коэффициент сжимаемости, $(\text{МПа})^{-1}$. Знак минус вызван тем, что при увеличении давления коэффициент пористости уменьшается.

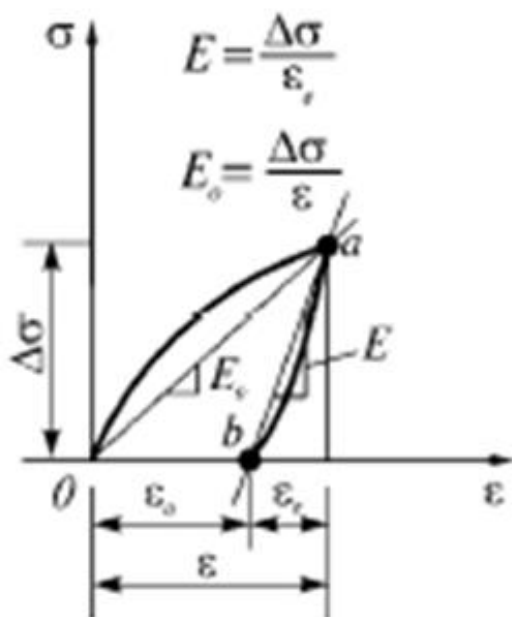


Рис. 7.1 Упругое и неупругое поведение грунта.

Коэффициентом сжимаемости называется отношение приращений коэффициента пористости и давления. Коэффициент относительной сжимаемости m_v есть величина m_0 , деленная на $1 + e_0$:

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0},$$

где e_0 - коэффициент пористости в естественных условиях.

Коэффициентом Пуассона называется отношение относительных деформаций (поперечной ϵ_x к продольной ϵ_z), взятое с обратным знаком в случае, если действуют только вертикальные напряжения σ_z (напряжения σ_x и σ_y в этом случае отсутствуют). Коэффициент Пуассона теоретически изменяется от -1 до +0,5, а практически - от 0 до +0,5. Коэффициент Пуассона не может быть более 0,5, так как в этом случае при всестороннем сжатии

($\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y$) должен был бы увеличиваться объем грунта, что физически невозможно. Таким образом,

$$\mu_0 = -\frac{\Delta \epsilon_x}{\Delta \epsilon_z}$$

при $\sigma_x = \sigma_y = 0$

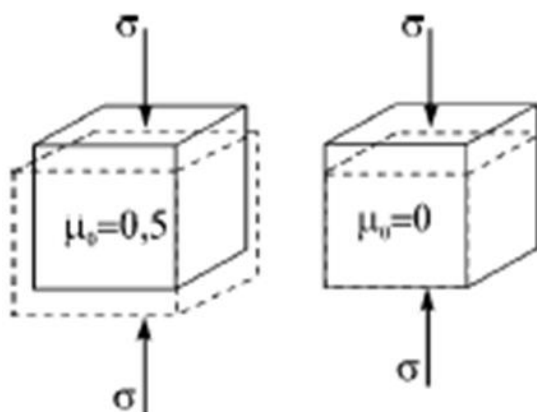


Рис. 7.2 Вид деформаций и значение коэффициента Пуассона.

Область применения метода

Согласно действующих регламентов [17,20], основными методами получения деформационных показателей в массиве грунта являются испытания штампом, прессиометрия, а также, в сочетании с ними, статическое зондирование.

Для зданий и сооружений повышенного и нормального уровней ответственности, проектируемых на естественном основании, испытания грунтов статическими нагрузками следует осуществлять штампами площадью 600, 2500 и 5000 см² на проектируемой глубине (отметке) заложения фундаментов, а в пределах сжимаемой толщи взаимодействия зданий и сооружений с основанием – штампами площадью 600 см² (плоскими или винтовыми) в скважинах.

Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 20276 -2012 «ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости».

Метод полевого определения характеристик деформируемости грунтов - испытания штампом применяется для дисперсных грунтов (пески, супеси, суглинки, глины).

Испытания грунта проводят в горных выработках (расчистках, котлованах, шурфах, штреках, буровых скважинах и т.д.) или в массиве грунта. Схемы испытаний грунта для определения характеристик деформируемости приведены на Рис. 7.3.

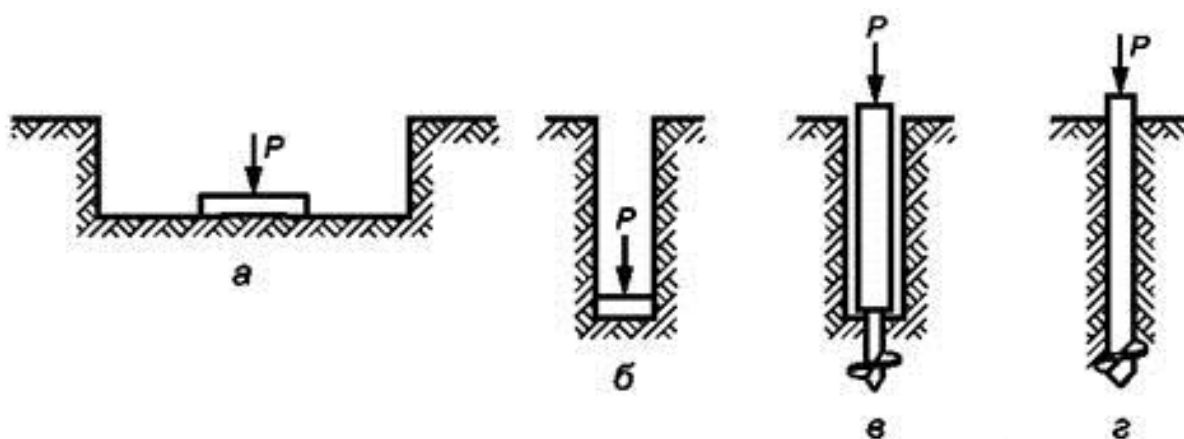


Рис. 7.3. Схемы испытаний грунта для определения характеристик деформируемости методом испытания штампом.

Минимальная толщина однородного слоя испытуемого грунта должна быть не менее двух диаметров штампа при испытании грунта штампом.

На отметке испытания грунта в скважинах и других выработках должны быть отобраны образцы и в лабораторных условиях определены следующие физические характеристики: гранулометрический состав, влажность и плотность грунта, плотность частиц грунта, влажность на границах раскатывания и текучести, а также вычислены плотность сухого

грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения, число пластичности и показатель текучести.

Испытание грунта штампом проводят для определения следующих характеристик деформируемости дисперсных грунтов:

- модуля деформации E минеральных, органо-минеральных и органических грунтов;

- начального просадочного давления p_{sl} и относительной деформации просадочности ε_{sl} для просадочных глинистых грунтов при испытании с замачиванием.

Характеристики определяют по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в забое горной выработки с помощью штампа.

Результаты испытаний оформляют в виде графиков зависимости осадки штампа от нагрузки.

При испытании грунта в шурфе размеры шурфа определяют в зависимости от необходимости крепления его стен и глубины проходки. Минимальные размеры шурфа в плане 1,5x1,5 м.

Диаметр опытной буровой скважины должен быть 325 мм. Бурение скважины следует вести с обсадкой трубами до забоя. Для грунтов залегающих выше уровня грунтовых вод и устойчивых к обрушению допускается бурение скважины без обсадки.

Замачивание просадочных грунтов при испытаниях в котлованах и дудках следует проводить до коэффициента водонасыщения $S_r > 0,8$ на глубину не менее двух диаметров штампа ниже его подошвы.

Оборудование и приборы

В состав установки для испытания грунта штампом должны входить:

- штамп;
- устройство для создания и измерения нагрузки на штамп;
- анкерное устройство (для установок без грузовой платформы);

- устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений);

- устройство для замачивания и контроля влажности грунта (при испытании просадочных грунтов).

Конструкция установки должна обеспечивать:

- возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01 - 0,1 МПа;

- центрированную передачу нагрузки на штамп;

- постоянство давления на каждой ступени нагружения.

Штампы должны быть жесткими, круглой формы, следующих типов:

I - с плоской подошвой площадью 2500 и 5000 см²;

II - с плоской подошвой площадью 1000 см² с кольцевой пригрузкой по площади, дополняющей площадь штампа до 5000 см² (рис. 7.4);

III - с плоской подошвой площадью 600 см²;

IIIa - с плоской подошвой площадью 600 см² и встроенным зачистным устройством;

IV - винтовой штамп площадью 600 см².

Тип и площадь штампа назначают в зависимости от вида, подвида или разновидности испытываемого грунта по таблице 7.1.

Нагружение штампа осуществляют различными грузами, пневматическим или гидравлическим домкратом с применением предварительно оттарированных манометров или динамометров.

Нагрузку измеряют с погрешностью не более 5 % ступени давления.

При испытании грунтов в скважинах и измерении осадок штампа по перемещениям верха колонны труб, служащих для передачи нагрузки на штамп, учитывают деформацию сжатия труб от нагрузки и предусматривают мероприятия, исключающие их продольный изгиб.

Таблица 7.1 - Тип и площадь штампа в зависимости от разновидности грунта [15]

Грунты	Положение штампа относительно уровня подз. вод	Глубина испытания, м	Место проведения испытания	Штамп	
				Тип	Площадь, см ²
Крупнооблом.;пески; глинистые при любых значениях I_L (Рис.3 а)	На уровне подземных вод и выше	По всей толще	В котловане, шурфе, дудке	I	5000
				I	2500
				II	1000
Просадочные при испытаниях с замачиванием (Рис.3 а)	Выше уровня подземных вод	По всей толще	В котловане, шурфе, дудке	I	5000
Крупнообломочные; пески плотные; глины и суглинки с $I_L \leq 0,5$; супеси с $I_L \leq 0$ (Рис.3 б)	На уровне подземных вод и выше	По всей толще	В забое скважины	III	600
Глинистые с $I_L < 0,25$ (Рис.3 в)	Ниже уровня подземных вод	По всей толще	Ниже забоя скважины	IIIa	600
Пески; глинистые при любых значениях I_L ; органо-минеральные и органические (Рис. 3 в)	На уровне подземных вод и выше	По всей толще	Ниже забоя скважины (без обсадки)	IV	600
	Ниже уровня подземных вод	По всей толще	Ниже забоя скважины (с обсадкой)	IV	600
Глинистые с $I_L > 0,5$; органо-минеральные и органические (Рис.3 г)	Выше и ниже уровня подземных вод	До 10	В массиве без бурения скважины	IV	600



Рис. 7.4 Плоский штамп площадью 1000 см².



Рис. 7.5 Штапмовые испытания грунтов на глубинне заложения фундамента штампом площадью 5000 см².



Рис. 7.6 Штамповые испытания грунтов в скважине винтовым штампом площадью 600 см^2 с упором в станину буровой установки.

Подготовка к испытанию

При испытаниях в котлованах, шурфах и дудках штамп с плоской подошвой устанавливают на дно выработки. Для достижения плотного контакта подошвы штампа с грунтом необходимо провести не менее двух поворотов штампа вокруг его вертикальной оси, меняя направление поворота. После установки штампа проверяют горизонтальность его положения.

В глинистых грунтах с $I_L > 0,75$ штамп следует устанавливать в выемку, устраиваемую на дне выработки. Глубина выемки должна быть 40-60 см, поперечный размер выемки не должен превышать диаметр штампа более чем на 10 см. Стенки выемки при необходимости следует закрепить.

Поверхность грунта в пределах площади установки штампа должна быть тщательно спланирована. При затруднении в планировке грунта

следует устраивать из маловлажного песка мелкого или средней крупности подушку толщиной 1-2 см для глинистых и не более 5 см - для крупнообломочных грунтов.

При испытании в скважинах штампом типа III площадью 600 см² установку штампа проводят после зачистки забоя скважины специальным буровым наконечником-зачистителем в несколько приемов с его извлечением на поверхность после каждой зачистки.

Штамп, прикрепленный к колонне труб, имеющей направляющие хомуты, опускают в скважину и добиваются плотного контакта штампа с грунтом не менее чем двумя поворотами колонны труб вокруг оси. Штамп должен быть установлен ниже обсадной трубы на глубину 2-3 см.

Погружение винтового штампа проводят завинчиванием механически или вручную ниже забоя скважины или с поверхности в массив грунта без бурения скважины. При испытаниях в скважинах глубина завинчивания винтового штампа ниже забоя скважины должна быть 50 см для глинистых грунтов с $I_L > 0,75$ и водонасыщенных песков и 30 см - для остальных грунтов.

В процессе завинчивания винтового штампа необходимо обеспечить синхронность его вращения с погружением. Глубина погружения за один оборот должна соответствовать шагу винтовой лопасти.

После установки штампа монтируют устройство для нагружения штампа, анкерное устройство и измерительную систему.

После монтажа всех устройств и измерительной системы записывают начальные показания приборов.

Проведение испытания

Нагрузку на штамп следует увеличивать ступенями давлений Δp , указанными в таблицах 7.2, 7.3, 7.4. Общее число ступеней давления после достижения давления, соответствующего вертикальному эффективному

напряжению от собственного веса грунта σ_{zg} на отметке испытания, должно быть не менее четырех.

В первую ступень давления следует включить вес деталей установки, влияющих на нагрузку штампа. Время выдержки каждой последующей ступени давления должно быть не менее времени выдержки предыдущей.

Таблица 7.2 - Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамповых испытаниях для крупнообломочных и песчаных грунтов

Грунты	Коэффициент водонасыщения	Ступени давления Δp , МПа, при плотности сложения грунтов			Время условной стабилизации деформации t , ч
		Плотные	Средней плотности	Рыхлые	
Крупнообломочные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,1	0,1	0,5
Пески грав. и крупные	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,05	0,025	0,5
Пески средней крупн.	$S_r \leq 0,5$	0,1	0,05	0,025	0,5
	$0,5 < S_r < 1,0$	0,1	0,05	0,025	1,0
Пески мелкие и пылеватые	$S_r \leq 0,5$	0,05	0,025	0,01	1,0
	$0,5 < S_r \leq 1,0$	0,05	0,025	0,01	2,0

Таблица 7.3 - Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамповых испытаниях для глинистых грунтов

Грунты	Ступени давления Δp , МПа, при коэффициенте пористости				Время усл. стабилизации деформ. t , ч
	$e \leq 0,5$	$0,5 < e \leq 0,8$	$0,8 < e \leq 1,1$	$e > 1,1^*$	
Глинистые с показ. текучести:					
$I_L \leq 0,25$	0,1	0,1	0,05	0,05	1
$0,25 < I_L \leq 0,75$	0,1	0,05	0,05	0,025	2
$0,75 < I_L \leq 1$	0,05	0,025	0,025	0,01	2
$I_L > 1$	0,05	0,025	0,01	0,01	3

* При коэффициенте пористости $e > 1,1$ время условной стабилизации увеличивается на 1 ч.

Таблица 7.4 - Ступени давления и время условной стабилизации деформации при штамповых испытаниях для просадочных, органо-минеральных и органических грунтов

Грунты	Ступени давления Δp , МПа	Время условной стабилизации деформации t , ч
Просадочные природной влажности	0,5	1
Просадочные после замачивания	0,025	2
Органо-минеральные и органические	0,005 - 0,01	4

Каждую ступень давления выдерживают до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа). За критерий условной стабилизации деформации принимают скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за время указанное в таблицах 7.2, 7.3, 7.4.

Отсчеты по индикаторам на каждой ступени нагружения проводят:

- при испытании крупнообломочных грунтов и песков через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин в течение второго получаса и далее через 30 мин до условной стабилизации деформации грунта;

- при испытании глинистых грунтов через каждые 15 мин в течение первого часа, 30 мин в течение второго часа, далее через 1 ч до условной стабилизации деформации грунта.

Обработка результатов

По данным испытаний строят график зависимости осадки штампа от давления $S = f(p)$ (Рис. 7.7).

Модуль деформации вычисляют в диапазоне давлений от p_0 до p_n .

За начальное значение p_0 и S_0 принимают давление, равное вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта σ_{zg} на отметке испытания, и соответствующую осадку; за конечные значения p_n и S_n - значения p_i и S_i , соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

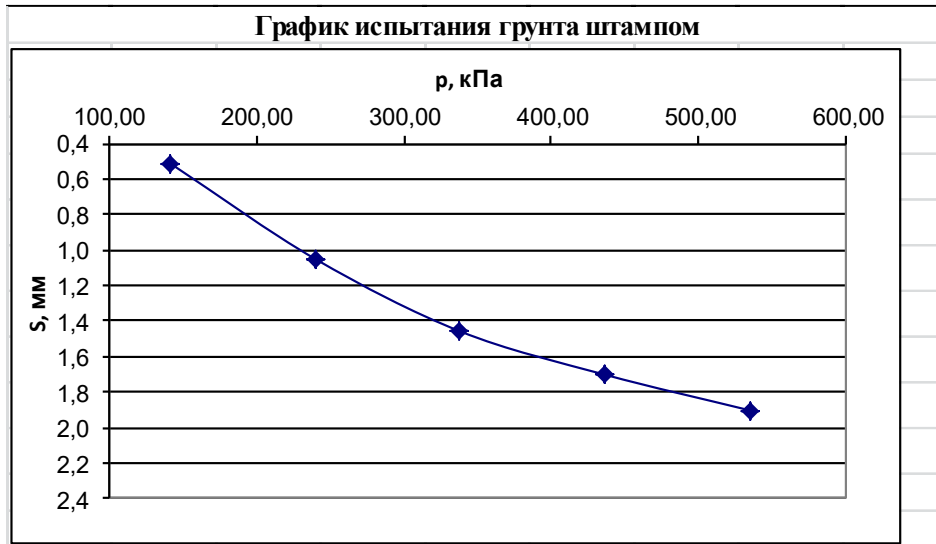


Рис. 7.7. График зависимости осадки штампа от давления $S = f(p)$.

Если при давлении p_i приращение осадки будет вдвое больше, чем для предыдущей ступени давления p_{i-1} , а при последующей ступени давления p_{i+1} приращение осадки будет равно или больше приращения осадки при p_i , за конечные значения p_n и S_n следует принимать p_{i-1} и S_{i-1} . При этом число точек в рассматриваемом диапазоне должно быть не менее трех. В противном случае при испытании грунта необходимо применять меньшие ступени давления.

Модуль деформации грунта E , МПа, вычисляют по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S},$$

где ν - коэффициент поперечного расширения (Пуассона), принимаемый равным 0,27 для крупнообломочных грунтов; 0,30 - для песков и супесей; 0,35 - для суглинков; 0,42 - для глин;

K_p - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа h/D (h - глубина расположения штампа относительно дневной поверхности грунта, см; D - диаметр штампа, см);

K_1 - коэффициент, принимаемый для жесткого круглого штампа равным 0,79;

Δp - приращение давления на штамп, МПа, равное $p_n - p_0$;

ΔS - приращение осадки штампа, соответствующее Δp , см.

Коэффициент K_p принимают равным 1 при испытаниях грунтов штампами в котлованах, шурфах и дудках. При испытаниях грунта штампом типа III в забое буровых скважин также допускается принимать коэффициент K_p равным 1 независимо от h/D .

При испытаниях грунтов винтовым штампом в буровых скважинах ниже забоя и в массиве без бурения скважин коэффициент K_p принимают в зависимости от отношения h/D по таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Значение коэффициента K_p в зависимости от отношения глубины испытания и диаметра штампа [15]

h/D	0	1	2	3	4	□ 5
K_p	1	0,90	0,82	0,77	0,73	0,70

Проведение испытаний с помощью штамповой установки ВШ-60 производства НПП «Геотек»

Выравнивается площадка для установки оборудования.

Забуриваются анкера и согласно Рис. 7.8 устанавливается оборудование.

Перед началом нагружения штампа записывают в полевой журнал «нулевые показания» индикаторов ИЧ-50: №1, №2 и №3.

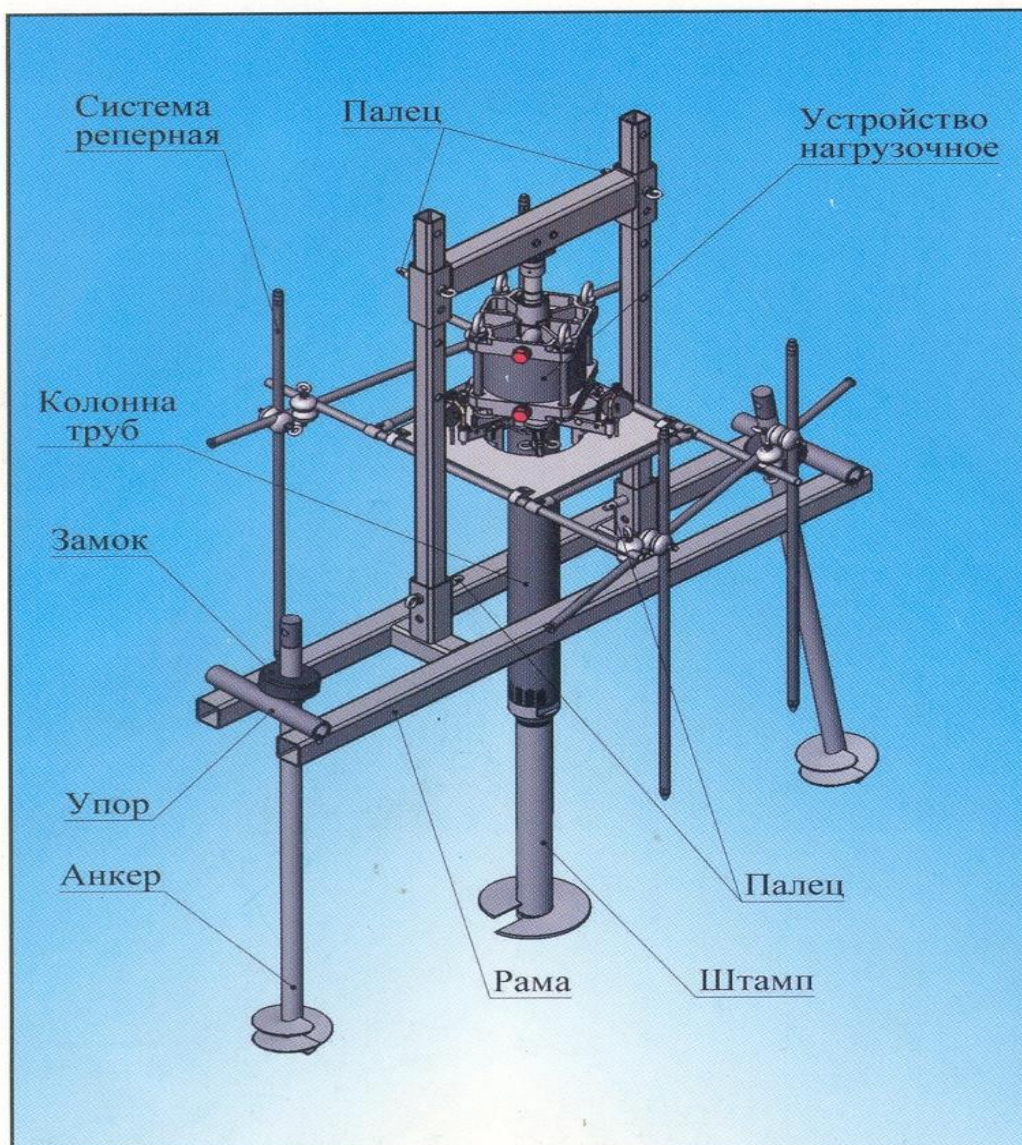


Рис. 7.8 . Принципиальная схема устройства штамповой установки ВШ 60.

При помощи редуктора увеличивают давление в пневмоцилиндре до величины первой ступени нагрузки, которая в зависимости от вида и состояния грунта назначается в соответствии с таблицами 2, 3 и 4.

Величина давления под штампом $P_{шт}$, $кПа$ определяется исходя из показаний манометра $P_{ми}$, $кПа$ и собственного веса оборудования по формуле:

$$P_{шт} = P_{ми} * 0.818 + P_{шт,об},$$

где:

- $P_{ми}$ - показания манометра, кПа;
- 0.818- коэффициент нагрузочной системы;
- $P_{шт.об.}$ - давление под штампом от веса оборудования, кПа.

Собственный вес оборудования C , кН должен быть рассчитан для каждого опыта по формуле:

$$C = Q + L * ml,$$

где:

- $Q = 0.8$ кН, суммарный вес Штампа и Устройства нагрузочного;
- L , м - общая длина труб диаметром 127, составляющих ствол

штампа;

- ml , - вес 1 м трубы - 0,147 кН;

Давление под штампом от веса оборудования $P_{шт.об.}$, кПа, рассчитывается по формуле:

$$P_{шт.об.} = C / 0,06$$

Давление в пневмоцилиндре контролируется по манометру. При выдержке на ступени заданная величина давления поддерживается автоматически посредством регулятора.

Вмешательство оператора может потребоваться при изменении давления более, чем на 5% от величины ступени.

Показания индикаторов перемещений №1_i, №2_i и №3_i записывают в Полевой журнал:

- для песчаных грунтов: в течение первого получаса, через 10 мин., второго получаса, через 15 минут, далее через 30 минут до условной стабилизации деформаций грунта;
- для глинистых грунтов, через 15 минут в течение 1-го часа, через 30 минут в течение 2-го часа и далее через час до условной стабилизации деформаций грунта.

Время условной стабилизации деформаций в зависимости от вида и состояния грунта принимают в соответствии с табл. 7.2, 7.3 и 7.4.

После выполнения критерия условной стабилизации, при помощи редуктора, задаётся следующая ступень давления, и все операции повторяются.

За критерий условной стабилизации принимают скорость осадки штампа не более 0,1 мм за время условной стабилизации.

Число ступеней давления после достижения вертикального нормального давления от собственного веса грунта на отметке испытания $\sigma_{zq,0}$ должно быть не менее четырёх.

Вертикальное нормальное давление от собственного веса грунта на глубине h , при отсутствии грунтовых вод на отметке испытания, определяется по формуле:

$$\sigma_{zq,0}, \text{ кПа} = \rho * h * 9,8 \text{ где}$$

- ρ - средняя плотность грунта выше отметки испытания, т/м^3 ,
- h - глубина испытания. м .

При наличии грунтовых вод выше отметки испытания, $\sigma_{zq,0}$ определяется с учётом взвешивающего действия воды:

$$\sigma_{zq,0} = (h(\rho-1) + h_1) * 9,8, \text{ где}$$

- $h_1, \text{ м}$ - уровень грунтовых вод от поверхности грунта.

При достижении заданного давления на штамп (при количестве ступеней нагрузки более 4-х) можно завершить опыт или выполнить испытание в режиме разгрузки. При испытаниях в режиме разгрузки, давление в пневмоцилиндре уменьшают при помощи редуктора двойными ступенями с записью отсчётов в полевой журнал.

Обработка результатов испытаний

По данным испытаний строят график зависимости осадки от давления $S=f(p)$.

Модуль деформации грунта E , $кг/см^2$, вычисляют по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) * Kp * Kl * D * Dp/Ds, \text{ где}$$

- ν - коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,30 - пески и супеси; 0,35 - суглинки; 0,42 - глины;

- Kp - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа h/D (h - глубина расположения штампа, в см; D - диаметр штампа, см);

- $Kl = 0,79$;

- Dp - приращение давления на штамп, равное $\Delta p - p(n) - p(o)$;

- Ds - приращение осадки штампа, соответствующее Dp , равное $Ds = S(n) - S(o)$.

За начальное значение p_o и S_o принимают давление, равное вертикальному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания $\sigma_{zq, 0}$.

При заполнении поля «Поправка к показаниям прогибомеров, мм» таблицы «Журнал испытания грунта штампом» (Приложение 3) следует рассчитать поправки на упругое сжатие ствола под действующей нагрузкой.

Расчёт поправки c , мм можно выполнить по формуле:

$$c = Rшт * 0,06 * L * Hr / 10000, \text{ мм}$$

- где Hr - коэффициент, обратный продольной жесткости трубы. Для труб диаметром 127 значение коэффициента Hr принято - 25;

- 0,06 - площадь штампа, $м^2$.

Полученную поправку следует вычитать из средних показаний индикаторов ИЧ-50.

Результаты испытаний на практических занятиях оформляются в виде паспорта испытаний штампом в табличном процессоре EXCEL (Приложение 3).

8. Испытания радиальным прессиомером

Область применения и сущность метода

Прессиометрия наряду с испытаниями штампом в сочетании со статическим зондированием является одним из методов получения деформационных показателей в массиве грунта [17,20].

Испытание грунта радиальным прессиомером проводят для определения модуля деформации E песков, глинистых, органо-минеральных и органических грунтов [15].

Модуль деформации определяют по результатам нагружения грунта горизонтальной нагрузкой в стенках скважины с помощью радиального или лопастного прессиометра (рис. 8.1).

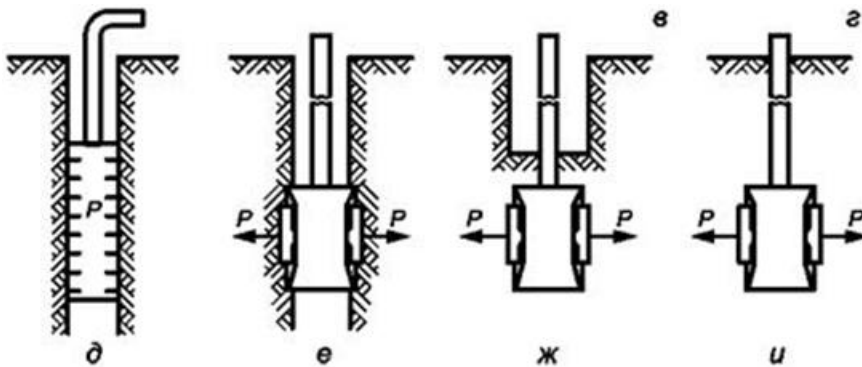


Рис. 8.1 Схемы испытаний грунтов прессиометрами: а - радиальным прессиомером; б - лопастным прессиомером в стенке скважины; ж - лопастным прессиомером ниже забоя буровой скважины; и - лопастным прессиомером в массиве;

Результаты испытания оформляют в виде графика зависимости горизонтальных перемещений грунта от горизонтального давления.

При испытании грунта радиальным прессиомером применяют следующее оборудование и способы проходки скважин, обеспечивающие сохранение природного напряженного состояния грунта:

- самозабуривающиеся прессиометры;

- бурение скважин под защитой тяжелых растворов;
- проходку участка скважины, на котором будут проводиться испытания, с помощью подвижной колонны обсадных труб.

В грунтах, обеспечивающих устойчивость стенок скважины, допускается проведение испытаний без сохранения природного напряженного состояния. При этом обязательным является сохранение природного сложения грунтов.

При проходке опытной скважины запрещается применение ударно-канатного, вибрационного и шнекового бурения, начиная с отметки на 1 м выше участка, на котором будет проводиться испытание. На этом участке скважину следует проходить вращательным способом с помощью колонковой трубы, обуривающего грунтоноса или буровой ложки, частота вращения которых не должна превышать 60 оборотов в минуту, осевая нагрузка на буровой наконечник - не более 0,5 кН.

При бурении скважин для испытания грунта ниже уровня подземных вод не допускается понижение уровня подземных вод в скважине.

Диаметр скважин не должен превышать диаметр зонда прессиометра более чем на 10 мм.

Промежуток времени между окончанием бурения опытной скважины и началом испытания грунта выше уровня подземных вод не должен превышать 2 ч, ниже уровня подземных вод 0,5 ч.

Проходку горных выработок в мерзлых грунтах проводят до требуемой по условиям испытаний глубины максимального сезонного оттаивания.

Минимальная толщина однородного слоя испытываемого грунта должна быть не менее 1,5 высоты рабочего наконечника.

На отметке испытания грунта в скважинах и других выработках должны быть отобраны образцы и в лабораторных условиях определены следующие физические характеристики: гранулометрический состав,

влажность и плотность грунта, плотность частиц грунта, влажность на границах раскатывания и текучести, а также вычислены плотность сухого грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения, число пластичности и показатель текучести.

Оборудование и приборы

В состав установки для испытания грунта радиальным прессиометром должны входить (рис. 8.2) [15]:

- зонд, снабженный эластичной оболочкой с каналами для передачи давления рабочей жидкости (воздуха) под оболочку;
- устройство для создания и измерения давления в камере зонда;
- устройство для измерения перемещений оболочки зонда.

Конструкция установки должна обеспечивать:

- возможность создания давления на грунт ступенями по 0,01 - 0,1 МПа;
- постоянство давления на каждой ступени нагружения;
- возможность тарировки зонда.

Длина камеры зонда должна быть не менее четырех ее диаметров.

Примечание - При применении камеры, состоящей из трех секций и более, общая длина секций должна быть не менее четырех их диаметров.

Устройство для измерения давления в камере зонда должно обеспечивать измерение давления с погрешностью не более 5 % ступени давления.

Устройство для измерения перемещений оболочки зонда должно обеспечивать измерение деформаций стенок скважины при применении прессиометров с внешним диаметром камеры зонда от 76 до 127 мм с погрешностью не более 0,1 мм в пределах изменения начального диаметра камеры в 1,5 раза.

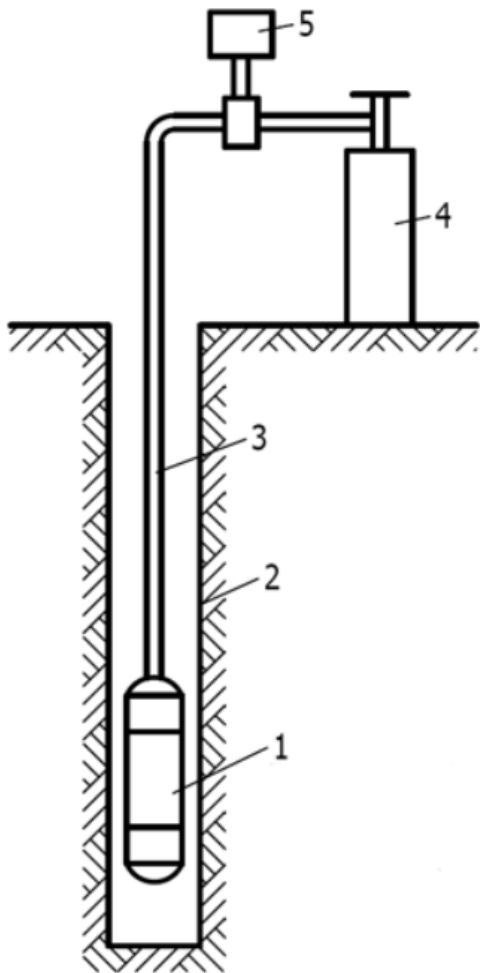


Рис. 8.2 Схема испытания грунта прессиометром: 1 – резиновая камера, 2 – скважина; 3 – шланг; 4- баллон сжатого воздуха.

Измерение перемещений оболочки зонда рассчитывают по изменению объема жидкости, расходуемой на расширение камеры зонда, или непосредственным определением радиуса камеры зонда в отдельных точках дистанционными датчиками перемещений (рис. 8.3).



Рис. 8.3 Электровоздушный радиальный прессиометр ПЭВ-89МК производства ООО «ГЕОТЕСТ».

Подготовка к испытанию

В скважину устанавливают зонд так, чтобы середина камеры зонда была расположена на отметке испытания.

При проходке скважины с применением подвижной колонны обсадных труб в грунт предварительно внедряют тонкостенный рабочий стакан, прикрепленный к колонне труб, из которого удаляют грунт.

Далее на отметку испытания опускают зонд прессиометра, рабочая оболочка которого смазана глинистой суспензией из бентонитовой глины или специальной смазкой. В зонде прессиометра создают давление, равное напряжению бытового давления на отметке испытания, после чего обсадную трубу приподнимают на высоту зонда.

После установки зонда на отметке испытания необходимо смонтировать устройства для создания и измерения давления в камере зонда и измерения перемещения оболочки зонда.

Проведение испытания [15]

В камере зонда создают давление ступенями по 0,025 МПа до момента соприкосновения оболочки зонда со стенками скважины и далее приступают к нагружению грунта ступенями давлений, указанными в таблице 8.1 Каждая ступень давления создается за 1 - 2 мин.

Таблица 8.1 - Ступени давления при прессиометрических испытаниях

Грунты	Характеристики грунтов	Ступени давления, МПа
Песчаные	Плотные	0,1
	Средней плотности	0,05
	Рыхлые	0,025
Глинистые	$I_L \leq 0,5$	0,05
	$I_L > 0,5$	0,025

При определении давления на стенку скважины в случае применения гидравлических прессиометров независимо от обводненности скважины необходимо к значению измеренного манометром давления добавлять значение гидростатического давления столба жидкости в гидромагистрали прессиометра.

Каждую ступень давления выдерживают до условной стабилизации деформации грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимают скорость увеличения радиуса скважины, не превышающую 0,1 мм за время, указанное в таблице 8.2.

Для зданий и сооружений уровня ответственности I испытания грунтов радиальными прессиометрами следует проводить в медленном режиме. Допускается проводить испытание грунта радиальными прессиометрами в быстром режиме в тех случаях, когда выполнены сопоставительные испытания радиальными прессиометрами в медленном и быстром режимах не менее чем с двукратной повторяемостью для данной разновидности грунта на площадке проведения изысканий.

Для зданий и сооружений уровней ответственности II и III испытания радиальными прессиометрами допускается проводить в быстром режиме.

Таблица 8.2 - Время условной стабилизации деформации при прессиометрических испытаниях

Грунты	Режим испытания	Время условной стабилизации деформации t , мин
Пески с коэффициентом водонасыщения: $S_r \leq 0,8$ $S_r > 0,8$	Медленный	15
Глинистые с показателем текучести: $I_L \leq 0,25$ $I_L > 0,25$		30
Органо-минеральные и органические		90
Пески Глинистые Органо-минеральные и органические		Быстрый
Примечания		
1 При испытаниях искусственно уплотненных, насыпных и намывных грунтов время условной стабилизации деформации должно назначаться также, как и для соответствующих типов песчаных и глинистых грунтов в зависимости от коэффициента водонасыщения и показателя текучести.		
2 При применении прессиометров с погрешностью измерения перемещений меньше 0,1 мм время условной стабилизации деформации уменьшается пропорционально увеличению точности измерения перемещения стенки скважины.		

По специальному заданию для определения модуля деформации по ветви повторного нагружения может быть проведена разгрузка образца грунта, а затем повторное нагружение. Последняя ступень разгрузки и начало повторного нагружения определяются заданием. Повторное нагружение проводят в последовательности, аналогичной последовательности первого нагружения. Число ступеней при разгрузке допускается уменьшить.

Отсчеты по приборам для измерения деформаций на каждой ступени давления проводят в соответствии с таблицей 8.3.

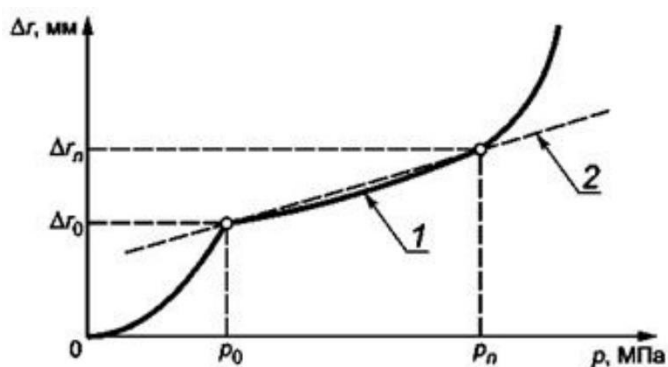
Таблица 8.3 - Порядок снятий отсчетов деформаций при прессиометрических испытаниях

Грунты	Режим испытания	
	Медленный	Быстрый
Пески	Через 5 мин в течение первых 15 мин, далее - через 15 мин	Через 1 мин в течение первых 3 мин, далее - через 3 мин
Глинистые	Через 10 мин в течение первых 30 мин, далее - через 30 мин	Через 2 мин в течение первых 6 мин, далее - через 6 мин
Органо-минеральные и органические	Через 15 мин в течение первых 60 мин, далее - через 30 мин	Через 2 мин в течение первых 10 мин, далее - через 10 мин

Показания приборов заносят в журнал наблюдений (Приложение 4).

Обработка результатов [15]

По данным испытаний строят график зависимости перемещения стенки скважины от давления $\Delta r = f(p)$.



1 - линейная часть графика; 2 - осредняющая прямая

Рис. 8.4 График зависимости перемещения стенки скважины от давления $\Delta r = f(p)$.

На графике проводят осредняющую прямую методом наименьших квадратов или графическим методом. За начальные значения p_0 и Δr_0 (первая точка, включаемая в осреднение) принимают значения p и Δr , соответствующие моменту полного обжатия неровностей стенок скважины - началу линейного участка графика.

За конечные значения p_n и Δr_n (предел пропорциональности) принимают значения p и Δr , соответствующие точке, ограничивающей линейный участок графика.

Модуль деформации грунта E , МПа, вычисляют для линейного участка графика $\Delta r = f(p)$ по формуле

$$E = K_r \cdot r_0 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r},$$

где K_r - корректирующий коэффициент;

r_0 - начальный радиус скважины, соответствующий значениям p_0 и Δr_0 на графике испытания $\Delta r = f(p)$, см;

Δp - приращение давления на стенку скважины между двумя точками, взятыми на осредняющей прямой, МПа;

Δr - приращение перемещения стенки скважины (по радиусу), соответствующее Δp , см.

Примечание - При вычислении модуля деформации грунта необходимо учитывать определяемые по результатам тарировочных испытаний систематические погрешности измерений Δp и Δr , вызванные собственными деформациями гидросистемы и эластичных оболочек камеры зонда.

При проведении всех испытаний грунтов радиальными прессиометрами в одном режиме (медленном для сооружений уровня ответственности I или быстром для сооружений уровней ответственности II и III) коэффициент K_r определяют по результатам сопоставительных испытаний грунта штампами типов I - IV и радиальным прессиометром, проводимых не менее чем с двукратной повторяемостью для данной разновидности грунта на площадке проведения изысканий.

Для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений уровней ответственности I (по специальному обоснованию), II и III коэффициент K_r допускается принимать по таблицам 8.4, 8.5.

Таблица 8.4 - Значения K_r для медленного режима нагружения

Наименование грунтов	Генетические типы грунтов	Глубина испытания h , м		
		$h < 5$	$5 \leq h \leq 10$	$10 < h \leq 20$
Песчаные и глинистые	Аллювиальные, делювиальные и озерные	3,0	2,0	1,5

Таблица 8.5 - Значения K_r для быстрого режима нагружения

Грунты	Глубина испытания, м	Коэффициент K_r
Пески с коэффициентом пористости: $e < 0,5$ $0,5 \leq e \leq 0,8$ $e > 0,8$	До 20	2,5
		2,25
		2,0
Глинистые с показателем текучести: $I_L < 0,25$ $0,25 \leq I_L \leq 0,5$ $I_L > 0,5$	до 10	2,0
		2,5
		3,0
Глинистые с показателем текучести: $I_L < 0,25$ $0,25 \leq I_L \leq 0,5$ $I_L > 0,5$	От 10 до 20	1,75
		2,5
		3,5
Примечание - Для глинистых элювиальных грунтов необходимо уменьшить корректирующий коэффициент K_r на 20 %.		

При глубинах свыше 20 м корректирующий коэффициент K_r допускается принимать равным:

- для песков и супесей..... 1,3;
- для суглинков..... 1,35;
- для глин..... 1,42.

9. Статическое зондирование

Статическое зондирование: погружение зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

Область применения

Метод полевых испытаний грунтов статическим зондированием применяют в комплексе с другими видами инженерно-геологических работ или отдельно для [17,20].

- выделения инженерно-геологических элементов (толщины слоев и линз, границ распространения грунтов различных видов и разновидностей);
- оценки пространственной изменчивости состава, состояния и свойств грунтов;
- определения глубины залегания кровли скальных, крупнообломочных и мерзлых грунтов;
- количественной оценки характеристик физико-механических свойств грунтов (плотности, модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтов и др.);
- определения степени уплотнения и упрочнения грунтов во времени и пространстве;
- определения сопротивлений грунта под нижним концом и по боковой поверхности свай;
- выбора мест расположения опытных площадок и глубины проведения полевых испытаний, а также мест отбора образцов грунтов для лабораторных испытаний;
- контроля качества геотехнических работ.

Модули деформации E песков и глинистых грунтов могут быть определены методом статического зондирования, используя таблицы,

приведенные в СП 446.13330 [20], или региональные таблицы, приведенные в территориальных нормативно-методических документах.

Для сооружений геотехнической категории 3 значения модуля деформации E по данным зондирования для каждого инженерно-геологического элемента следует корректировать на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых штамповых или прессиометрических испытаний. Для сооружений геотехнической категории 2 значения модуля деформации E по данным зондирования для каждого инженерно-геологического элемента следует корректировать на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых штамповых, прессиометрических или трехосных испытаний [17].

Для зданий и сооружений геотехнической категории 1 допускается определять значения E только по результатам зондирования, используя таблицы, приведенные в СП 446.13330 [20], а при наличии статистически обоснованных региональных данных, приведенных в территориальных нормативно-методических документах, и для сооружений геотехнической категории 2.

Статическое зондирование грунтов проводят в соответствии с ГОСТ ГОСТ 19912 2012 [16].

Зондирование грунтов проводят вдавливанием в грунт зонда при статическом зондировании с одновременным измерением непрерывно или через заданные интервалы по глубине показателей, характеризующих сопротивление грунта внедрению зонда.

Количественную оценку характеристик физико-механических свойств грунтов проводят на основе включенных в действующие нормативные документы статистически обоснованных зависимостей между показателями сопротивления грунта внедрению зонда и результатами определения характеристик грунта другими стандартными методами.

Часть точек зондирования должна быть расположена в непосредственной близости от горных выработок (на расстоянии 1,5-2,5 м) с целью получения данных, необходимых для интерпретации результатов зондирования.

В процессе проведения испытаний статическим зондированием ведется журнал испытаний, результаты испытаний - оформляются в виде таблиц и графиков изменения параметров сопротивления грунта внедрению зонда в зависимости от глубины зондирования. Графики испытаний должны, как правило, сопровождаться инженерно-геологическим разрезом по ближайшей к точке зондирования горной выработке (Приложение 5).

Сущность метода [16]

Испытание грунта методом статического зондирования проводят с помощью специальной установки, обеспечивающей вдавливание зонда в грунт – мобильная установка или с помощью гидравлической мачты самоходной буровой установки (Рис. 9.1).

При статическом зондировании поданным измерения сопротивления грунта под наконечником и на боковой поверхности зонда определяют:

- удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда q_c ;
- удельное сопротивление грунта на муфте трения зонда f_s .

В состав установки для испытания грунта статическим зондированием должны входить:

- зонд (наконечник и штанги);
- устройство для вдавливания и извлечения зонда;
- опорно-анкерное устройство для мобильно установки;
- измерительная система.



Рис. 9.1 Статическое зондирование с помощью гидравлической мачты самоходной буровой установки

В зависимости от усилий, необходимых для вдавливания зонда в различных грунтовых условиях, и диапазонов значений измеряемых показателей сопротивления грунта установки подразделяют на типы в соответствии с таблицей 9.1

Таблица 9.1- Типы установок зондирования [16, таблица 1]

Тип установки	Предельное усилие вдавливания и извлечения зонда, кН	Диапазоны показателей сопротивления грунта		
		q_c , МПа	f_s , кПа	Q_s , кН
Легкая	До 50 включ.	0,1 - 10	2 - 100	0,5 - 10
Средняя	Св. 50 до 100 включ.	1 - 40	5 - 400	1 - 30
Тяжелая	Св. 100	1 - 80	10 - 800	2 - 60

В зависимости от принципа измерения сопротивлений грунта зонды могут быть следующих типов:

- механический (тип I) - зонд с наконечником из конуса и кожуха;

- электрический (тип II) - зонд с наконечником из конуса и муфты трения.

Схемы конструкций зондов приведены на Рис. 9.2, основные параметры в таблице 9.2.

Для электрического зонда допускается применение уширителя диаметром, превышающим диаметр зонда на 10 - 20 мм, и расположенного не ближе 300 мм от муфты трения.

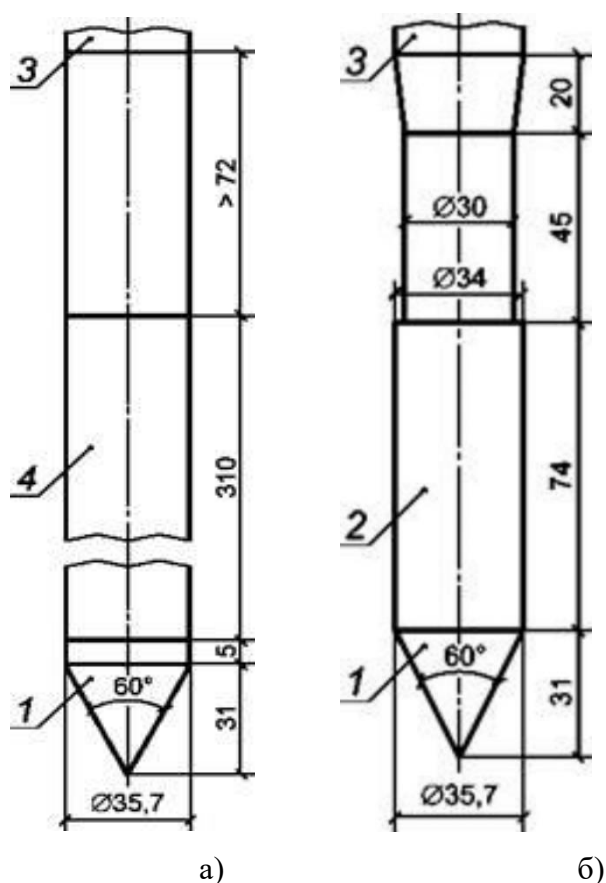


Рис.9.2. Схема конструкции зондов: а) - II типа; б) - I типа. 1 - конус; 2 - кожух, 3 - штанга; 4 - муфта трения

Таблица 9.2. – Основные параметры зондов для статического зондирования

Части зондов	Основные параметры электрического зонда
Конус: - угол при вершине конуса, град - диаметр основания конуса, мм	60 35,7
Муфта трения: - наружный диаметр муфты, мм - длина муфты, мм	35,7 310,0
Штанги зондов; - наружный диаметр, мм - длина звеньев, м, не менее	34,0 1,0
<p>Примечания</p> <p>1 Наконечник электрического зонда должен иметь над муфтой трения цилиндрическую часть длиной не менее 72 мм наружным диаметром, равным диаметру муфты трения.</p> <p>2 Для электрического зонда допускается назначать другой наружный диаметр штанг, но не более 55 мм. Штанга с диаметром, превышающим диаметр зонда, должна располагаться не ближе 300 мм от муфты трения.</p>	

Периодически (но не реже чем через 15 точек зондирования) необходимо проверять прямолинейность штанг зонда и степень износа наконечника.

Прямолинейность штанг проверяют путем сборки их звеньев в отрезки длиной 3 м на ровной поверхности. Отклонение отрезков штанг от прямой линии не должно превышать 3 мм в любой плоскости по всей длине проверяемого отрезка.

Уменьшение высоты конуса наконечника не должно превышать 5 мм, а уменьшение его диаметра – 0,3 мм. Диаметр муфты трения должен быть не менее диаметра конуса наконечника и не более его на 0,35 мм.

Опорно-анкерное устройство должно воспринимать реактивные усилия, возникающие при вдавливании и извлечении зонда.

Основная погрешность измерительных устройств (приборов) должна быть не более:

5 % - при измерении прикладываемой нагрузки;

10 % - при измерении показателей сопротивления грунта (но не более 5 % максимально измеренного значения);

2° - при измерении отклонения наконечника зонда от вертикали;

3,0 см – при измерении глубины погружения зонда.

Измерительные устройства (приборы) необходимо тарировать в соответствии с паспортными данными (но не реже чем через три месяца или 100 точек зондирования).

Проверку смещения нуля следует проводить перед и после каждого испытания. Ее результаты следует учитывать при обработке результатов измерений и балансировке измерительной системы. Герметичность и термокомпенсацию электрического наконечника необходимо проверять не реже чем через три месяца.

Современные зонды по принципу измерения сопротивлений грунта относятся ко II типу, например, такие как «ПИКА-19».

Состав и внешний вид установки «ПИКА-19» представлены на Рис. 9.3.

Подготовка к испытанию

Подготовку к работе установки для испытания грунта статическим зондированием проводят в соответствии с требованиями инструкции по ее эксплуатации. В первую очередь горизонтально выравняется площадка, если необходимо, забуриваются анкера, производится закрепление установки.

При необходимости проверяют прямолинейность штанг и степень износа.

Отклонение мачты установки от вертикали не должно превышать 2°.

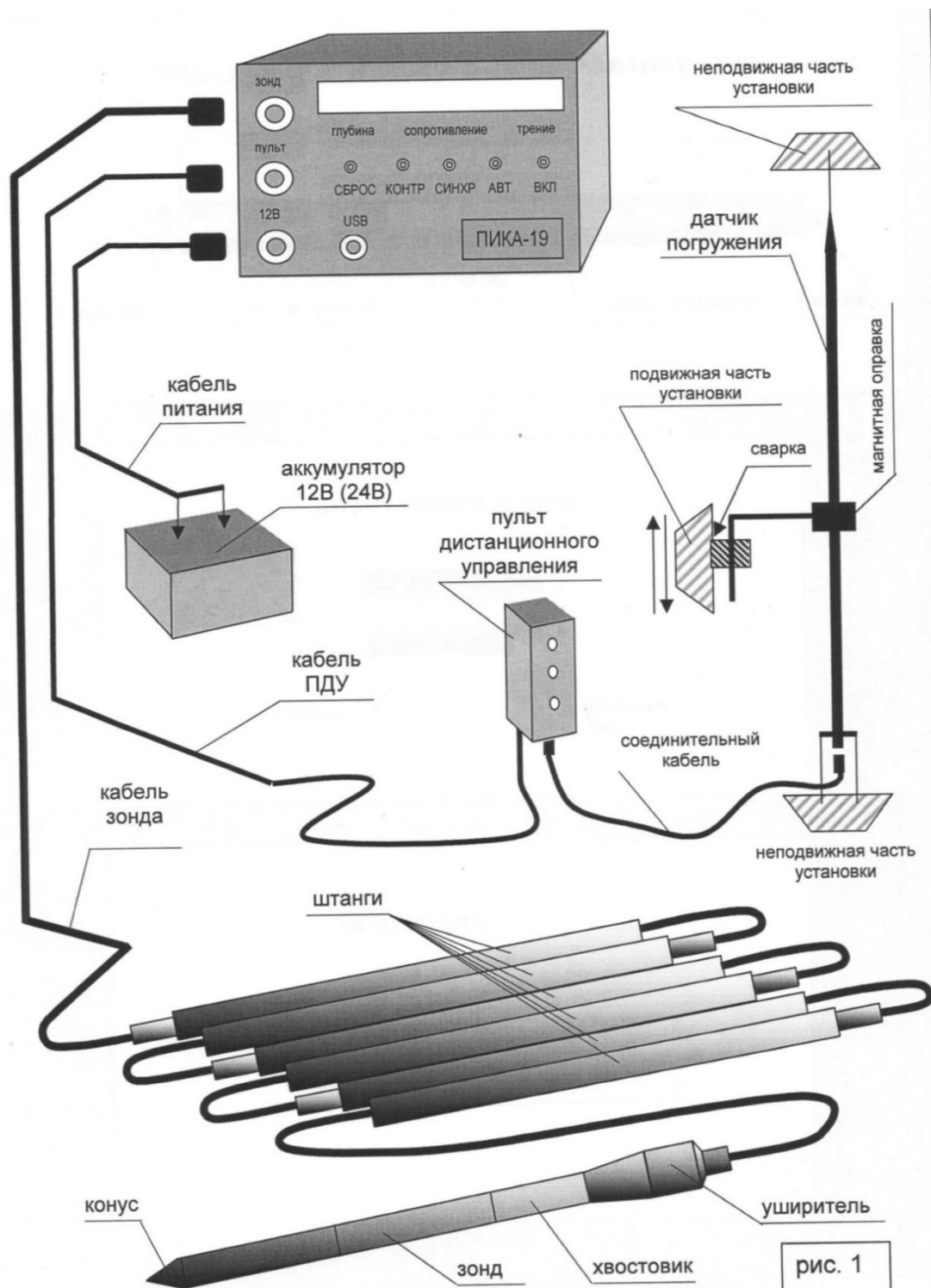


Рис. 9.3. Состав и внешний вид набора аппаратуры «ПИКА-19»

Статическое зондирование следует выполнять путем непрерывного вдавливания зонда в грунт, соблюдая порядок операций, предусмотренный инструкцией по эксплуатации установки. При непрерывном зондировании

перерывы в погружении зонда допускаются только для наращивания штанг зонда.

В процессе зондирования необходимо осуществлять постоянный контроль за вертикальностью погружения зонда.

Проведение испытания

Показатели сопротивления грунта следует регистрировать непрерывно или с интервалами по глубине погружения зонда не более 0,2 м для механического зонда и не более 0,1 м – для электрического зонда.

Скорость погружения зонда в грунт должна быть $(1,2 \pm 0,3)$ м/мин.

В прочных грунтах (в том числе мерзлых) для предотвращения повреждения зонд допускается погружать со скоростью 0,5 м/мин. Интерпретацию результатов испытаний при скорости 0,5 м/мин допускается проводить на основе включенных в действующие нормативные документы статистически обоснованных зависимостей между показателями сопротивления грунта внедрению зонда и результатами определения характеристик грунта другими стандартными методами. Сопротивления грунта внедрению зонда, соответствующие скорости 1,2 м/мин, должны определяться путем введения поправочных коэффициентов. При изысканиях под здания и сооружения пониженного уровня ответственности поправочные коэффициенты допускается не применять.

Испытание заканчивают после достижения: заданной глубины погружения зонда; предельных усилий, отклонения наконечника зонда от вертикали на 15° или изменения его отклонения на 5° на 1 м; опасности повреждения зонда. По окончании испытания зонд извлекают из грунта, а скважину тампонируют.

При невозможности достижения заданной глубины (в том числе из-за труднопроходимых прослоек грунта) вдавливание зонда в грунт допускается проводить с забоя предварительно пройденной скважины. При

необходимости скважина обсаживается трубой внутренним диаметром, превышающим диаметр зонда на 5 – 10 мм.

Регистрацию показателей сопротивления грунта внедрению зонда проводят в журнале испытания или электронном запоминающем устройстве. При использовании электрических зондов регистрация показателей и параметров на электронном запоминающем устройстве является обязательной.

Обработка результатов

По данным измерений, полученным в процессе испытания, определяют значения q_c , f_s (для электрического зонда, составляют таблицы и строят графики изменения этих величин по глубине зондирования (Приложение 5).

В соответствии с СП 22.13330 [17] для зданий и сооружений нормального при нагрузках на фундаменты менее 0,25 МПа и пониженного уровней ответственности прочностные и деформационные свойства допускается определять методом статического и динамического зондирования по приложению Ж СП 446.1325800.2019 [20] (таблицы 9.3–9.6).

При определении физико-механических характеристик грунтов в качестве показателей статического зондирования следует принимать удельное сопротивление грунта под конусом зонда q_c и удельное сопротивление грунта по муфте трения зонда f_s .

При определении физико-механических характеристик грунтов не могут быть использованы показатели зондирования, полученные на глубинах менее 1 м, а также с использованием малогабаритных установок.

Определяемые по настоящему приложению характеристики относятся к кварцевым и кварц-полевошпатовым песчаным грунтам с величиной удельного сцепления менее 0,01 МПа и к глинистым грунтам с содержанием органических веществ менее 10 %.

Таблица 9.3 – Определение плотности сложения песков по данным статического зондирования [20, Табл. Ж.1]

Пески	Плотность сложения при q_c , МПа		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	Более 15	От 5 до 15	Менее 5
Мелкие, независимо от влажности	Более 12	От 4 до 12	Менее 4
Пылеватые: малой и средней степени водонасыщения насыщенные водой	Более 10	От 3 до 10	Менее 3
	Более 7	От 2 до 7	Менее 2

Таблица 9.4 – Определение нормативного модуля деформации песчаных грунтов E по данным статического зондирования [20, Табл. Ж.2]

Пески	Нормативный модуль деформации песчаных грунтов E при q_c , МПа									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Все генетические типы, кроме аллювиальных и флювиогляциальных	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Аллювиальные и флювиогляциальные	17	20	22	25	28	30	33	36	38	41

Таблица 9.5 - Определение нормативного угла внутреннего трения песчаных грунтов φ по данным статического зондирования [20, Табл. Ж.3]

q_c , МПа	Нормативный угол внутреннего трения песчаных грунтов φ , град., при глубине зондирования, м	
	2	5 и более
1,5	28	26
3	30	28
5	32	30
8	34	32
12	36	34
18	38	36
26	40	38

Примечание - Значения угла внутреннего трения φ в интервале глубин от 2 до 5 м определяется интерполяцией.

Таблица 9.6 - Определение нормативных значений модуля деформации E , угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C глин, суглинков и супесей (кроме грунтов ледникового комплекса) по данным статического зондирования [20, Таблица Ж.4]

q_c , МПа	Нормативные значения модуля деформации E , угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C суглинков, глин и супесей (кроме грунтов ледникового комплекса)							
	E , МПа (для глин и суглинков)	Глины		Суглинки		Супеси		
		φ , град	C , МПа	φ , град	C , МПа	E , МПа	φ , град	C , МПа
0,5	3,5	14	0,25	16	0,14	-	-	-
1	7	17	0,30	19	0,17	7	19	0,10
2	14	18	0,35	21	0,23	12	22	0,12
3	21	20	0,40	23	0,29	16	25	0,15
4	28	22	0,45	25	0,35	20	27	0,17
5	35	24	0,50	26	0,41	25	29	0,20
6	42	25	0,55	27	0,47	30	30	0,22
7	-	-	-	-	-	35	31	0,24

10. Динамическое зондирование

Динамическое зондирование - процесс погружения зонда в грунт под действием ударной нагрузки (ударное зондирование) или ударно-вибрационной нагрузки (ударно-вибрационное зондирование) с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда [20].

Область применения

Метод полевых испытаний грунтов динамическим зондированием применяют в комплексе с другими видами инженерно-геологических работ или отдельно для:

- выделения инженерно-геологических элементов (толщины слоев и линз, границ распространения грунтов различных видов и разновидностей);
- оценки пространственной изменчивости состава, состояния и свойств песчаных грунтов;
- определения глубины залегания кровли скальных, крупнообломочных и мерзлых грунтов;
- количественной оценки характеристик физико-механических свойств песчаных грунтов (плотности, модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтов и др.);
- определения степени уплотнения и упрочнения грунтов во времени и пространстве;
- оценки возможности забивки свай и определения глубины их погружения;
- определения сопротивлений грунта под нижним концом свай.

Модули деформации E и угла внутреннего трения песков могут быть определены методом динамического зондирования по ГОСТ 19912-2012 [16], используя таблицы, приведенные в СП 446.1325800.2019 [20], или

региональные таблицы, приведенные в территориальных нормативно-методических документах [17].

Сущность метода

Испытание грунта методом динамического зондирования проводят с помощью специальной установки, обеспечивающей внедрение зонда ударным или ударно-вибрационным способом.

При динамическом зондировании измеряют:

- глубину погружения зонда h от определенного числа ударов молота (залога) при ударном зондировании;
- скорость погружения зонда v при ударно-вибрационном зондировании.

По данным измерений вычисляют условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда p_d .

Оборудование и приборы [17]

В состав установки для испытания грунта динамическим зондированием должны входить:

- зонд (набор штанг и конический наконечник);
- ударное устройство для погружения зонда (молот или вибромолот);
- опорно-анкерное устройство (рама с направляющими стойками);
- устройства для измерения глубины погружения зонда или скорости погружения зонда.

В зависимости от значений необходимой удельной энергии зондирования в различных грунтовых условиях и диапазона измеряемого условного динамического сопротивления грунта установки подразделяют в соответствии с таблицей 10.1.

Таблица 10.1 – Типы установок зондирования [16, табл.2]

Тип установки	Удельная энергия зондирования А, Н/см	Условное динамическое сопротивление грунта p_d , МПа
Легкая	280	До 0,7 включительно
Средняя	1120	Св. 0,7 до 17,5 включительно
Тяжелая	2800	Св. 17,5

Примечания
 1 Предварительное определение условного динамического сопротивления грунта для выбора типа установки производят по фоновым материалам, данным испытаний в первых точках зондирования или по данным бурения.
 2 При испытании грунтов в стесненных условиях возможно применение малогабаритных установок при наличии данных сопоставительных испытаний на стандартных установках.

Ударное устройство должно отвечать требованиям, приведенным в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Требования к ударным устройствам [16, табл.3]

Характеристика оборудования	Ударное зондирование установкой			Ударно-вибрационное зондирование
	легкой	средней	тяжелой	
Масса молота (вибромолота), кг	30	60	120	350
Высота падения молота, см	40	80	100	-
Максимальный ход ударной части, см	-	-	-	13,5
Момент массы дебалансов, кг·см	-	-	-	200
Частота ударов, уд/мин	20-50	15-30	15-30	300-1200

Схемы конструкций зондов и их основные параметры приведены на рисунке 10.1.

Подготовка к испытанию

Подготовку к работе установки для испытания грунта динамическим зондированием выполняют в соответствии с требованиями инструкции по ее эксплуатации.

При необходимости проверяют прямолинейность штанг и степень износа наконечника.

Отклонение мачты установки от вертикали не должно превышать 2°.

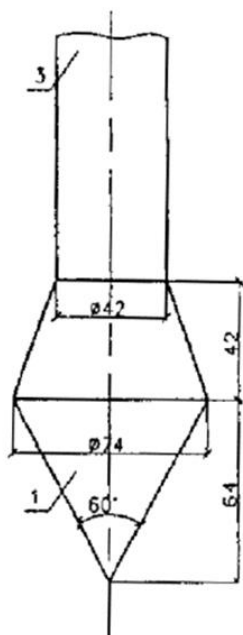


Рис. 10.1 Схема конструкции зонда для динамического зондирования.

Проведение испытания [16]

Динамическое зондирование следует выполнять непрерывной забивкой зонда в грунт свободно падающим молотом или вибромолотом, соблюдая порядок операций, предусмотренный инструкцией по эксплуатации установки.

Перерывы в забивке зонда допускаются только для наращивания штанг зонда.

При ударном зондировании следует фиксировать глубину погружения зонда h от определенного числа ударов молота (залога), а при ударно-вибрационном зондировании следует производить автоматическую запись скорости погружения зонда v .

Число ударов в залоге при ударном зондировании следует принимать в зависимости от состава и состояния грунтов в пределах 1-20 ударов, исходя из глубины погружения зонда за залог 10-15 см, определяемой с точностью $\pm 0,5$ см.

В процессе зондирования необходимо осуществлять постоянный контроль за вертикальностью погружения зонда.

При наращивании звеньев колонну штанг поворачивают вокруг оси по часовой стрелке с помощью штангового ключа. Сопротивление повороту штанг, возникающее в результате трения штанг о грунт, при крутящем моменте до 15 кН·см следует учитывать при обработке результатов испытания. В случае значительного сопротивления повороту колонны штанг (при крутящем моменте более 15 кН·см), вызванного искривлением скважины, зонд извлекают из грунта и повторяют испытание в новой точке зондирования на расстоянии 2-3 м от прежней.

Испытание заканчивают после достижения заданной глубины погружения зонда или в случае резкого уменьшения скорости погружения зонда (менее 2-3 см за 10 ударов или менее 1 см/с). По окончании испытания зонд извлекают из грунта, а скважину тампонируют.

Регистрацию результатов испытания производят в журнале испытания (Приложение б) или на диаграммной ленте.

Обработка результатов

По данным измерений, полученных в процессе испытания, вычисляют условное динамическое сопротивление грунта p_d .

При испытании ударным способом значение p_d , МПа, определяют по формуле

$$p_d = A \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot n/h,$$

где A - удельная энергия зондирования, Н/см, определяемая по таблице 10.1 в зависимости от типа установки;

K_1 - коэффициент учета потерь энергии при ударе молота о наковальню и на упругие деформации штанг, определяемый по таблице 10.3 в зависимости от типа установки и глубины погружения зонда;

K_2 - коэффициент учета потерь энергии на трение штанг о грунт, определяемый в зависимости от усилия при повороте штанг.

Таблица 10.3 - Коэффициент учета потерь энергии при ударе молота о наковальню и на упругие деформации штанг [16, таблица 4]

Глубина погружения зонда, м	Коэффициент K_1 при установке		
	легкой	средней	тяжелой
Св. 0,5 до 1,5 включ.	0,49	0,62	0,72
» 1,5 » 4,0 »	0,43	0,56	0,64
» 4,0 » 8,0 »	0,37	0,48	0,57
» 8,0 » 12,0 »	0,32	0,42	0,51
» 12,0 » 16,0 »	0,28	0,37	0,46
» 16,0 » 20,0 »	0,25	0,34	0,42

При крутящем моменте менее 5 кН·см $K_2 = 1$; от 5 до 15 кН·см K_2 определяют опытным путем по результатам двух параллельных испытаний ударным зондированием, одно из которых производят обычным способом, а другое в разбуриваемой интервалами скважине. При отсутствии таких данных допускается для ориентировочных расчетов принимать значения K_2 по таблице 10.4;

n - число ударов молота в залоге;

h - глубина погружения зонда за залог, см.

Таблица 10.4 - Коэффициент K_2 учета потерь энергии на трение штанг о грунт [16, приложение Г]

Глубина погружения зонда, м	Коэффициент K для грунтов	
	песчаных	глинистых
Св. 0,5 до 1,5 включ.	1,00	1,00
» 1,5 » 4,0 »	0,92	0,83
» 4,0 » 8,0 »	0,84	0,75
» 8,0 » 12,0 »	0,76	0,67
» 12,0 » 16,0 »	0,68	0,59
» 16,0 » 20,0 »	0,60	0,50

По вычисленным значениям p_d строят ступенчатый график изменения условного динамического сопротивления грунта по глубине погружения

зонда (Приложение 6). На графике выделяют интервалы, на которых усредняют значения p_d .

По результатам динамического зондирования допускается проводить определение физических и механических характеристик грунтов с использованием региональных корреляционных зависимостей (таблиц), связывающих параметры, полученные при зондировании определенных видов грунтов, с характеристиками этих грунтов, полученными прямыми методами или в соответствии с приложениями Ж.5, Ж.6 СП 446.1325800.2019 [20].

При определении физико-механических характеристик грунтов не могут быть использованы показатели зондирования, полученные на глубинах менее 1 м, а также полученные с использованием малогабаритных зондов.

Определяемые характеристики относятся к кварцевым и кварцево-полевошпатовым песчаным грунтам четвертичного возраста со значением удельного сцепления менее 0,01 МПа и к четвертичным глинистым грунтам с содержанием органических веществ менее 10%.

По указанным таблицам можно определить:

- плотность сложения песков (таблица 10.5);
- нормативные значения модуля деформации E и угла внутреннего трения φ песков (таблица 10.6);
- вероятность разжижения грунтов при динамических нагрузках (таблица 10.7).

Приведенные в таблицах 10.5 и 10.6 зависимости не распространяются на пылеватые водонасыщенные пески [20].

Приведенные в таблице 10.7 зависимости не используются при определении вероятности разжижения песков континентального шельфа.

Таблица 10.5 - Определение плотности сложения песков по данным динамического зондирования [20, табл. Ж.5]

Пески	Плотность сложения песков		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
	при p_d , МПа		
Крупные и средней крупности независимо от влажности	Свыше 9,8	2,7 - 9,8	Менее 2,7
Мелкие:			
- маловлажные и влажные	Свыше 8,6	2,3 - 8,6	Менее 2,3
- водонасыщенные	Свыше 6,6	1,6 - 6,6	Менее 1,6
Пылеватые маловлажные и влажные	Свыше 6,6	1,6 - 6,6	Менее 1,6

Таблица 10.6 - Определение нормативных значений модуля деформации E и угла внутреннего трения φ песков по данным динамического зондирования [20, табл. Ж.6]

Пески	Характеристики свойств грунтов	Нормативные E , МПа, и φ , град, при p_d , МПа									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Все генетические типы, кроме аллювиальных и флювиогляциальных: - крупные и средней крупности независимо от влажности	E	21	31	39	45	51	55	59	62	64	66
	φ	31	34	36	38	39	40	41	42	43	43
- мелкие независимо от влажности	E	15	23	30	34	39	42	45	48	51	53
	φ	29	32	33	35	36	37	38	39	40	41
- пылеватые (неводонасыщенные)	E	10	18	23	27	30	33	36	38	40	42
	φ	27	29	31	32	33	34	35	36	37	37
Аллювиальные и флювиогляциальные	E	15	24	32	41	49	57	65	73	81	89

Таблица 10.7 - Определение вероятности разжижения песков при динамических нагрузках [20, табл. Ж.7]

p_d , МПа		Вероятность разжижения песков при динамических нагрузках
Среднее	Минимальное	
Менее 1,5	Менее 0,5	Большая вероятность разжижения (пески рыхлого сложения, сцепление практически отсутствует)
От 1,5 до 2,7	От 0,5 до 1,1	Разжижение возможно (пески рыхлые или средней плотности со слабо развитым сцеплением)
От 2,7 до 3,8	От 1,1 до 1,6	Вероятность разжижения невелика (пески средней плотности с развитым сцеплением)
Более 3,8	Более 1,6	Разжижение песков практически невозможно (пески плотные и средней плотности с хорошо развитым сцеплением)
<p>Примечание - Оценку разжижаемости песков проводят по средним значениям p_d. Учет минимальных значений повышает достоверность прогноза.</p>		

ЛИТЕРАТУРА

1. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Трофимов В.Т., Королёв В.А., Харькина М.А. и др. // Под ред. В. Т. Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. 320 с.
2. Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах): учебное пособие / Г. Г. Болдырев, М. В. Малышев. 4-е изд. перераб. и доп. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.
3. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. - М.: Недра, 1981. - 256 с.
4. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. - М.: Изд-во КДУ, 2007. - 424 с.
5. Бондарик Г. К., Ярг Л. А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: учебное пособие / Г.К. Бондарик, Л. А. Ярг. – М.: ИД КДУ, 2015. – 296 с.
6. Коломенский Н.В. Общая методика инженерно-геологических исследований. - М.: Недра. 1968. - 342 с.
7. Королев В. А., Трофимов В. Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. Монография / В.А. Королев, В.Т. Трофимов – М.: Издательство «КДУ», 2016,-292 с.
8. Попов И. В. Инженерная геология. – М.: Госгеолиздат, 1951. - 444 с.
9. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологи. - М.: ГЕОС, 2007. – 463 с.
10. ГОСТ Р 58325-2018 Грунты. Полевое описание
11. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация
12. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов
13. ГОСТ 20522 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

14. ГОСТ 30672-2012 Грунты. Полевые испытания. Общие положения
15. ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости
16. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы испытаний статическим зондированием и динамическим зондированием
17. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений.
Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*
18. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85
19. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
20. СП 446.1325800.2019 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

Приложение 1. Обзор буровых установок для инженерных изысканий

Для анализа рынка были выбраны заводы, которые традиционно считаются ведущими предприятиями в сфере производства бурового оборудования для инженерных изысканий в России.

«Геомаш» уже более 120 лет разрабатывает и выпускает передвижные универсальные буровые установки для решения задач сейсморазведки, инженерных изысканий, бурения геологоразведочных и гидрогеологических скважин, а также скважин различного назначения при выполнении строительных работ. На сегодняшний день на заводе выпускается 13 буровых, из которых 6 установок могут применяться для проведения инженерных изысканий в строительстве.

Научно-производственный центр «Современная буровая техника» (ЗАО НПЦ «СБТ») был образован для проектирования и последующего производства конкурентоспособной буровой техники. Первая продукция центра появилась более 18 лет назад. Сегодня номенклатурный перечень продукции, выпускаемой фирмой «СБТ», представлен широким модельным рядом буровых установок и станков различного класса, а солидный типоразмерный ряд буровых инструментов может удовлетворить запросы практически любой организации. «СБТ» производит различные модификации буровых установок легкой, средней и тяжелой серий. Для инженеров-геологов компания предлагает две установки, которые прекрасно зарекомендовали себя на рынке. В своих разработках «СБТ» ориентируется на западный опыт и западные технологии, а в установках обязательно присутствует несколько импортных комплектующих.

Официальной датой основания **Машиностроительного завода им. В.В. Воровского** считается 1923 год. Именно тогда предприятие выпустило свою первую продукцию – запасные части для ткацкого оборудования. Начиная с 1929 года завод специализируется на производстве геологоразведочного оборудования. В послевоенный период он успешно осуществил переход на производство буровых станков ЗИВ-75, ЗИВ-150 и самоходных установок СБУ-150-ЗИВ. А с 1965 года началось производство оборудования, которое используется для бурения геофизических и структурно-поисковых скважин на нефть и газ, для разведки месторождений твердых полезных ископаемых, для инженерно-геологических изысканий глубиной до 300 метров. В перечень продукции, выпускаемой заводом, входит широкий спектр оборудования – от легких переносных станков массой 16 кг до самоходных установок, смонтированных на базе автомобилей повышенной проходимости и трелевочных тракторов. Основной модельный ряд семейства буровых установок УРБ включает в себя установки УРБ-2А2, УРБ-2А2Д, УРБ-2Д3, предназначенные для бурения геофизических, структурно-поисковых скважин на нефть и газ, для разведки месторождений твердых полезных ископаемых, строительных материалов и подземных вод, для бурения водозаборных и иных скважин. Всего на сегодняшний день Завод им. Воровского производит 13 видов буровых установок. Практически вся номенклатура производимого заводом оборудования находит применение в инженерной геологии.

Закрытое акционерное общество «Московский опытный завод буровой техники» (ЗАО «МОЗБТ») было создано в 2002 году на базе технических отделов двух известных российских буровых компаний – ЗАО «Гидроинжстрой» и ООО НПО «Комплексное водоснабжение объектов». На сегодняшний день предприятие предлагает инженерам-геологам две буровые установки – уже знакомую нам по продукции Завода им. Воровского установку УРБ-2А2 и ее модификацию – установку для бурения наклонных скважин УРБ-2А2М.

В России и на территории СНГ практически не существует специализированного **бурового оборудования для инженерных изысканий** в строительстве. Всё выпускаемое оборудование (речь идёт лишь о буровых установках, а не о специализированных установках для статического зондирования или буровом инструменте), используемое в изысканиях, относится к многоцелевому – может использоваться при сооружении скважин различного назначения и при этом, как правило, лишено возможности реализовать такие технологии исследования грунтов, как статическое и динамическое зондирование.

Для эффективного **бурения** инженерно-геологических скважин с соблюдением ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» в наибольшей степени подходят **буровые установки**, имеющие подвижные вращатели. Это связано с тем, что: (1) при бурении изыскательских скважин широко применяются шнеки, использование которых на установках с вращателями роторного и шпиндельного типа затруднено; (2) скважины имеют глубины в среднем до 25 м, поэтому операции с ведущими трубами при наращивании и при спуско-подъёмных операциях приводят к неоправданным потерям времени, в то время как на установках с подвижными вращателями в качестве ведущей трубы выступает каждая следующая наращенная бурильная труба или шнек. Естественно, используемые для этих задач установки должны быть достаточно лёгкими и маневренными, чтобы обеспечивать возможность работы в городах, лесных массивах, на местности с неразвитой дорожной сетью и т. д.

Маркетинговая служба «Геомаша» отмечает, что на российском рынке наибольшей популярностью пользуются следующие модели отечественного бурового оборудования (в порядке убывания):

- УГБ-1ВС («Геомаш» – снята с производства, вторичный рынок)
- ПБУ-2 («Геомаш»)
- УРБ-2А2 (Машиностроительный завод им. В.В. Воровского)
- ПБУ-1 («Геомаш» – снята с производства, вторичный рынок)
- УГБ-50 («Геомаш» – снята с производства, вторичный рынок)

Популярность перечисленных установок определяется несколькими факторами – в частности, распространённостью на рынке (и, как следствие, наличием развитой ремонтной базы), уровнем цены, надёжностью и силовыми характеристиками. В зависимости от ситуации на рынке, приоритеты могут меняться местами. В большинстве случаев выбор определяется низкой ценой и короткими сроками поставок. Но буровики-заводчики считают, что такие критерии не должны являться решающими при подборе бурового оборудования. Параметры, на которые стоит обращать внимание, – это репутация завода-производителя, соответствие характеристик машины целям покупателя, возможность работы в разных инженерно-геологических условиях и, конечно же, надёжность.

Самоходные буровые установки

Следующий и наиболее распространенный класс буровых установок – самоходные. У этих машин гораздо больше функций, чем у малогабаритных установок.

Самоходная буровая установка УГБ 001, новая разработка «Геомаша», предназначена для бурения инженерно-геологических, геологоразведочных, гидрогеологических и специальных технических скважин в породах до 12-й категории по буримости.

УГБ 001 монтируется на основе ГАЗ-33081 «Садко», ГАЗ-33104 «Валдай», КамАЗ, ЗИЛ-34273Т «Бычок», ГТ-ТБ, ГАЗ-34039, ТМ-130, МТЛБ, МТЛБу, ТТ4М, самоходной гусеничной тележки, саней тракторных. Привод гидросистемы УГБ 001 осуществляется от палубного дизельного двигателя Deutz (Германия) мощностью 55,1 кВт или от

двигателя транспортной базы. Лебёдка гидроприводная с механическим тормозом обеспечивает работу в режиме свободного сброса. Возможна дополнительная поставка гидроприводного ударного механизма. Вращатель установки – подвижный, двухскоростной, с гидроприводом – отводится в сторону с помощью гидроцилиндра.



Рис. 1. УГБ 001 на основе ГАЗ-33081 «Садко»

Многоцелевая буровая установка ПБУ-2 «Геомаша» с механическим приводом подвижного вращателя предназначена для бурения инженерно-геологических, сейсморазведочных, гидро- и геологоразведочных скважин, а также скважин различного назначения при выполнении строительных работ.

ПБУ-2 может быть установлена на различные транспортные средства: на автомобили и шасси повышенной проходимости типа АМУР (ЗИЛ-131), УРАЛ, КамАЗ, на транспортные гусеничные машины ТГМ-126 и МТЛБу, на тракторы ТТ-4 и ТЛТ-100А, на сани и др. Эксплуатация машины допускается в районах с умеренным климатом в интервале температур от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

С 2009 года начат выпуск модернизированной буровой установки ПБУ-2. Новые конструктивные решения значительно увеличивают производительность буровой установки, а также срок её службы. В модернизированную модель были введены следующие новшества: (1) новая конструкция мачты с увеличенными прочностными характеристиками; (2) скорость перемещения вращателя увеличена (вниз – в 3 раза, вверх – в 3,5 раза); (3) новая лебедка – надёжная и простая в управлении и техническом обслуживании; (4) отвод вращателя с устья скважины производится гидроцилиндром с пульта буровика; (5) модернизированная гидросистема позволяет создавать усилие подачи вниз до 10 000 кгс, что позволяет осуществлять статическое зондирование грунтов при сохранении хода подачи вращателя 3 400 мм; (6) установка оснащена новым кондуктором, который легко устанавливается и убирается (при необходимости кондуктор может быть переоборудован для использования в качестве бурового стола).



Рис. 2. Многоцелевая буровая установка ЛБУ-2 300

«Геомаш» также предлагает вниманию изыскателей многоцелевую буровую установку ЛБУ-50 для бурения скважин в крепких породах с механическим приводом подвижного вращателя. Она предназначена для бурения скважин различного назначения – технических, гидрогеологических, при выполнении строительных работ, для водоснабжения, инженерных изысканий и геологоразведочных работ. Привод ЛБУ-50 осуществляется от двигателя транспортной базы через коробку отбора мощности (КОМ). ЛБУ-50 монтируется на шасси различных грузовых автомобилей – АМУР (ЗИЛ-131), УРАЛ, КамАЗ и др. Подвижный вращатель с механическим приводом, в сочетании с мощным гидравлическим механизмом подачи, позволяет с первых метров бурения создавать значительную осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент.



Рис. 3. Многоцелевая буровая установка ЛБУ-50

Установки модельного ряда Завода им. Воровского УРБ-2А2, УРБ-2А2Д и УРБ-2Д3 предназначены для бурения геофизических и структурно-поисковых скважин на нефть и газ, для разведки месторождений твёрдых полезных ископаемых, строительных материалов и подземных вод, инженерно-геологических изысканий, бурения водозаборных и взрывных скважин. Бурение производится вращательным способом с промывкой или продувкой скважины или шнеками. Установка монтируется на шасси ЗИЛ-131 или Урал-4320 и приводится в действие от двигателя автомобиля. Перемещающийся по мачте вращатель с гидроприводом используется при бурении, наращивании бурильного инструмента (без отрыва от забоя) и выполняет, совместно с гидроподъёмником, работу по спуску или подъёму инструмента и его подаче при бурении. Вращатель перемещается по мачте при помощи гидроцилиндра и талевой системы. Управление установкой полностью гидрофицировано и сконцентрировано на пульте бурильщика. На пульте находятся контрольные приборы и регуляторы усилия на забой, скорости подачи и подъёма, а также частоты вращения шпинделя вращателя.

Установка УРБ-2А2Д отличается от УРБ-2А2 наличием двух компрессоров производительностью 5 м³/мин каждый и насоса НБ-50 (для промывки скважины). Наличие двух компрессоров и бурового насоса обеспечивают высокую производительность при бурении с продувкой и возможность быстрого перехода на бурение с промывкой.

Гидравлический механизм спуска-подъёма и подачи инструмента обеспечивает оптимальное усилие подачи, в том числе и при бурении пневмоударниками, и позволяет вести высокоэффективное бурение по породам любой категории. Установка монтируется на шасси полноприводного автомобиля Камаз-43114. Максимальная глубина бурения 350 м.

Установка разведочного бурения УРБ-4Т смонтирована на базе трелёвочного трактора Т-147.00 (аналог трактора ТТ-4М) и предназначена для работы в труднодоступных районах. Максимальная глубина бурения – 300 м.



Рис. 4. Установки завода им. Воровского УРБ-2А2, УРБ-2А2Д

Установка УРБ-2ДЗ предназначена для бурения вращательным способом с промывкой и продувкой, ударно-вращательным способом погружными пневмударниками и шнеками скважин различного назначения, в т.ч. водозаборных. Она отличается от установки УРБ-2А2 вдвое большим крутящим моментом. Монтируется буровая на шасси автомобиля Урал-4320-1112-41. Отдельные узлы установки могут быть смонтированы на других транспортных базах. Агрегат вибрационного бурения АВБ-2М, не имеющий отечественных аналогов, незаменим при бурении в мягких грунтах благодаря своей производительности и возможности получения ненарушенных проб грунта. Установка АВБ-2М предназначена для бурения вертикальных скважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых и при инженерно-геологических изысканиях. Бурение осуществляется вибрационным или ударно-канатным способом. Установка монтируется на шасси ГАЗ-33081. Глубина бурения – до 40 м.

Установка УРБ-2А2 завода МОЗБТ по своим характеристикам полностью идентична УРБ-2А2 Завода им. Воровского. Её модификацией является установка УРБ-2А2М. УРБ-2А2 и УРБ-2А2М имеют перемещающийся вращатель с гидроприводом, который используется в процессе бурения для наращивания бурильного инструмента без отрыва его от забоя и выполняет, совместно с гидроподъемником, работу по спуску-

подъёму инструмента и его подачу при бурении. Мощность и кинематика вращателя обеспечивают также свинчивание-развинчивание бурильных труб (в результате отпадает необходимость в специальных механизмах для этой цели). Платформа буровых установок УРБ-2А2 и УРБ-2А2М устанавливается на шасси новых автомобилей повышенной проходимости, а также, по желанию заказчика, на шасси конверсионной техники. Установки комплектуются грязевым насосом НБ-32(50), компрессором КСБУ-4ВУ1-5/9 или компрессором АК9/10. Все механизмы, входящие в установку разведочного бурения, смонтированы на платформе буровой установки, установленной на шасси автомобиля, и приводятся в действие от его двигателя.

Установка УРБ-2А2М модифицирована для бурения наклонных скважин. Угол наклона в продольной плоскости составляет 50–90° (с шагом 5°), в поперечной плоскости – 70–90° (с шагом 5°).

Малогабаритные буровые установки

Буровые установки традиционно делятся два вида: малогабаритные и самоходные.

Малогабаритных установок на рынке не так много, они недороги, спектр задач, с которыми они могут справиться, достаточно широк – и поэтому установки этого вида особенно ценны и традиционно пользуются популярностью среди изыскателей.

Гордость «Геомаша», **ББУ-000 «Опёнок»** с гидравлическим приводом подвижного вращателя, предназначен для решения задач в области бурения инженерно-геологических (в том числе в помещениях с ограничением по высоте до 2 м), геологоразведочных, сейсморазведочных, поисково-картировочных и технических скважин, а также при сооружении буронабивных и буроинъекционных свай. ББУ-000 может быть установлена на различные транспортные средства – на автошасси УАЗ-39094 «Фермер», ГАЗ-33081 «Егерь», на гусеничный вездеход ГАЗ-34091 «Бобр», гусеничный транспортёр ГАЗ-71, двухзвенный вездеход BV-206 «Hagglunds» (Швеция) и другие транспортные средства. Достоинства ББУ-000 «Опёнок» на базе автомобиля УАЗ-39094 заключаются в мобильности, возможности проведения работ в стеснённых и труднодоступных местах, в том числе в условиях бездорожья и в горной местности.



Рис. 5. ББУ-000 «Опёнок»

«Геомаш» предлагает также и другой вариант «Опёнка» – малогабаритную самоходную установку ББУ-001 «Опёнок-С», предназначенную для бурения инженерно-

геологических, сейсморазведочных, поисково-картировочных и технических скважин, а также для сооружения буронабивных и буроинъекционных свай. ББУ-001 обеспечивает бурение наклонных скважин не только в продольной, но и в поперечных плоскостях, а также бурение куста вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин с одного пикета без поворота тележки. Установка смонтирована на гусеничной тележке, привод которой осуществляется от гидросистемы установки. Скорость движения тележки составляет 1,9 км/ч, что обеспечивает оператору комфортное и безопасное дистанционное управление движением. Угол преодолеваемого продольного уклона достигает 20°. Привод установки осуществляется от бензинового, дизельного или электродвигателя.

Для работ по укреплению фундаментов зданий, а также для проведения инженерных изысканий хорошо себя зарекомендовал переносной модульный буровой станок СБГ-ПМ2 «Стерх» производства «СБТ». Вращатель станка имеет проходной вал и выполнен с возможностью его отведения в сторону для удобства наращивания инструмента и спуска армокаркаса сваи в скважину. Насосный агрегат снабжён регулируемым насосом постоянной мощности, обеспечивающим бурение скважин с высоким КПД.



Рис. 6. ББУ-001 «Опёнок-С»

Для работ по укреплению фундаментов зданий, а также для проведения инженерных изысканий хорошо себя зарекомендовал переносной модульный буровой станок СБГ-ПМ2 «Стерх» производства «СБТ». Вращатель станка имеет проходной вал и выполнен с возможностью его отведения в сторону для удобства наращивания инструмента и спуска армокаркаса сваи в скважину. Насосный агрегат снабжён регулируемым насосом постоянной мощности, обеспечивающим бурение скважин с высоким КПД. Соединение (разъединение) модулей выполняется за 10 минут без использования какого-либо

инструмента. Все рукава высокого давления, соединяющие модули, имеют импортные быстроразъёмные соединения с защитой. Оригинальная конфигурация гидросистемы с импортными комплектующими обеспечивает высокую надёжность работы бурового станка. Его модульная конструкция обеспечивает бурение скважин в стеснённых условиях. Комплектация станка оригинальным буровым инструментом и комплектом принадлежностей обеспечивает увеличение производительности работ в 1,5–2 раза. Буровой станок может поставляться с тремя видами вертлюгов, люнетом, различными переходниками и другими принадлежностями. Привод маслостанции осуществляется от электромотора или от бензинового двигателя «Robin Engines».

К разряду малогабаритных установок относится и выпускаемая СБТ установка легкой серии на гусеничной базе УБГ-ЛГ1 «Аллигатор», которая завоевала достойную репутацию. Благодаря небольшим габаритам она может передвигаться в подвалах различных зданий. Эта установка предназначена для бурения инженерно-геологических скважин в породах 1–12 категории по буримости, для производства буроинъекционных и буронабивных свай, анкеров, водопонижающих скважин и для других работ в стеснённых условиях. Она может быть установлена на гусеничное, автомобильное или вездеходное шасси. Как заявляет производитель, у «Аллигатора» есть несколько преимуществ: (1) установка имеет минимальную цену в своем классе среди любых аналогов отечественного и импортного производства; (2) мачта бурового станка, по которой перемещается вращатель, не имеет направляющих и не содержит полиспастных механизмов; (3) механизм подачи сохраняет все преимущества полиспастных механизмов, обеспечивая минимальный вес и габариты бурового блока; (4) вращатель имеет минимальный вес и габариты за счёт доработки импортного редуктора и его адаптации к использованию отечественного регулируемого гидромотора.



Рис. 7 СБГ-ПМ2 «Стерх»

К разряду малогабаритных установок относится и выпускаемая СБТ установка легкой серии на гусеничной базе УБГ-ЛГ1 «Аллигатор», которая завоевала достойную репутацию. Благодаря небольшим габаритам она может передвигаться в подвалах различных зданий. Эта установка предназначена для бурения инженерно-геологических скважин в породах 1–12 категории по буримости, для производства буроинъекционных и буронабивных свай, анкеров, водопонижающих скважин и для других работ в стеснённых условиях. Она может быть установлена на гусеничное, автомобильное или вездеходное шасси. Как заявляет производитель, у «Аллигатора» есть несколько преимуществ: (1) установка имеет минимальную цену в своем классе среди любых аналогов отечественного и импортного производства; (2) мачта бурового станка, по которой перемещается вращатель, не имеет направляющих и не содержит полиспастных механизмов; (3) механизм подачи сохраняет все преимущества полиспастных механизмов, обеспечивая минимальный вес и габариты бурового блока; (4) вращатель имеет минимальный вес и габариты за счёт доработки импортного редуктора и его адаптации к использованию отечественного регулируемого гидромотра.

Малогабаритные установки завода им. Воровского УКБ12/25, УКБ12/25-01 и УКБ12/25-02 и мотобуры М-10 и КМ-10 с бензиновыми двигателями успешно используются в труднодоступных районах при инженерных изысканиях под строительство дорог, газо- и нефтепроводов. Установки УКБ могут изготавливаться на колёсном ходу, на санном основании, а также монтироваться на транспортном средстве соответствующей грузоподъёмности.

Установки УКБ 12/25 и УКБ12/25-01 с приводом от электродвигателя успешно используются для работы в подвальных помещениях (при исследовании грунтов под зданиями и при укреплении фундаментов).



Рис. 8. Установки УКБ 12/25, мотобур КМ-10

Мотобур КМ-10 обладает следующими преимуществами: (1) благодаря наличию стойки, воспринимающей при бурении крутящий момент и вибрацию, более удобен в обращении; (2) оснащен механизмом, обеспечивающим подачу и извлечение инструмента из скважины; (3) улучшает условия и обеспечивает безопасность труда.

Мотобур М-10, в отличие от мотобура КМ-10, не имеет стойки с механизмом подачи, рамы и подкоса, а снабжён ручками для ручного бурения. Ручки имеют амортизаторы и подставку.

Приложение 2. Образец журнала испытания на срез целиков грунта, оформленный в Excel

Журнал испытаний на срез целиков грунта					
Диаметр кольца, см:		25			
Площадь кольца (A), см ² :		490,87			
№ п/п	Нагрузка		Напряжение		Примечание
	нормальная (вертикальная)	касательная (горизонтальная)	нормальное	касательное	
	P, кН	Q, кН	s, МПа	t, МПа	
1	0,5	1,1	0,0102	0,0224	
2	0,75	1,5	0,0153	0,0306	
3	1	1,75	0,0204	0,0357	
C, кПа		0,0097	$\phi, ^\circ$	52	

$\tau=f(\sigma)$

$y = 1,3x + 0,0097$

Приложение 3. Образец журнала испытания грунта штампом, оформленный в Excel

Штамп винтовой ШВ60 - IV типа площадью 600 см ² . ЗАО "Геотест", зав. № 103. Дата изготовления 09.06.12г.																				
Индикаторы ИЧ-50, дата поверки - 21.03.16 г.																				
Схема испытания: винтовым штампом ниже забоя буровой скважины, согласно ГОСТ 20276-2012, приложение Г																				
Объект: строительство центра культурного развития в г. Урюпинск, Волгоградской области.																				
№ испытания		1			Скв.№		1			ИГЭ		1								
Грунт -		суглинок твердый																		
Константы:										Примечания:										
Диаметр труб, мм:		146			Вес 1 м труб (m ₁), кН:		0,170			0,147 - 127 труба; 0,170 - 146 труба										
Длина труб (L), м:		1,5			Коэфф., обратный прод. жесткости трубы (Hr):		21			25 - 127 труба; 21 - 146 труба										
Плотность грунта, т/м ³		1,9			Коэффициент Пуассона (ν):		0,35			- крупнооблом. -0,27; пески, супеси -0,3; суглинки -0,35; глины -0,42										
Глуб. испытания, м		1,8			Коэфф. - в зависимости от глубины штампа (Kp):		0,7													
Наличие подз. вод (да-1, нет-0)		0			Нормальное давление от веса грунта (σ _{zq,0}), кПа:		33,516													
Уровень подземных вод (h ₁), м		0,0																		
															- заполняются ячейки помеченные цветом					
Дата	Время	Интервал времени Δt, ч	Показания маном., кПа	Нагрузка на штамп (сумм.), кН	Заглубл. штампа, м	Давление p по подошве штампа, МПа	Приращение давления Δp, МПа	Показания индикатор, мм				Поправка к показаниям м % мм	Исправленные показания индикаторов, мм				Осадка штампа, мм		Время выдержки ΣΔt, ч	Примечание
								S ₁	S ₂	S ₃	контр.		S ₁	S ₂	S ₃	S _φ	ΔS	ΣΔS		
22.12.2016	0,0	0	0		0,3	0,018		0,01	0,02	0,02		0,00000	0,010	0,020	0,020	0,02				
	1,0	1	20			0,034	0,016	0,14	0,12	0,12		0,00001	0,140	0,120	0,120	0,127	0,110	0,110	1	
	2,0	1	80			0,083	0,049	0,35	0,33	0,32		0,00002	0,350	0,330	0,320	0,333	0,207	0,317	2	
	3,0	1	140			0,132	0,049	0,58	0,57	0,56		0,00002	0,580	0,570	0,560	0,570	0,237	0,553	3	
	4,0	1	200			0,181	0,049	0,82	0,81	0,79		0,00003	0,820	0,810	0,790	0,807	0,237	0,790	4	

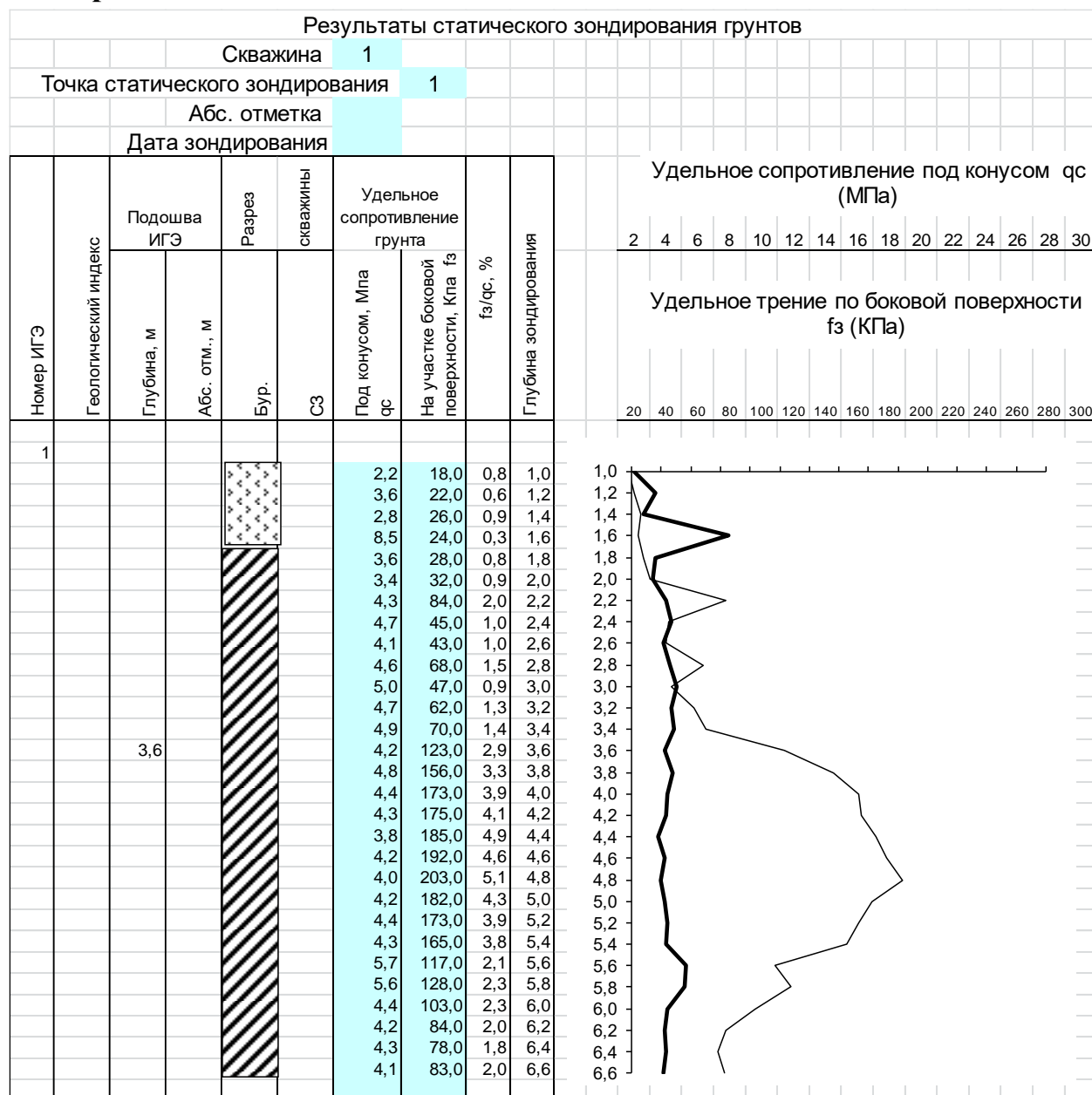
График испытания грунта штампом	
	$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S}$ <p style="text-align: right;"> p₀, МПа= 0,000 p_n, МПа= 0,181 S₀, мм= 0,110 S_n, мм= 0,790 </p> <p style="text-align: right;">E, МПа= 35,8</p>

Приложение 4. Журнал испытания грунта радиальным прессиометром

Номер испытания _____

Глуб. испыт. м	Дата	Время	Интервал времени Δt , ч	Столб воды в магистрали прессиометра, м	Показ. маном-в, МПа	Поправка на раст. оболочки, МПа	Давление на грунт, МПа	Показания приборов для измерения радиального перемещения, мм							Поправка на деформ. оболочки, мм	Испр. показан.. приб., мм	Приращ. радиуса скважин, мм		Время выдержки $\Sigma \Delta t$, ч	Прим.
								n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	Среднее перемещ., мм			Δr -	$\Sigma \Delta r$ -		

Приложение 5. Пример оформления результатов статического зондирования



Приложение 6. Пример оформления результатов динамического зондирования

Журнал регистрации результатов испытания динамического зондирования

Глубина погружения зонда, см	Число ударов в залоге	Глубина погружения зонда за залог, см	Поправочные коэффициенты		Исправленное число ударов в залоге nK_1K_2	Удельная энергия зондирования A , Н/см	Условное динамическое сопротивление грунта p_d , МПа	Примечание
			K_1	K_2				

Образец графического оформления результатов испытания грунта методом динамического зондирования

Графики изменения n и p_d по глубине погружения зонда H

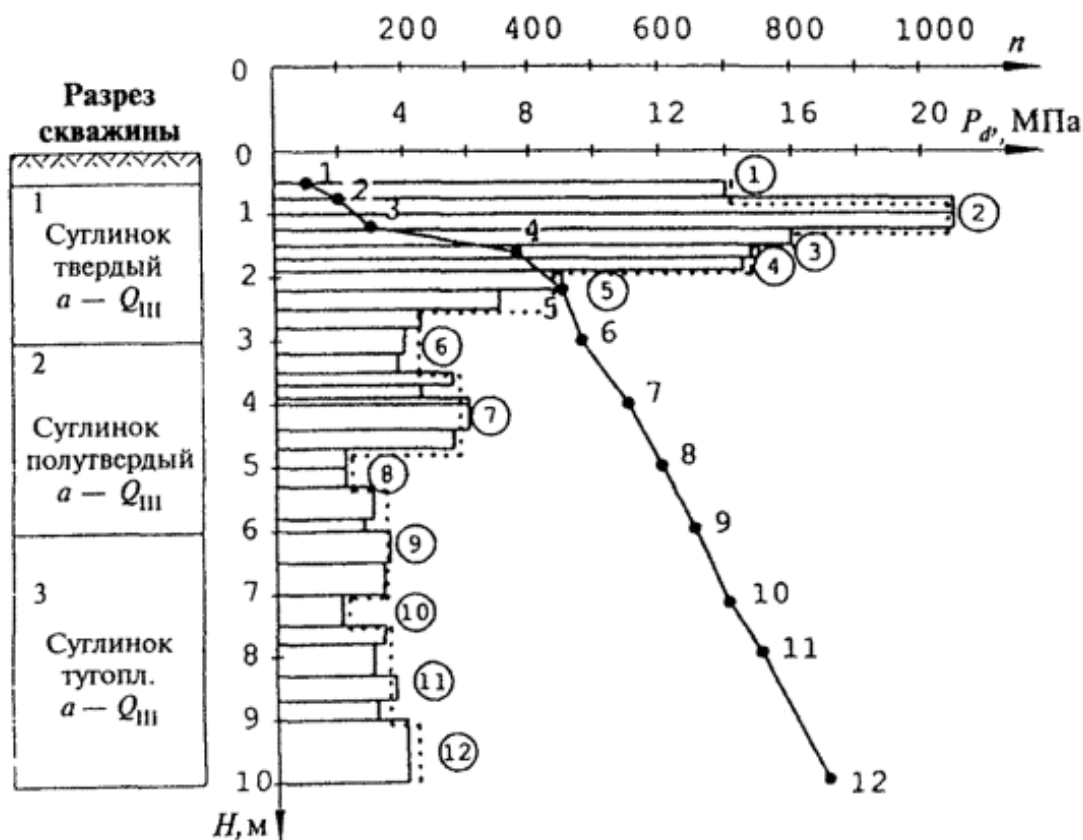
Масштаб графиков:

по вертикали: для H 1 см - 1 м

по горизонтали:

для n 1 см - 100 ударов

для p_d 1 см - 2,0 МПа



• 1 - номер точки, указывающий число ударов в залоге нарастающим итогом;

① - номер интервала осредненного значения p_d

Учебное издание

Н.А. Корабельников, Ю.М. Зинюков

МЕТОДЫ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Подписано в печать ... Формат

Уч.-изд. л. 4,2. Усл. печ. л. 4,0. Тираж Заказ ...

Издательский дом ВГУ

394018 Воронеж, пл. им. Ленина, 10

Отпечатано с готового оригинала-макета

в типографии Издательского дома ВГУ

394018 Воронеж, ул. Пушкинская, 3