

Санкт-Петербургский государственный университет

**Ситникова Елизавета Алексеевна**

**Выпускная квалификационная работа**

**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА  
ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ ПРИ ОСВОЕНИИ АКВАТОРИИ  
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Основная образовательная программа магистратуры

«Геология»

Профиль Инженерная геология

Научный руководитель:  
к.т.н., вед. инженер ЦИИ  
Горного университета,  
Страупник И. А.

Рецензент:

Санкт-Петербург

2018

Оглавление	2
<b>Введение</b>	4
Глава I Физико-географическое описание региона работ Калининградской области	7
1. Физико-географический очерк	7
2. Климатические условия	7
3. Геоморфологическое описание	8
4. Тектоническое строение	11
5. Стратиграфия	12
6. Гидрография	17
6.1. Поверхностные воды	17
6.2. Подземные воды	18
6.3. Гидрология моря	18
Выводы к первой главе.	19
<b>Глава II Инженерно-геологические изыскания на континентальном шельфе</b>	21
1. Детальность инженерно-геологических изысканий на шельфе	21
2. Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет	23
3. Геофизические исследования	23
4. Бурение и отбор проб	24
5. Геотехнические исследования	27
6. Лабораторные исследования грунтов	30
Выводы ко второй главе.	34
<b>Глава III Динамическая неустойчивость грунтов</b>	35
1. Поведение грунтов при динамическом воздействии.	35
2. Полевые методы оценки динамических свойств грунтов.	40
3. Методы лабораторного определения динамических свойств грунтов	43
3.1. Метод динамического трехосного сжатия	43
3.2. Метод малоамплитудных динамических испытаний грунтов в резонансной колонке	46
3.3. Метод крутильного сдвига	47
Выводы к третьей главе.	48
<b>Глава IV Оценка инженерно-геологических условий исследуемой территории</b>	49

1. Описание объекта работ	49
2. Инженерно-геологические условия района	49
2.1. Изученность инженерно-геологических условий	49
2.2. Физико-географические и геоморфологические условия района работ	50
2.3. Методика выполнения буровых и лабораторных работ	51
2.4. Геологическое строение грунтов	51
2.5. Коррозионная агрессивность грунтов	54
2.6. Гидрогеологические условия	54
2.7. Геологические и инженерно-геологические процессы	55
3. Физико-механические свойства грунтов	55
4. Динамические свойства грунтов	59
Выводы к четвертой главе.	60
<b>Глава V. Инженерно-геологические расчеты</b>	63
1. Расчет периодичности динамических нагрузок	63
2. Расчет несущей способности свай оболочек швартовно-отбойного пала	63
3. Оценка снижения прочностных свойств	69
4. Расчет несущей способности свай с учетом динамического воздействия.	73
5. Анализ результатов расчета.	76
<b>Заключение</b>	79
<b>Список использованной литературы</b>	80
<b>Приложение 1.</b> Таблица Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических характеристик грунтов	83
<b>Приложение 2.</b> Таблица Физических свойств грунтов.	85
<b>Приложение 3.</b> Протоколы динамических лабораторных испытаний грунтов	102
<b>Приложение 4.</b> Расчетная схема определения несущей способности одиночной висячей сваи-оболочки	142
<b>Приложение 5.</b> Схема расположения инженерно-геологических выработок	146
<b>Приложение 6.</b> Геолого - литологическая колонка скважины	147

## **Введение.**

Строительство и эксплуатация нефтегазопромысловых сооружений на шельфе становится все более актуальным в связи с растущими потребностями человечества в энергии и значительным истощением материковых ресурсов. Калининградская область находится в отдалении от месторождений углеводорода, поэтому возникает необходимость доставки потребителям природного газа по трубопроводу и на судне сжиженного природного газа. Транспортировка углеводородов является одним из наиболее опасных видов человеческой деятельности. Во избежание аварийных ситуаций необходимо изучение инженерно-геологических условий, оценка и прогноз возникновения геологических и инженерно-геологических процессов.

Проблема надежной оценки динамической устойчивости грунтов в массиве остается чрезвычайно актуальной для проектирования и строительства нефтегазопромысловых сооружений на шельфе. В условиях динамических нагрузок увеличивается деформируемость грунта и снижаются его прочностные свойства. Динамические воздействия природного происхождения, обусловленные циклическими воздействиями штормовых волн, оказывают негативное влияние на несущую способность грунтов в основании морских нефтегазопромысловых сооружений. Снижение несущей способности может привести к полной или частичной потере устойчивости грунтового основания и разрушению сооружения.

Изложенное определяет актуальность намеченной темы магистерской работы и позволяет сформулировать её цель и основные задачи.

Цель работы заключается в оценке влияния циклических и динамических воздействий на прочностные свойства грунтов (в частности оценке изменения несущей способности основания при циклических нагрузках, моделирующих воздействие штормовых волн)

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценка современного состояния изученности инженерно-геологических условий Калининградской области и акватории Балтийского моря;
2. Изучение нормативных документов для проведения инженерно-геологических изысканий на континентальном шельфе.
3. Рассмотрение основных полевых и лабораторных методов определения динамических свойств грунтов.
4. Оценка инженерно-геологических условий исследуемого участка в акватории Балтийского;

5. Оценка физико-механических и динамических свойств горных пород на основе полевых и лабораторных исследований.

6 Оценка снижения прочностных свойств грунтов под влиянием циклических динамических нагрузок;

7. Расчет несущей способности свайного фундамента и оценка изменения предельного сопротивления грунта основания под воздействием динамических нагрузок.

8. Анализ результатов расчета. Оценка абсолютной и относительной разницы несущей способности свай и осадки с учетом динамического воздействия и без него.

Личный вклад автора и научная новизна исследований.

1. Изучены инженерно-геологических условий участка в акватории Балтийского моря, у северного побережья Самбийского полуострова;
2. Выявлено влияние циклических динамических нагрузок на прочностные свойства грунтов шельфа Балтийского моря;
3. Получены данные о количественных характеристиках динамического нагружения, генерируемого в массиве грунта циклическими динамическими нагрузками, моделирующими воздействие штормовых волн;
4. Приведен расчет несущей способности свайного фундамента швартово-отбойного пала, с учетом циклических динамических нагрузок, оказывающих влияние на устойчивость сооружений.
5. Оценена абсолютная и относительная разница несущей способности свайного фундамента с учетом динамического воздействия и без него.

При выполнении работы использовались методы сравнительного анализа и обобщения, математической статистики, механики грунтов, оснований и фундаментов, картографирования, инженерной геологии.

Достоверность результатов исследований обоснована корректным использованием общепринятых математических и статистических методов, исследованиями автора в области инженерной геологии, оснований и фундаментов, достаточным объемом лабораторных и опытно-полевых исследований и положительным опытом практической реализации результатов.

Работа имеет практическую значимость и реализацию результатов исследований. Данные об оценке несущей способности свайного фундамента швартово-отбойного пала в условиях динамических нагрузок и результаты расчетов могут использоваться при проектировании и строительстве швартово-отбойных палов в составе терминала по приему, хранению и регазификации сжиженного природного газа в акватории Балтийского моря.

Работа выполнена на основе исследований автора, проведенных во время обучения в магистратуре на кафедре инженерной геологии СПбГУ. Был использован большой объем опубликованной литературы и фондовых материалов. Исходным фактическим материалом послужили результаты инженерно-геологических изысканий в акватории Балтийского моря Калининградской области.

# Глава I Физико-географическое описание региона работ Калининградской области.

## 1. Физико-географический очерк

Объект исследований расположен в Калининградской области и прилегающей к ней акватории Балтийского моря. Это самый западный регион России занимает юго-восточное побережье Балтийского моря, расположен в Центральной Европе и полностью отделен от остальных субъектов РФ территориями других государств.

Калининградская область имеет площадь около 15,1 км<sup>2</sup>. На западе и северо-западе она омывается водами Балтийского моря, которое отделяется от материка Куршским и Калининградским заливами. На востоке и на севере граничит с Литвой, на юге - с Польшей. Карта расположения Калининградской области приведена ниже на рисунке 1.

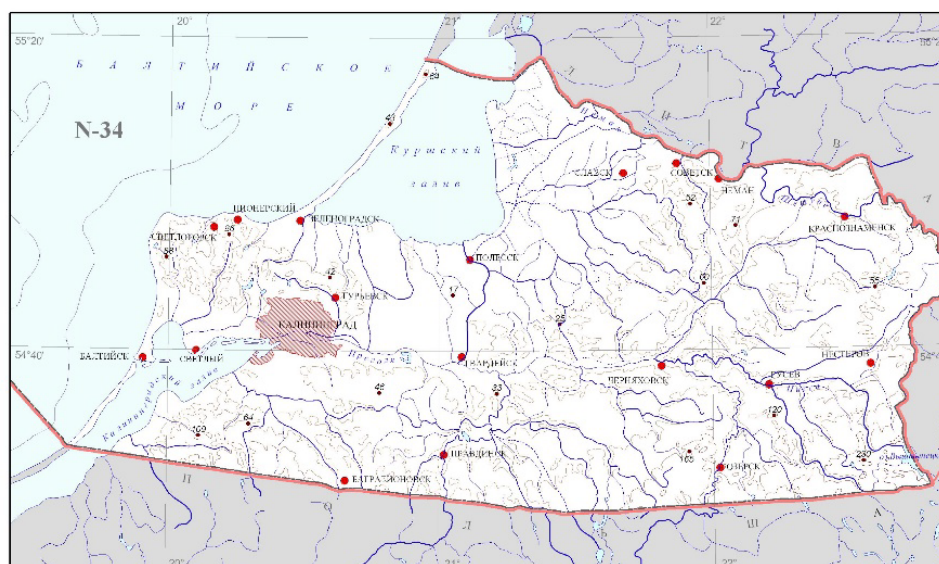


Рис. 1. Карта расположения Калининградской области. (Объяснительная записка, 2011)

## 2. Климатические условия

Климат Калининградской области переходный от морского к умеренно-континентальному с мягкой, изменчивой зимой и относительно и умеренно-теплым летом.

Существенное влияние на климат оказывает Северо-Атлантическое течение, при-носящее к берегам Европы массы теплой воды, часть ко-торой через проливы поступает в Балтийское море. (Атлас, 2010)

Температуру воздуха определяет поступление воздушных масс с Атлантики, близость Балтийского моря. Средняя годовая температура воздуха 7.6 °С, наиболее холодным месяцем в году со среднемесячной температурой минус 2.2°С является январь, наиболее теплым – июль – +17.7°С. Абсолютный минимум температуры воздуха приходится на январь и составляет минус 33°С, абсолютный максимум наблюдается в июле

и равен 37°C согласно СП 131.13330.2011. Среднемесячная и годовая температура воздуха по станции Калининград приведена в таблице 1.

Таблица 1. Среднемесячная и годовая температура воздуха по станции Калининград.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-2.2	-1.7	1.7	6.7	12.2	15.6	17.7	17.3	12.9	8.3	3.4	-0.4	7.6

Климат области во многом определяется циркуляцией воздушных масс Атлантического океана и Европейского континента. Большое значение в формировании климата имеет ветровой режим. Преобладающими в году являются ветры южного, юго-западного и западного направления. Среднегодовая скорость ветра резко возрастает в прибрежных районах, составляя 5-6 м/с, в южных и восточных районах она уменьшается до 3,5-4,0 м/с по СП 131.13330.2011.

Осадков выпадает сравнительно много. Среднее годовое количество их колеблется от 500 до 790 мм. (Атлас, 2010) Наибольшее количество осадков в отдельные годы достигает 1214 мм, наименьшее – 481 мм. Количество выпадающих осадков превышает испарение влаги, поэтому влажность воздуха высокая. Относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца составляет 86%, наиболее теплого - 75%. (Гидрогеология СССР, 1970)

Преобладание морских воздушных масс, большое количество осадков и небольшая испаряемость обуславливают большую увлажненность территории и заболоченность, которая приурочена к понижениям рельефа.

### **3. Геоморфологическое описание**

Геоморфологический облик области сложился в результате деятельности последнего ледника и последующих процессов размыва и переотложения моренных и флювиогляциальных отложений и представляет чередование равнин и понижений с холмисто-грядовыми возвышенностями. (Орленок, 1995)

Территория Калининградской области располагается в пределах Куршско-Прусской низменности. В её пределах выделяются Полесская и Прегольская низменности, Шешупская равнина, Инстручско-Самбийская гряда, Вармийская и Виштынецкая возвышенности. (Объяснительная записка, 2011)

Вармийская, Виштынецкая и Самбийская возвышенности являются конечно-моренными образованиями.

Большую часть Самбийского полуострова занимает моренное плато, представленное несколькими сериями конечно-моренных гряд, их вершины достигают высот 70-80 м. Инстручско-Самбийская холмисто-моренная гряда протянулась дугой вдоль



долин рек Инструча и Преголи. В южной части сочетаются участки волнистых флювиогляциальных равнин и равнины основной морены, также встречаются отдельные камовые холмы. Южнее поверхность занята реликтовой бугристой аллювиальной равниной. На территории области существуют реликтовые комплексы - древние долины стока талых ледниковых вод: долина реки Инструч и реки Преголя, еще одна долина располагается в центре Самбийского полуострова. (Романова, 2014)

Берег Самбийского полуострова преимущественно крутой и обрывистый высотой 15-30 м, от него отходят две узкие песчаные косы - Куршская и Балтийская. (Атлас, 2010)

Вдоль границы Калининградской области с Польшей протягиваются системы более массивных и высоких конечно-моренных гряд. В западной части они представлены

Вармийской возвышенностью с максимальными абсолютными высотами 101 м, на востоке моренные образования продолжают в виде Балтийской гряды, включающей в себя Виштынецкую возвышенность, максимальные высоты достигают 242 м. В понижениях рельефа между грядами встречаются многочисленные озера. Встречаются заболоченные участки, приуроченные к понижениям рельефа.

(Романова, 2014)

Большие пространства на территории области занимают озерно-ледниковые равнины и низменности. Встречаются заболоченные участки, приуроченные к понижениям рельефа.

Полесская моренная равнина располагается севернее конечно-моренной гряды на южном побережье Куршского залива. Рельеф холмисто-волнистый с преобладающими высотами от 5 м до 15 м. Во многих местах поверхность низменности находится ниже уровня моря. Территория сильно заболочена. (Орленок, 1995)

Прегольская озерно-ледниковая равнина занимает центральную часть области, заключена между конечно-моренными грядами и имеет общий слабый уклон к северу. Поверхность ее пологоволнистая, расчленена долинами рек и осложнена невысокими моренными холмами. Высота ее над уровнем моря изменяется от 13 до 25-30 м, что обуславливает существование обширных заболоченных участков. (Объяснительная записка, 2011)

Северо-восточную часть области занимает Шешупская равнина. Она располагается в Междуречье Шешупы и Немана является реликтовой бугристой аллювиальной равниной, которая сложена переветными песками, с материковыми дюнами и грядами. Абсолютные отметки составляют 20–30 м. В южной части Шешупская равнина подстилается озерно-ледниковыми отложениями, что обуславливает широкое развитие болот и заболоченных участков. (Романова, 2014)

Для Балтийского моря характерна большая протяженность береговой линии. Морские берега представляют собой сочетания абразионных, аккумулятивных и переходных абразионно-аккумулятивных форм. Для береговой линии характерен эоловый равнинный холмисто-грядовый рельеф. Вдоль побережья протянулись цепи песчаных дюн, а в море выступают Куршская и Балтийская косы. Косы отделяют от моря Куршский и Калининградский (Вислинский) заливы. (Атлас, 2010)

В пределах Калининградской области находится северная часть Балтийской косы длиной 25 км и южная часть Куршской косы протяженностью 49 км. Они представляют собой крупные песчаные аккумулятивные тела, и по происхождению все берега могут быть отнесены к аккумулятивным песчаным. (Атлас, 2010)

Песчаные дюны на большей Куршской косы части имеют малую абсолютную высоту до 30–40 м, могут достигать 68 м. Дюны Балтийской косы несколько меньше по размерам, чем на Куршской косе, и высота их обычно не превышает 40 м. (Объяснительная записка, 2011)

Прибрежное мелководье вдоль берегов Калининградской области имеет две зоны: подводный береговой склон с глубинами до 20 м и внешнюю часть мелководья. Рельеф мелководья относительно выровнен, хотя на внешней его части отмечаются небольшие холмисто-грядовые формы ледникового рельефа высотой 5–10 м. Глубже 50 м прибрежное мелководье плавно переходит в пологие склоны впадин с уклоном менее 10. (Гидрометеорология, 1992)

Гданьская впадина – крупная отрицательная форма рельефа, выраженная субаквальной субгоризонтальной равниной с максимальной глубиной около 110 м., имеет крутые юго-западный, южный и юго-восточный склоны и пологие – северо-западный, северный и северо-восточный. (Свиридов, 2000)

Вдоль побережья Самбийского полуострова на глубине 3–96 м выявлена серия погруженных клифов, они приурочены обнажения твердых пород. (Гидрометеорология, 1992)

Куршско-Самбийская возвышенность расположена в восточной части Гданьского бассейна и примыкает к Куршской косе. (Атлас, 2010) Западнее Куршской косы прибрежное мелководье и склоны впадины пересекает подводная долина Пранемана, проходящая с глубин 20–25 м от Куршской косы до северного края Гданьской впадины. (Гидрометеорология, 1992) Долина разделяет прибрежное Куршско-Самбийское плато на две части: северо-восточную (Клайпедское плато) и южную (Самбийское плато). Первая образует аккумулятивную равнину с уклоном к юго-западу; поверхность второй сильно эродирована и наклонена к северу и западу. (Свиридов, 2000). породы.

Для грунтов Балтийского моря характерны камни и валуны, часто встречающиеся на дне моря. В прибрежных районах распространены песчаные отложения. (Национальный атлас, 2007)

#### 4. Тектоническое строение

Территория Калининградской области и прилегающая к ней акватория Балтийского моря приурочены к тектонической структуре I порядка – Балтийской синеклизе Восточно-Европейской древней платформы.

По морфологии Балтийская синеклиза представляет собой крупный структурный залив субширотного простирания, замыкающийся на востоке и открывающийся на западе в сторону Балтийского моря.

Балтийская синеклиза открыта на юго-западе в Датско-Польский прогиб, Балтийская синеклиза открыта на юго-западе в Датско-Польский прогиб. Ее юго-западная граница совпадает с краевым швом Восточно-Европейской платформы (линия Тейссейра-Торнквиста), вдоль которого она граничит с со Среднеевропейской эпикаледонской платформой. На востоке и юго-востоке Балтийская синеклиза ограничивается Мазурско-Белорусской антеклизой, а на северо-востоке через Латвийскую седловину сочленяется с Московской синеклизой. Естественной границей ее на северо-западе являются выходы кристаллических пород фундамента Балтийского щита на дочетвертичную поверхность. (Объяснительная записка, 2011) Схема тектонического районирования западной части Восточно-Европейской платформы приведена на рисунке 2.

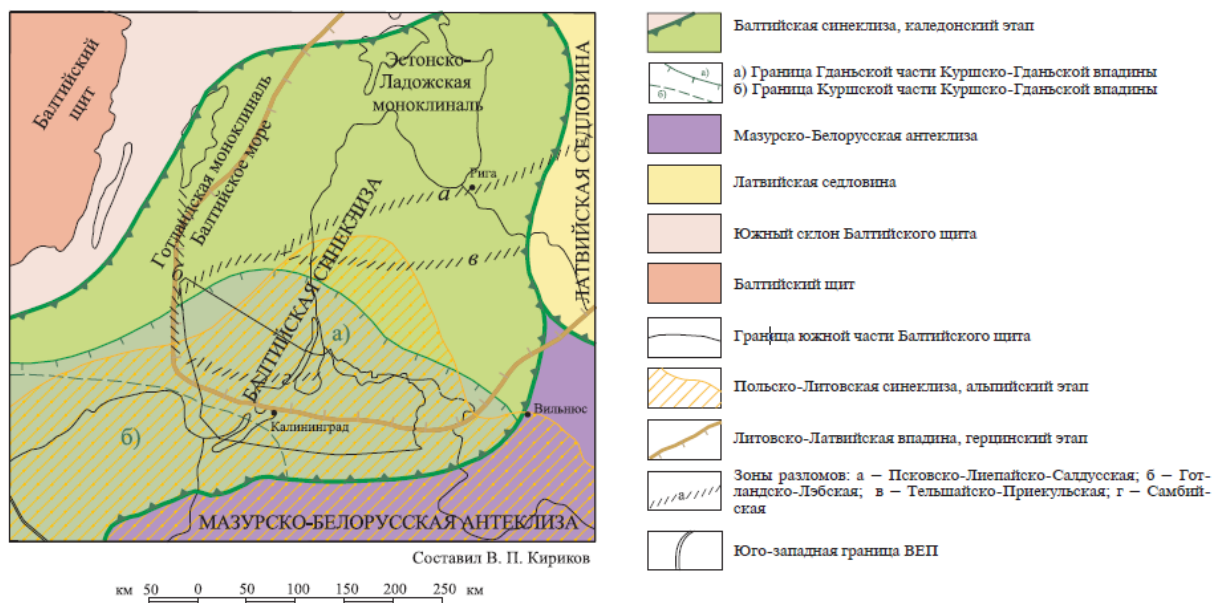


Рис. 2. Схема тектонического районирования западной части Восточно-Европейской платформы.

Нижний структурный этаж слагает поверхность кристаллического фундамента, который представляет собой фрагмент глубокой впадины, с северо-восточным простиранием. Выполнена впадина мощной толщей осадочных пород, слагающих верхний структурный этаж. Платформенный чехол представлен слабо дислоцированными отложениями. В разрезе чехла представлены отложения всех геологических систем от кембрия до палеогена, за исключением каменноугольной системы. (Атлас, 2010)

По поверхности фундамента южная часть территории характеризуется линейным структурным планом субширотной ориентировки, северная часть – изометрическими формами структур при общем наклоне всей поверхности к западу и юго-западу. Большинство структурных форм на участке ограничивается разломами, амплитуды которых не превышают 30–50 м, и лишь на западе в средней части территории с продолжением на шельфе амплитуды смещения по разломам достигают 70–130 м и более. (Объяснительная записка, 2011)

В пределах акватории Балтийского моря поверхность фундамента нарушена глубинным разломом (Неманский), который делит Балтийскую синеклизу на северную и южную части. Тектоническая зона захватывает широкую полосу, осложненную сбросами амплитудой до 100 м. К югу от нее расположена Южно-Калининградская зона разломов, которая является самой опущенной областью на восточном борту Балтийской синеклизы. Структурный план поверхности фундамента на шельфе, характеризуется широким и плавным погружением к юго-западу по оси впадины. (Атлас, 2010)

## **5. Стратиграфия.**

Территория Калининградской области расположена на западе Восточно-Европейской платформы.

В структурном плане регион находится в пределах Балтийской синеклизы с глубоким погружением поверхности кристаллического фундамента и мощным осадочным чехлом. Наиболее погруженная осевая часть синеклизы расположена в акватории Балтийского моря.

В геологическом строении территории Калининградской области принимают участие протерозойские и фанерозойские образования различного состава и генезиса.

Кристаллический фундамент сложен гнейсами, кристаллическими сланцами и амфиболитами раннего протерозоя (PR1), породы залегают на глубинах от –1200 до –3000 м от дневной поверхности.

В строении осадочного чехла синеклизы принимают участие отложения палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов мощность которых закономерно

возрастает с севера на юг до 4000-4500 м и резко сокращается на обоих бортах впадины. (Объяснительная записка, 2011)

### **Палеозойская эратема**

#### **Кембрийская система (Є<sub>1</sub>)**

Кембрийские отложения залегают на эрозионной поверхности фундамента и развиты на всей территории описываемого региона. Отложения представлены преимущественно тонкообломочными породами: аргиллитами, алевролитами и песчаниками, преобладающими в нижней части разреза. Мощность кембрия составляет 100-240 м и возрастает с севера на юг. Максимальная мощность, установленная в акватории, составляет 307 м.

#### **Ордовикская система (О)**

Отложения ордовика залегают со стратиграфическим несогласием на размытой поверхности кембрия, представлены терригенно-карбонатными морскими образованиями, имеющими повсеместное распространение. Общая мощность отложений меняется от 160 м на севере и до 80 м на юге.

#### **Силурийская система (О)**

Силурийские отложения распространены повсеместно и представлены морскими терригенными и карбонатными осадками: сильно глинистыми мергелями с редкими прослоями известняков и аргиллитов. Мощность изменяется от 600 м на севере до 1200 м на юге региона. Отложения силура залегают трансгрессивно на размытой поверхности ордовикских образований и несогласно перекрываются отложениями девона. Верхний контакт силура четко фиксируется по смене сероцветных силурийских пород на пестроцветные девонские.

#### **Девонская система (D)**

Отложения девона распространены только в северной части исследуемого района. Они являются частью юго-западной окраины Главного девонского поля Восточно-Европейской платформы. Представлены девонские осадки морскими, лагунными и континентальными отложениями: терригенными и карбонатными породами с максимальной мощностью до 100 м.

#### **Пермская система (Р)**

Пермские отложения имеют повсеместное распространение и несогласно залегают на породах и девона. В составе пермских отложений преобладают лагунно-морские образования солеродных бассейнов мощностью до 360 м. Они в основном сложены довольно мощным слоем соленосных пород: каменной солью, ангидритом, гипсом. Общая мощность пермских отложений колеблется от 250 до 420 м. (Объяснительная записка, 2011)

Пермские отложения выходят на дочетвертичную поверхность только на шельфе со стратиграфическим перерывом и перекрываются триасовыми отложениями.

### **Мезозойская эратема**

В отложениях мезозоя присутствуют триасовая, юрская и меловая системы.

#### **Триасовая система (Т)**

Отложения триасовой системы развиты на всей изученной территории. Они с размывом залегают на пермских и также с размывом перекрываются юрскими отложениями.

Разрез триаса в регионе представлен нижним и верхним отделами. Нижний сложен преимущественно доломитовыми глинами и аргиллитами с мелкими включениями гипса. Мощность их увеличивается от 50-100 м на севере до 350 м на юге региона. Верхний литологический комплекс сложен глинами, алевритами, песчаниками и доломитизированными глинами, его мощность изменяется от 202 до 520 м. (Объяснительная записка, 2011)

#### **Юрская система (J)**

Юрская система представлена тремя отделами по литолого-фациальным особенностям разделяется на две части. Нижняя часть разреза представлена континентальными и субконтинентальными образованиями, верхняя – отложениями морского генезиса. Отложения представлены глинистыми известняками -ракушечниками, карбонатными глинами и глинистыми аргиллитами. Мощность их достигает 400 м

Юрские отложения на дочетвертичную поверхность выходят на шельфе Балтийского моря и в палеоврезах древних речных долин. Они залегают несогласно на породах верхнего триаса и перекрываются осадками мела. (Объяснительная записка, 2011)

#### **Меловая система (К)**

Меловые отложения трансгрессивно залегают на верхнеюрских отложениях. На большей части территории они перекрываются четвертичными образованиями, в западной и южной частях области они перекрыты отложениями палеогена.

Отложения мелового возраста представлены нижнемеловой терригенной и верхнемеловой терригенно-кремнисто-карбонатной толщами. Мощность отложений весьма изменчива и составляет несколько десятков метров. Наибольшая мощность установлена в юго-западной части региона достигает 320 м (Объяснительная записка, 2011)

### **Кайнозойская эратема**

#### **Палеогеновая система (Р)**

Палеогеновые отложения развиты на юго-западе области и в акватории Балтийского моря. Отложения залегают с размывом на толще верхний мел и перекрываются неогеновыми и четвертичными образованиями. Они представлены морскими мелководными преимущественно мелко- и тонкообломочными породами. Мощность их достигает 190 м. В разрезе присутствуют все три отдела палеогеновой системы.

Палеогеновая толща местами обнажается на дневной поверхности на Самбийском полуострове. (Объяснительная записка, 2011)

#### **Неогеновая система (N)**

Отложения неогена распространены локально на Самбийском полуострове и на восточном побережье Калининградского залива. Залегают они с размывом на отложениях олигоцена и эоцена залива и перекрываются четвертичными образованиями.

(Объяснительная записка, 2011)

Неоген представлен отложениями миоцена и плиоцена, преимущественно континентальные озерно-болотные отложения, насыщенные органическим веществом. Их мощность достигает 70 м. (Орленок, 1995) Осадки представлены кварцевыми песками и алевритами с прослоями темно-серых глин. (Атлас, 2010)

#### **Четвертичная система (Q IV)**

Четвертичные отложения широко распространены в пределах Калининградской области. Залегают они на размытой поверхности мела и палеогена. Мощность отложений колеблется от 3-5 м на побережье до 100 м, внутри континентальной суши достигает 266 м, в среднем составляя 50–60 м. Четвертичные подразделяются на неоплейстоценовые, преимущественно ледникового происхождения, и голоценовые - послеледниковые отложения. Общая длительность четвертичного периода составляет около 1,8 млн. лет.

Неоплейстоцен представлен в генетическом отношении – комплексами ледниковых образований, разделенных озерными или морскими осадками. (Объяснительная записка, 2011)

Ледниковые отложения осташковского горизонта в пределах акватории практически сплошным слоем перекрывают дочетвертичные образования. Морена обнажается как на побережье - к востоку от Калининградского залива и на Самбийском полуострове, так и на поверхности морского дна - на прибрежном мелководье у Куршской косы. Отложения представлены бурыми супесями и суглинками с включениями гальки, гравия, валунов. Среди крупнообломочного материала преобладают карбонатные породы: доломиты, мергели, известняки. Возле Самбийского полуострова отмечаются глауконитовые песчаники, фосфориты, кремни. На поверхности дна морена перекрыта грубообломочным материалом. Мощность морены в акватории может достигать 35 м. (Атлас, 2010)

Флювиогляциальные отложения развиты на суше в пределах краевых образований и в долинах крупных водотоков. Залегают они на морене и представлены в основном разнозернистыми песками, часто с гравийно-галечными прослоями. Мощность может достигать 25 м. Озерно-ледниковые отложения широко распространены в акватории и представлены коричневато-серыми ленточными глинами, суглинками и супесями. Мощность во впадинах может составлять 10 м. (Атлас, 2010)

Отложения Голоцена формировались в последние 10 тыс. лет. Они широко распространены на всей изучаемой территории - на дне открытого моря, в лагунах, на суше – в пределах понижений моренной и ледниково-озерной равнин и по долинам рек. Голоценовые осадки представлены на суше морскими, аллювиально-морскими, озерными, аллювиальными, болотными и техногенными образованиями, на шельфе – морскими, лагунными и техногенными. Их мощность достигает нескольких метров. (Объяснительная записка, 2011)

Морские осадки голоцена представлены терригенными илами, алевритами и песками различной зернистости. Они отлагались в литориновую и современную стадии развития Балтийского моря (в течение 7800 последних лет). Илы распространены в наиболее глубоких частях Гданьской впадины, их мощность достигает 10 м. (Атлас, 2010) По гранулометрическому составу илы более грубые, чем подстилающие озерные отложения и характеризуются тонкослоистой текстурой. Осадки сильно обогащены органическим веществом, насыщены газами. За пределами впадин морские осадки представлены в основном алевритами и песками различной зернистости. Осадки обычно средней степени сортировки, часто содержат гравий и ракушечный детрит. Они перекрывают ледниково-озерные отложения. Мощность песков составляет не более 2 м. (Атлас, 2010; Свиридов, 2000)

Лагунные отложения распространены в Калининградском и Куршском заливах. В прибрежной части заливов до глубин 1,5-2 м осадки представлены разнозернистыми песками, иногда глинистыми отложениями. Мощность не превышает первых метров. (Атлас, 2010)

Аллювиальные отложения представлены русловой, пойменной и старичной фациями. Русловой аллювий выполняет дно рек, слагает островки и косы. Представлен он разнообразным обломочным материалом - от суглинков и супесей до галечников. Мощность русловых отложений обычно составляет от нескольких десятков сантиметров до 5 м. Озерные отложения представлены иловатыми суглинками, супесями, илом, сапропелем, глинами и илистыми песками. Их мощность может достигать 10-15 м. Болотные отложения распространены на территории локально. Они развиты в понижениях



рельефа и представлены торфами различной степени разлаженности, сформировавшимися в болотах низинного типа. Мощность их достигает 5-6 м. (Атлас, 2010)

Эоловые отложения в основном распространены на Куршской и Балтийской косах. Отложения представлены хорошо сортированными средне- и мелкозернистыми песками. Мощность в пределах отдельных дюн может достигать 60 м. (Атлас, 2010)

## **6. Гидрогеологические условия.**

### **6.1. Поверхностные воды.**

Территория Калининградской области характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью. Речная сеть развита по площади равномерно и отличается большой густотой. Густота речной сети составляет около 1 км/км<sup>2</sup> площади, возрастая в низовьях крупнейших рек Неман и Преголя до 1,34 км/км<sup>2</sup>. К бассейну этих двух рек относится большая часть территории области. Основные притоки Немана на территории области — Шешупе и Тыльжа, Преголи — Писса, Анграпа, Инструч, Лава. (Национальный атлас, 2007)

Реки Калининградской области относятся в основном к равнинному типу, отличаются малыми уклонами, медленным течением и извилистыми руслами. Реки, протекающие по возвышенностям, Инстручско-Самбийской и Балтийской грядам имеют значительные уклоны, быстрое течение и порожистое русло.

Неман – крупнейшая река Калининградской области. Ее длина 937 км. Площадь бассейна 98100 км<sup>2</sup>. Истоки реки Неман находятся в Белоруссии, в 45 км к юго-западу от Минска. В верхнем течении р. Неман уклон русла небольшой (15 см/км), река течет медленно по широкой пойме. На участке среднего течения река проходит через Балтийскую гряду. Уклон реки повышается (20-40 см/км), долина глубокая и узкая, а русло порожистое. В местах пересечения рекой озерно-ледниковых равнин, образовались меандры. В нижнем течении река выпрямляется, уклон дна уменьшается (10-15 см/км), пойма расширяется.

Речные воды по химическому составу относятся к гидрокарбонатному типу. Общая минерализация колеблется от 100 до 300 мг/л. (Гидрогеология СССР, 1970)

Питание рек, озер и болот происходит в основном за счет талых снеговых, дождевых и подземных вод. Амплитуда колебания уровня воды в реках колеблется от 2,5 до 9,0 м.

На рассматриваемой территории озера немногочисленны. Наиболее крупное озеро Виштынецкое. Остальные озёра области невелики. Среди озёр области много озёр-старич. Самыми большими внутренними водоёмами области являются заливы Балтийского моря. Куршский и Калининградский заливы являются лагунами — лиманами, отгороженными от моря песчаными косами. (Гидрогеология СССР, 1970)

На территории широко развиты процессы заболачивания, это обусловлено преобладанием осадков над испарением, слабой расчлененностью, равнинным рельефом, наличием большого количества впадин и плохой водопроницаемостью грунтов. Большинство болот расположено на водоразделах и относится к верховому типу с преобладанием атмосферного питания. (Романова, 2014)

### 6.2. Подземные воды.

Вся территория Калининградской области располагается в пределах Польско-Литовского гидрогеологического района (структура III порядка) Прибалтийского бассейна подземных вод, который в качестве структуры II порядка (область) входит в состав сложного Балтийско-Польского артезианского бассейна подземных вод – структуры I порядка (провинции). (Объяснительная записка, 2011)

Осадочный чехол Прибалтийского артезианского бассейна, представляет собой многослойную систему водоносных и водоупорных пластов разного возраста, начиная от пород кембрия и заканчивая четвертичной толщей.

### 6.3. Гидрология моря

В районе изысканий наблюдаются сгонно-нагонные, сейшевые, сезонные и приливные колебания уровня.

Сгонно-нагонные колебания уровня зависят от продолжительности, направления и скорости ветра. Величины сгонно-нагонных колебаний в открытом море составляют 0,5 м, а в вершинах бухт и заливов от 1,5 до 2 м. В южной части моря при штормовых северо-восточных ветрах отмечается повышение уровня на 2 м относительно среднего. В прибрежных районах существенное влияние на сгонно-нагонные колебания уровня оказывает конфигурация береговой линии. Ветер одного и того же направления может вызвать в одном месте сгон воды, а в другом- нагон.

Совместное действие ветра и резкое изменение атмосферного давления вызывают сейшевые колебания уровня. Величина сейшевых колебаний в открытом море от 0,2 до 0,3 м, а в прибрежной зоне достигает местами 1,5 м. (Гидрогеология СССР, 1970)

Сезонные колебания уровня обусловлены гидрометеорологическими факторами (ветер, речной сток, изменение атмосферного давления). В годовом ходе уровня отчетливо выражены два минимума (март- май, октябрь- ноябрь) и два максимума (август- сентябрь, декабрь-январь). Величина сезонных колебаний уровня составляет от 0,1 до 0,2 м, местами достигает 0,3 м; в заливах и бухтах она больше, чем в открытом море.

Приливные колебания уровня в Балтийском море из-за его слабой связи с океаном и сравнительно малых размеров невелики. Средняя величина прилива не превышает 0,2 м.

Течения в Балтийском море представлены в основном постоянными и ветровыми. Постоянные поверхностные течения в Балтийском море слабые и неустойчивые. В открытом море они не оказывают существенного влияния, однако в проливах и у мысов, скорость постоянных течений увеличивается. Средняя скорость постоянных течений от 0,05 до 0,3 м/с, местами от 0,4 до 0,5 м/с; при штормах она достигает 1 м/с в открытом море и 2 м/с в прибрежной зоне.

На режим течений в Балтийском море большое влияние оказывают скорость и направление преобладающих ветров.

Ветровые течения в Балтийском море часто преобладают над постоянными. Направление их совпадает с направлением преобладающих ветров, а у берегов на направление ветровых течений влияет конфигурация береговой линии. В проливах и закрытых бухтах направление ветровых течений может не совпадать с направлением ветра. Скорость ветровых течений обычно около 1 м/с, при сильных штормах может достигать 1,5 м/с.

Приливные течения в море слабые. Средняя скорость их в открытом море около 0,05 м/с, а в проливах 0,8 м/с.

В течение всего года преобладают волны высотой до 2 м (повторяемость от 70 до 100 %). Штормовые ветры развивают волны высотой до 5–6 м и длиной 3–4 м. Максимальная высота волн в юго-западном районе моря 13 м. Поверхностная циркуляция вод Балтийского моря имеет общий циклонический характер. (Гидрогеология СССР, 1970)

Зыбь в Балтийском море наблюдается редко, в основном летом. Преобладающее направление зыби– юго-западное, а весной иногда северное. В проливах местами возможна толчея. В прибрежной зоне отмечается прибой.

### **Выводы к первой главе.**

В первой главе было рассмотрено физико-географическое описание региона работ, который расположен в Калининградской области и прилегающей к ней акватория Балтийского моря.

Климат переходный от морского к умеренно-континентальному. Геоморфологический облик района сложился в результате деятельности последнего ледника и последующих процессов размыва и переотложения моренных и флювиогляциальных отложений и представляет чередование равнин и понижений с холмисто-грядовыми возвышенностями. Территория характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью. Широко развиты процессы заболачивания. Для береговой линии характерен эоловый равнинный холмисто-грядовый рельеф. Балтийское море по своему

геологическому строению является неглубоким шельфовым морем. Прибрежное мелководье имеет две зоны: выровненный подводный береговой склон с глубинами до 20 м и внешнюю часть мелководья, которая плавно переходит в пологие склоны впадин глубиной более 50 м. В акватории наблюдаются сгонно-нагонные, сейшевые, сезонные и приливные колебания уровня. Ветровые течения в Балтийском море часто преобладают над постоянными поверхностными слабыми и неустойчивыми течениями. В течение всего года присутствует волнение, зыбь наблюдается редко. В прибрежной зоне отмечается прибой.

В структурном плане регион находится в пределах Балтийской синеклизы с глубоким погружением поверхности кристаллического фундамента и мощным осадочным чехлом. В строении осадочного чехла принимают участие отложения палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Четвертичные отложения подразделяются на неоплейстоценовые - ледниковых образования, разделенные озерными или морскими осадками и голоценовые - послеледниковые отложения, которые на суше представлены морскими, аллювиально-морскими, озерными, аллювиальными, болотными и техногенными образованиями, на шельфе – морскими, лагунными и техногенными.

## **Глава II Инженерно-геологические изыскания на континентальном шельфе.**

### **1. Детальность инженерно-геологических изысканий на шельфе.**

Континентальный шельф – выровненная часть подводной окраины материков, прилегающая к берегам суши и характеризующаяся общим с ней геологическим строением. Глубины края шельфа обычно составляют 100–200 м. Шельф ограничен с одной стороны берегом моря, с другой бровкой шельфа или четким перегибом рельефа дна. От бровки шельфа начинается континентальный склон, представляющий собой участок морского дна, обладающий наклоном до 7-8° относительно не широкий и прослеживающийся до глубин 3000-5000 м. Выпояживающаяся нижняя часть склона называется подножием континентального склона. (Короновский, 2006)

Наибольшая изменчивость пород на шельфе отмечается по нормали к берегу, наименьшая - вдоль берега, она возрастает с ростом крутизны подводного склона, а также в местах впадения рек и развития процессов абразии. Осадочные отложения в прибрежной мелководной зоне очень подвижны вследствие развития различных литодинамических процессов.

Инженерно-геологические изыскания на континентальном шельфе под строительство стационарных гидротехнических сооружений в соответствии с СП 11-114-2004 выполняют в масштабе 1:1000-1:5000 с целью комплексного изучения и оценки инженерно-геологических условий в зоне взаимодействия сооружений с геологической средой и прогноза их изменений в процессе строительства и эксплуатации сооружений. Изыскания позволяют провести комплексное исследование инженерно-геологических условий района проектируемого строительства: рельеф, геологическое строение, сейсмотектонические, геоморфологические, гидрогеологические и геокриологические условия, состав, состояние, свойства и температуру грунтов, наличие опасных геологических процессов и явлений.

Детальность изысканий, состав, объемы и методы выполнения работ устанавливаются СП 11-114-2004 и должны быть достаточными для выделения в плане и по глубине инженерно-геологических элементов с определением для них лабораторными и полевыми методами прочностных и деформационных характеристик грунтов, их нормативных и расчетных значений, а также установления гидрогеологических параметров, интенсивности развития геологических и инженерно-геологических процессов, агрессивности подземных вод в сфере.

Общее количество скважин на участке принимают от 15 до 150 в зависимости от детальности изысканий. Количество точек зондирования должно быть не менее 6 на каждом

геоморфологическом элементе. Бурение осуществляют в пунктах, выбранных по данным предшествующих геофизических исследований. Инженерно-геологические скважины размещают так, чтобы обеспечить проходку всех стратиграфо-генетических комплексов изучаемой площади в пределах заданной глубины. В пределах контуров будущего сооружения выполняют бурение не менее двух скважин, которые расположены на расстоянии 3-5 м друг от друга. Выработки проходят полностью толщу слабых грунтов или до глубины, на которой грунты не оказывают влияния на устойчивость сооружений. Одна из выработок используется для отбора проб грунта, а другая для статического зондирования. Часть точек статического зондирования располагают вблизи буровых скважин для обеспечения надежной интерпретации результатов зондирования, а остальные - между буровыми скважинами и пунктами пробоотбора в местах сильной изменчивости грунтовых условий.

Глубина бурения инженерно-геологических скважин в пределах контура сооружения определяется зоной взаимодействия сооружения с грунтовым основанием. При отсутствии данных для расчета величины зоны взаимодействия глубина выработок устанавливается в зависимости от типа сооружения и глубины моря, которая приведена в таблице 2. При изысканиях для сооружений со свайным фундаментом проходку скважин выполняют ниже предполагаемой глубины погружения свай на 1/3-1/4 их длины. (СП 11-114-2004)

Таблица 2. Глубина выработок.

Тип сооружения	Глубина моря, м	Глубина инженерно-геологического бурения, м	
		Глинистые грунты от текучей до тугопластичной консистенции, рыхлые пески	Глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции, пески плотные и средней плотности
Стационарные платформы со свайным основанием	Более 150	По согласованию с проектной организацией	
	От 60 до 150	90-120	50-80
	Менее 60	60-80	40-50

Инженерно-геологические изыскания на шельфе согласно СП 11-105-97 должны включать, весь комплекс работ:

- сбор и обработка материалов геологоразведочных работ, изысканий и исследований прошлых лет;

- геофизические исследования;
- проходка скважин с отбором проб грунта и отбор проб придонных грунтов морскими донными пробоотборниками;
- геотехнические исследования грунтов;
- лабораторные исследования грунтов;
- стационарные наблюдения;
- составление прогноза изменений инженерно-геологических условий;
- камеральная обработка материалов (включая фондовые материалы и результаты изысканий прошлых лет).

## **2. Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет**

Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет предшествуют проведению инженерно-геологической съемки и дешифрированию. Сбору и обработке подлежат материалы, содержащие информацию о климате, характере рельефа дна, геологической истории региона, стратиграфии, тектонике, наличии разрывных нарушений, составе, состоянии, свойствах, температуре грунтов, опасных геологических, геодинамических, инженерно-геологических и криогенных процессах, а также имеющемся опыте строительства аналогичных сооружений, техногенных воздействиях и последствиях хозяйственного освоения территории.

По результатам сбора, обработки и анализа материалов изысканий прошлых лет дают оценку степени изученности инженерно-геологических условий исследуемой территории и оценку возможности использования этих материалов.

На основании собранных материалов формулируется рабочая гипотеза об инженерно-геологических условиях исследуемой территории и устанавливается категория сложности этих условий, в соответствии с которой определяются состав, объем, методика и технология изыскательских работ. (СП 11-114-2004)

## **3. Геофизические исследования**

Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях на шельфе выполняются в первую очередь на всех этапах изысканий под все типы морских сооружений. Инженерно-геофизические методы в комплексе с данными буровых и геотехнических работ позволяют получать пространственную характеристику выделяемых разновидностей грунтов, инженерно-геологических элементов.

Геофизические методы используют для оценки характеристик физико-механических свойств грунтов, выявления и прослеживания неоднородности строения массива грунтов, определения направления и скорости движения подземных вод, а также для изучения

опасных техногенных и природных процессов и явлений в пределах исследуемой территории.

Основными геофизическими методами являются непрерывное сейсмоакустическое профилирование, высокочастотная сейморазведка, гидролокация. Непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) используется для изучения верхней части геологического разреза, сложенного слаболитифицированными породами. Высокочастотная сейморазведка применяется для выполнения работ, требующих достижения больших глубин до 500 м и более. Гидролокацию бокового обзора используют для картирования дна. Для обследования участков постановки сооружений с целью поиска тел искусственного происхождения используют магнитометрию. Методы электроразведки и радиолокация применяются ограниченно, для решения специальных задач. (СП 11-114-2004; СП 47.13330.2012)

#### **4. Методика выполнения буровых работ и опробование грунта, воды.**

Основными методами инженерно-геологических изысканий на шельфе являются бурение и отбор проб грунта пробоотборниками и грунтоносами минимально нарушающие естественную структуру и состояние грунтов. Бурение инженерно-геологических скважин выполняются со специализированных буровых судов согласно СП 11-114-2004.

Бурение скважин осуществляется с целью: проведения полевых исследований грунтов, отбора образцов грунтов, установления геологического разреза и условий залегания грунтов, установления зон аномально высоких давлений.

Способ бурения скважин и отбора в них образцов грунта зависит от назначения выработок, условий залегания, глубины изучения геологической среды, вида состава и состояния грунтов.

Отбор проб должен производиться с помощью гидроударных и вдавливаемых пробоотборников, обуривающих и забивных грунтоносов, колонковых труб.

Глубина внедрения пробоотборников зависит от их конструкции, веса, способа внедрения и обычно не превышает 5 м, но может достигать 30 м. Для отбора проб следует использовать морские пробоотборники легкого и тяжелого типа. К легким техническим средствам (ЛТС) относятся гравитационные, гидростатические и ковшовые пробоотборники, вес которых обычно составляет 50-800 кг. К тяжелым (ТТС) относятся мощные технические средства, вес которых может достигать нескольких тонн, смонтированные на стационарных рамах и снабженные специальными приспособлениями для оперирования.

По способу внедрения выделяют гравитационные, гидростатические, вибрационные, грейферные донные пробоотборники, а также пробоотборники ударного действия.



Пробоотборники ударного действия применяют только при работе в песках и переуплотненных глинах. Ударная технология внедрения непригодна для отбора образцов ила, так как они весьма чувствительны к динамическому воздействию. Грунтоносы обеспечивают отбор проб при глубине моря до 100 м. Глубина их внедрения составляет не более 6 м. К числу используемых ударных пробоотборников относятся коробчатый пробоотборник и прямоточная грунтовая трубка. При необходимости опробования грунтов полутвердой и твердой консистенции применяются забивные коробчатые пробоотборники.

Грейферный способ внедрения предназначен для отбора образцов из любых разновидностей грунтов с поверхности дна, к числу используемых пробоотборников относятся дночерпатели «Океан-0,25». Грунтоносы обеспечивают отбор проб при глубине моря до 500 м. Глубина их внедрения не превышает 0,3 м. Они позволяют получать образцы нарушенной структуры.

Вибрационная технология может успешно использоваться для инженерно-геологического опробования рыхлых песчаных и глинистых отложений, не содержащих значительной примеси крупнообломочного материала. Пробоотборники вибрационного действия не подходит для отбора инженерно-геологических проб слабых грунтов (илов). (СП 11-114-2004) Грунтоносы позволяют отбирать образцы на глубине до 80-300 м. Глубина их внедрения не превышает 3-5 м.

Гравитационные и гидростатические пробоотборники используют при отборе глинистых, песчаных и гравийных отложений. Их применение обеспечивает получение проб при глубине моря до 100-300 м. Глубина их внедрения зависит от глубины моря и характера донных грунтов. В пластичных глинистых грунтах она составляет 2-4 м, в песках - не более 1 м, в гравийных грунтах внедрение не превышает 0,5 м.

Проходку органоминеральных и органических грунтов при исследовании их на акватории осуществляют задавливаемыми тонкостенными трубками или пробоотборниками. Илы чувствительны к механическим воздействиям, поэтому при проходке следует ориентироваться на использование диаметров 89-127 мм и выполнять все рекомендации по бурению скважин в легко разрушаемых породах без применения промывочной жидкости.

При отборе слабых глинистых грунтов, илов, мелких и пылеватых песков применяются обуливающие и вдавливаемые грунтоносы с затворным устройством, обеспечивающим частичное или полное перекрытие входного отверстия.

Для получения проб ненарушенного сложения из текучих, текучепластичных разновидностей и илов используется отбор проб при помощи вставных одноразовых полиэтиленовых рукавов, металлической фольги и пластиковых стаканов.

Для опробования пылеватых и мелких песков, глин нормальной плотности и переуплотненных, а также слаболитифицированных пород могут применяться одинарные, двойные и тройные колонковые трубы при бурении с судов, оборудованных установкой вращательного бурения. Применение одинарной колонковой трубы позволяет получать пробы нарушенного сложения из всех видов грунтов из-за вращения керноприемника в процессе бурения. Однако в связных плотных глинистых и полускальных грунтах, при отсутствии видимых деформаций пробы могут использоваться для определения прочностных и деформационных свойств. При двойной и тройной конструкции колонковой трубы внутренняя керноприемная часть не вращается, что позволяет получать керн ненарушенного сложения из глинистых и слабосцементированных грунтов.

Для опробования несвязных грунтов применяют расщепляемые, ложковые и шнековые грунтоносы, которые позволяют получать пробы только нарушенного сложения.

Отбор проб с поверхности дна выполняется для изучения верхней природной части разреза и получения проб для лабораторных исследований. Опробованию подлежит каждый выделенный слой грунта. Если мощность слоя превышает 5 метров должно быть отобрано не менее 3 образцов.

Объем опробования грунтов устанавливается исходя из сложности инженерно-геологических условий, требуемой точности определения показателей свойств грунтов, их изменчивости, уровня ответственности проектируемых сооружений и стадии изысканий. Ориентировочная частота опробования грунтов при бурении инженерно-геологических скважин приведены в таблице 3.

Таблица 3. Ориентировочная частота опробования грунтов при бурении инженерно-геологических.

Интервал глубин опробования от дна моря, м	Шаг опробования, м
0 - 10	0,2 - 0,5
11 - 30	0,3 - 1,0
31 - 50	0,5 - 1,5
51 - 70	1,0 - 3,0
70 - 120	2,0 - 5,0
более 120	Определяется программой работ

Каждый выделенный слой грунта подлежит опробованию. Если мощность слоя 5 метров и более отбирают не менее 3 образцов. При опробовании опорных скважин частоту отбора проб следует принимать максимальной. (СП 11-114-2004)

## 5. Геотехнические исследования

Геотехнические исследования при инженерно-геологических изысканиях на шельфе следует проводить с целью: расчленения геологического разреза, оконтуривания линз и прослоев слабых грунтов; определения физико-механических свойств грунтов в условиях естественного залегания; оценки пространственной изменчивости свойств грунтов; оценки возможности погружения свай в грунты и несущей способности свай; определения динамической устойчивости водонасыщенных грунтов. (СП 11-114-2004)

К основным методам исследований на шельфе относятся: статическое и динамическое зондирование, испытания грунтов с помощью дилатометра и вращательного среза крыльчаткой.

Под зондированием понимается исследование физических и механических свойств грунтов путем вдавливания в них стального стержня с коническим наконечником, называемого зондом. При погружении зонда исследуется отклик грунтов в виде их сопротивления его погружению (Болдырев, 2010)

Статическим зондированием называется процесс погружения зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда, выполняется в соответствии с ГОСТ 19912-2001.

Испытания на шельфе проводят с донных установок без бурения, или в скважинах. Зондирование проводится поинтервально или до отказа, после чего зонд извлекается, опускается буровая колонна и скважина разбуривается до глубины погружения конуса. Процедура повторяется до необходимой глубины исследования разреза. Возможна комбинация зондирования и отбора проб ударными и вдавливаемыми грунтоносами.

В состав определяемых параметров входят: удельное сопротивление грунта под конусом (лобовое сопротивление  $q_c$ ), удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (трение по боковой поверхности  $f$ ) и избыточное поровое давление.

Интерпретация данных статического зондирования выполняется на основании теоретико-эмпирических и корреляционных зависимостей. Результаты статического зондирования используются для расчленения геологического разреза и определения физико-механических свойств грунтов в массиве, могут быть определены модули деформации песков и глинистых грунтов.

Данный метод трудно применим при испытании плотных песчаных и глинистых грунтов твердой консистенции, из-за больших значений усилий. Статическое зондирование следует применять для исследования показателей свойств и определения мощности толщи органоминеральных и органических грунтов, рельефа минерального дна под слоем торфа.

Динамическим зондированием называется процесс погружения зонда в грунт под действием ударной нагрузки или ударно-вибрационной нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

В инженерно-геологических изысканиях применяется несколько методов динамического зондирования: метод динамического зондирования пробоотборником (стандартные пенетрационные испытания - SPT) и метод динамического зондирования с использованием зонда с конусным наконечником (угол раскрытия конуса  $60^\circ$ ). (Болдырев, 2011)

Стандартные пенетрационные испытания проводятся с целью определения сопротивления грунта путем динамического внедрения в него разъемного пробоотборника с последующим отбором образцов нарушенной структуры с целью классификации грунта. Испытания проводятся путем внедрения в грунт зонда под действием веса падающего с высоты 7,60 см молота массой 63,5 кг. В ходе испытаний определяется количество ударов (N), необходимое для погружения зонда на глубину 30 см. (Болдырев, 2010)

Динамическое зондирование выполняется в соответствии с ГОСТ 19912-2001 при помощи конуса с углом при вершине  $60^\circ$  и диаметром 74 мм в основании конуса. Испытание проводится путем погружения в грунт рабочей части зонда под действием веса молота, падающего с постоянной высоты. В ходе испытания определяется количество ударов, необходимое для погружения зонда на фиксированный интервал глубины в зависимости от сопротивления грунта. По данным измерений, полученных в процессе испытания, вычисляют условное динамическое сопротивление грунта ( $P_d$ ) погружению зонда. (ГОСТ 19912-2001)

Методы динамического зондирования используются для расчленения геологического разреза, оценки пространственной изменчивости состава и свойств грунтов, определения глубины залегания кровли скальных и крупнообломочных грунтов. По результатам полевых испытаний определяются следующие физико-механические характеристики грунтов: относительная плотность, угол внутреннего трения песчаных грунтов ( $\varphi$ ), модуль деформации (E), сцепление (c) и осадка в сыпучих грунтах. (Болдырев, 2011)

Динамическое зондирование на шельфе имеет ограниченное применение и используется лишь при незначительных глубинах моря для оценки динамической устойчивости песчаных грунтов.

Часть точек зондирования размещается вблизи горных выработок в количестве не менее шести для каждого инженерно-геологического элемента, а остальные - между буровыми скважинами и пунктами пробоотбора в местах сильной изменчивости грунтовых

условий, а также в песчаных грунтах, особенно при их рыхлом сложении. Точки заложения исследований грунта полевыми испытаниями следует располагать на расстоянии 2-5 м от устья скважин. (СП 11-114-2004)

Прессиометрия, испытания грунтов с помощью дилатометра и вращательного среза крыльчаткой выполняют в соответствии с ГОСТ 20276-99.

Испытания дилатометром проводят для определения модуля деформации (E) и коэффициента бокового давления песков, глинистых, органоминеральных и органических грунтов. Модуль деформации определяют по результатам нагружения грунта горизонтальной нагрузкой в скважине с помощью дилатометра. Испытание позволяет получить почти непрерывные графики модулей деформации, эффективных горизонтальных напряжений и порового давления.

Прессиометрические испытания производят для определения модуля деформации (E) песков, глинистых, органоминеральных и органических грунтов. Модуль деформации определяют по результатам нагружения грунта горизонтальной нагрузкой в стенках скважины с помощью прессиометра. Также допускается определять показатели сопротивления сдвигу и горизонтальные напряжения.

Испытания вращательные срезом с помощью четырехлопастной крыльчатки проводят для оценки максимальных значений сопротивления сдвигу глинистых грунтов мягкопластичной - текучей консистенции в недренированных условиях. Определяемым параметром является величина крутящего момента, используемая для расчета сопротивления грунта срезу ( $\tau$ ) и недренированному сдвигу ( $c_u$ ) в связных грунтах. Сопротивление срезу в водонасыщенных органоминеральных и органических грунтах допускается отождествлять с величиной удельного сцепления, что позволяет вести расчеты несущей способности и устойчивости оснований и откосов.

Согласно СП 11-105-97 количество испытаний грунтов прессиометром и вращательным срезом для каждого характерного инженерно-геологического элемента следует устанавливать не менее шести.

Сейсмическое зондирование применяется для определения характеристик скорости распространения продольных и поперечных волн, для уточнения разреза и получения модуля сдвига. Для определения указанных характеристик используются специальные источники возбудителей волн и зонды с датчиками. В качестве датчиков используются геофоны, они позволяют измерять скорость прохождения поперечной волны, возникающей при ударном воздействии на поверхность грунта. Источник устанавливается на поверхности у устья скважины, на донной раме. Динамическая нагрузка на поверхности грунта создается при помощи молотка весом 5–10 кг, которым ударяют по металлической

пластине. Возникающая сейсмическая волна регистрируется геофоном. Глубина использования ограничена мощностью источника и обычно не превышает 20-30 м. (Болдырев, 2010)

Для оценки динамических свойств грунтов в массиве наиболее часто применяются: сейсмическое зондирование, динамическое зондирование и статическое зондирование. Они предназначены главным образом для оценки возможности сейсмического разжижения песчаных грунтов. (Вознесенский, 2013)

Геотехнические исследования выполняют в сочетании с лабораторными испытаниями для установления или уточнения корреляционных зависимостей между характеристиками свойств определенных видов грунтов, полученными различными методами.

#### **6. Лабораторные исследования грунтов.**

Лабораторные исследования грунтов выполняются с целью определения их состава, состояния, физико-механических свойств и химического состава, выявления степени однородности грунтов по площади и глубине, выделения инженерно-геологических элементов, установления для них нормативных и расчетных характеристик.

После извлечения керна из грунтоносных и пробоотборников его исследуют в судовой лаборатории. Отбираемые образцы грунта в зависимости от степени нарушенности их структуры могут иметь нарушенное и ненарушенное природное сложение. Для образцов грунта нарушенного сложения осуществляют визуальное описание, определяют гранулометрический состав, влажность и показатели пластичности. На лабораторных образцах грунта ненарушенного сложения определяют состав и полный комплекс показателей физических и механических свойств. Для морских водонасыщенных грунтов устанавливают следующие физические характеристики: природная влажность, плотность влажного грунта, удельный вес грунтов с учетом взвешивающего действия воды, максимальную и минимальную плотность песчаных грунтов, коэффициент водонасыщения грунтов. В районах шельфовой зоны дополнительно проводят испытания связных грунтов микропенетрометром, микрокрыльчаткой, лабораторной крыльчаткой. Также оценивают содержание карбоната кальция в грунтах, содержание органических веществ, состав и содержание водорастворимых солей. (СП 11-114-2004)

Для морских сооружений прочностные и деформативные характеристики грунтов оснований при статических нагрузках определяют методом трехосного сжатия, компрессионного сжатия и методом одноплоскостного среза в соответствии с ГОСТ 12248-2010.

Испытание грунта методом трехосного сжатия с учетом напряженного состояния грунта на глубине отбора, с измерением перового давления проводят для определения следующих параметров прочности и деформируемости: угла внутреннего трения ( $\varphi$ ), удельного сцепления ( $c$ ) сопротивления недренированному сдвигу ( $c_u$ ), модуля деформации (модуль упругости при сдвиге  $G$ , модуль объемной упругости  $K$  и модуль упругой деформации  $E$ ) и коэффициента поперечной деформации ( $\nu$ ) для песков, глинистых, органо- минеральных и органических грунтов. Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в камерах трехосного сжатия, дающих возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ , где  $\sigma_1$ - максимальное главное напряжение;  $\sigma_2$ ,- промежуточные главные напряжения.  $\sigma_3$  минимальное главное напряжение. Исследование сжимаемости грунта в лабораторных условиях производится в компрессионных приборах, которые называются одометрами. В ходе испытания происходит сжатие грунта под постоянной, ступенчато возрастающей нагрузкой без возможного бокового расширения в условиях открытой системы. (Дмитриев, 2008)

При компрессии деформирование образца грунта и уменьшение его объема происходят за счет уменьшения объема пор, вода и воздух в грунте свободно выдавливаются из пор, при этом объем скелета не меняется. Основная задача компрессионных испытаний заключается в установлении зависимостей между вертикальными деформациями и вертикальным давлением (компрессионная кривая), на основе которой рассчитывается модуль общей деформации, между вертикальными деформациями и временем передачи постоянной нагрузки (кривая консолидации), на основе которой рассчитывается коэффициент консолидации. Испытание грунта методом компрессионного сжатия проводят для определения следующих характеристик: коэффициента сжимаемости ( $m_0$ ), модулей деформации ( $E_{oed}$  и  $E_k$ ) для ветвей первичного и повторного нагружения, коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации ( $c_v$  и  $c_a$ ) песков мелких и пылеватых, глинистых грунтов, органоминеральных и органических грунтов.

Изучение сопротивления пород сдвигающим усилиям проводится путем испытания образцов грунта в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза. В процессе испытания грунтов проводится сдвига одной части образца относительно другой его части постепенно возрастающей касательной нагрузкой при одновременной передаче на образец грунта нагрузки, нормальной нагрузки к плоскости среза. Сопротивление грунта срезу определяют, как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Испытание проводят для определения характеристик прочности

песчаных, глинистых и органо-минеральных грунтов: сопротивление грунта срезу ( $\tau$ ), угла внутреннего трения ( $\varphi$ ), удельного сцепления ( $c$ ). (Дмитриев, 2008)

Важнейшим показателем, характеризующим водопроницаемость грунтов, является коэффициент фильтрации, который устанавливают в соответствии с ГОСТ 25584-90. Фильтрационные свойства песчаных грунтов определяют с помощью прибора КФ-00М. Коэффициент проницаемости глинистых грунтов оценивают по результатам компрессионных или трехосных испытаний на консолидацию, или прямым испытанием на проницаемость при постоянном или переменном напоре. Коэффициент фильтрации определяют при различных значениях пористости для получения данных, необходимых для расчета консолидации грунтов.

Выполняют химический анализ проб поровых вод и водных вытяжек для оценки коррозионной агрессивности воды и грунтов в соответствии с СП 28.13330.2012 и ГОСТ 9.602-2016. Методы определения удельной электрической проводимости, водородного показателя рН и плотного остатка водной вытяжки из засоленных грунтов с целью оценки общей концентрации солей установлены ГОСТ 26423-85. Определение содержания кальция и магния в водной вытяжке осуществляют в соответствии с ГОСТ 26428-85.

Любой грунт может рассматриваться как потенциально динамически неустойчивый, если под воздействием динамической нагрузки увеличивается его деформируемость и снижается прочность. Определение динамических прочностных и деформационных характеристик грунтов имеет важное значение для оценки устойчивости оснований и грунтовых сооружений, находящихся в условиях действия динамических нагрузок, обусловленных сейсмическими колебаниями, циклическими воздействиями штормовых волн и ветра и техногенными воздействиями (СП 11-114-2004)

Под динамическими свойствами грунтов принято понимать группу физико-механических свойств, определяющих их реакцию на действие динамических нагрузок. (Вознесенский, 2013)

Определение величин прочностных и деформационных характеристик грунтов с учетом динамических нагрузок проводится в соответствии с действующими нормативными документами ГОСТ 12248-2010 и ГОСТ Р 56353-2015.

Динамические испытания грунтов проводятся на специальных приборах, позволяющих передавать на исследуемые образцы грунта наряду со статическими нагрузками - динамические нагрузки, изменяющиеся по частоте и амплитуде. При расчете характеристик действующая на образец нагрузка принимается как сумма статической нагрузки и амплитуды динамической нагрузки. По результатам испытаний определяются величины динамических коэффициентов как отношение расчетных характеристик,



полученных в условиях статического нагружения к таким же характеристикам, полученным в условиях динамического нагружения. (СП 11-114-2004)

Для оценки динамических прочностных и деформационных характеристик грунта используют методы лабораторных испытаний: динамическое трехосное сжатие, крутильный сдвиг и малоамплитудные динамические испытания методом резонансной колонки. Установки позволяют выполнять испытания грунтовых образцов как нарушенной, так и ненарушенной структуры, при полном и частичном водонасыщении, в дренированных и недренированных условиях в широком диапазоне действующих частот и интенсивностей статических и динамических нагрузок.

Трехосные динамические испытания грунтов осуществляются в стабилометре с динамическим характером нагружения. Испытания песчаных, глинистых, органоминеральных и органических грунтов этим методом проводятся для определения: возможности разрушения грунтов в основаниях сооружений в условиях природного напряженно-деформированного состояния и его изменения при пульсациях давления, моделирующих динамические воздействия. Прибор позволяет создать различные комбинации осевых и объемных нагрузок при заданных условиях дренирования. (Вознесенский, 2013)

Деформационные свойства грунтов в условиях динамического нагружения допускается определять в одометрах.

Испытание песчаных, глинистых, органоминеральных и органических грунтов проводятся согласно ГОСТ Р 56353-2015 методом малоамплитудных динамических испытаний в резонансной колонке для определения скорости смещения частиц в волне ( $V$ , м/с), динамического модуля сдвига грунта ( $G$ , кПа) и коэффициента поглощения ( $D$ , %) грунта в диапазоне деформаций сдвига порядка  $10^{-4}$  –  $10^{-2}$  %, а также для изучения изменения этих показателей в диапазоне малых сдвиговых деформаций (не более 0,001). Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта с камерам трехосного сжатия, с возможностью бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ , с одновременным возбуждением в образце малоамплитудных крутильных колебаний заданного диапазона частот.

Испытания дисперсных грунтов методом крутильного сдвига проводятся в соответствии с ГОСТ Р 56353-2015 для оценки деградации динамического модуля сдвига ( $G$ , кПа) и роста коэффициента поглощения ( $D$ , %) с увеличением деформации сдвига в диапазоне 0,1-1,0%. Эти параметры определяют по результатам тестирования образцов грунта в приборах крутильного Принцип этого метода аналогичен методу испытаний в

резонансной колонке, отличие состоит в том, что образец подвергается крутильным колебаниям с постоянной частотой и возрастающим усилием.

### **Выводы ко второй главе.**

В второй главе проанализированы нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-геологических изысканий на континентальном шельфе. Основным нормативным документом в области проектирования и строительства сооружений на шельфе является СП 11-114-2004.

В данной главе подробно описана методика выполнения буровых работ и опробования грунта, воды. К основным полевым методам исследований на шельфе относятся: статическое зондирование, динамическое зондирование, прессиометрические испытания, испытания грунтов с помощью дилатометра и вращательного среза крыльчаткой. Геотехнические исследования выполняют в сочетании с лабораторными испытаниями для установления и уточнения корреляционных зависимостей между характеристиками свойств определенных видов грунтов, полученными различными методами. Для морских сооружений прочностные и деформативные характеристики грунтов оснований при статических нагрузках определяют методом трехосного сжатия, компрессионного сжатия и методом одноплоскостного среза.

Динамические испытания грунтов в соответствии с Приложением И СП 11-114-2004. рекомендуется проводить с применением лабораторных и полевых методов для определения показателей свойств, проявляющихся при переменных нагрузках при возможности швартовки и навала крупнотоннажных судов.

### **Глава III Динамическая неустойчивость грунтов.**

#### **1. Поведение грунтов при динамическом воздействии.**

Определение динамических характеристик грунтов имеет важное значение для оценки устойчивости оснований и грунтовых сооружений, находящихся в условиях действия динамических нагрузок разного происхождения, обусловленных сейсмическими колебаниями, циклическими воздействиями штормовых волн и ветра и техногенными воздействиями.

Под динамическими свойствами грунтов принято понимать группу физико-механических свойств, определяющих их реакцию на действие динамических нагрузок. Динамические свойства грунтов характеризуют их и как среду распространения колебаний (упругие, демпфирующие и фильтрующие свойства), и определяют их динамическую неустойчивость, проявляющуюся как увеличение деформируемости и снижение прочности грунта при динамическом нагружении по сравнению со статическими нагрузками. (Вознесенский, 2013; Трофимов, 2005)

В основе динамической неустойчивости грунтов лежит механизм, заключающийся в их способности накапливать от цикла к циклу воздействия некоторую долю рассеянной за счет своих гистерезисных свойств энергии. При динамическом нагружении происходит увеличение внутренней энергии системы, изменяется соотношение между внешней силой и устойчивостью структурных связей. Этот избыток внутренней энергии концентрируется в пределах наиболее слабых микрообъемов породы — концентраторов напряжений, накопленная внутренняя энергия системы расходуется на образование новой свободной поверхности и разрушение структурных связей.

Природа динамической неустойчивости различных грунтов определяется разными механизмами: усталость, тиксотропия, квази-тиксотропия, дилатантно-тиксотропные эффекты, динамическая дилатансия. Возможные варианты реакции грунтов при динамических нагрузках: усталостное разрушение, динамическое уплотнение, снижение прочности (частичное разупрочнение и разжижение).

Под динамической понимается переменная нагрузка, изменяющаяся во времени быстрее, чем затухают вызванные ею в грунте волны напряжений. Переменные нагрузки делятся на монотонные (возрастающие или убывающие) и циклические. Динамические циклические нагрузки (однократные и многократные) представляют собой колебания - чередование во времени возрастания и убывания напряжений. (Трофимов, 2005)

В соответствии с характером чередования напряжений можно выделить периодические и непериодические динамические нагрузки. Периодическая нагрузка

характеризуется закономерным чередованием возрастания и убывания напряжения, которое повторяется через постоянный интервал времени. Непериодическая нагрузка включает три основные разновидности: ударная нагрузка, почти периодическая нагрузка – это суммы гармонических колебаний несоизмеримых (некратных) частот нерегулярная динамическая нагрузка, характерная для техногенных и природных воздействий. (Вознесенский, 2014; Вознесенский, 2013)

По особенностям воздействия на грунты динамические нагрузки можно подразделить на три вида: вибрационные, ударные и сейсмические.

Вибрационные динамические нагрузки могут быть как периодические, так и непериодические воздействия, характеризующиеся непрерывным изменением напряжений во времени. Источниками нагрузки являются природные (землетрясения, волны, ветер) и техногенные воздействия.

Наиболее распространенные источники импульсных нагрузок: взрыв, ударные нагрузки при забивке свай и уплотнении грунтов, работа молотов и прессов. Поведение всех грунтов при импульсных динамических нагрузках имеет ту же природу и подчиняется тем же закономерностям, что и при вибрационных воздействиях. Все различия в реакции грунтов обусловлены специфическими особенностями импульсного воздействия. Импульсные воздействия отличаются кратковременностью и резкостью приложения нагрузки, за малое время происходит выделение всей энергии и повышение мощности импульсного воздействия по сравнению с вибрационным той же амплитуды. Характерно небольшое число циклов быстро затухающих напряжений в серии, следующей за ударом. (Трофимов, 2005)

При прохождении упругих волн через несвязные грунты в них возникают колебания частиц друг относительно друга, в результате происходит накопление сдвиговых деформаций. Характерным механизмом динамической неустойчивости несвязных грунтов является дилатансия. Динамическая дилатансия - это механизм деформирования и разрушения несвязных грунтов при динамических нагрузках, заключающийся в изменении их объема в связи с переупаковкой частиц при их взаимном смещении (уплотнении или разуплотнении) либо в развитии избыточного порового давления (положительного или отрицательного) в условиях водонасыщенной закрытой системы. (ГОСТ Р 56353-2015)

Ниже приведены возможные варианты реакции несвязных грунтов на динамическое нагружение.

Уплотнение (отрицательная дилатансия) рыхлого песка любой влажности, которое приводит к дополнительным осадкам сооружений. Под действием динамического

воздействия происходит разрушение структуры несвязных грунтов, возникает взаимное смещение частиц и нарушается их устойчивость. Виброуплотняемость может быть проиллюстрирована виброкомпрессионной кривой. Это зависимость между коэффициентом пористости песка и ускорением (или мощностью) колебаний при различных статических сжимающих напряжениях строятся. (Гальперин, 2009)

Виброуплотняемость песка максимальна в сухом и водонасыщенном состоянии, но заметно снижается вблизи влажности капиллярной влагоемкости, а также с ростом эффективных напряжений. Эффект уплотнения при вибрации положен в основу методов вибропогружения конструкций и виброуплотнения рыхлых песков для повышения их несущей способности и снижения чувствительности к динамическим нагрузкам. (Трофимов, 2005)

Динамическая уплотняемость песков количественно характеризуется изменением коэффициента пористости при заданных параметрах внешней нагрузки. Динамическое разжижение, представляет собой переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием динамической нагрузки. Разжижение связного грунта может быть вызвано резким снижением его прочности в результате разрушения коагуляционной структурной сетки и падения эффективных напряжений при динамическом воздействии. В результате развиваются огромные деформации, проявляющиеся как течение грунтовой массы без ее заметного уплотнения. При определенной величине динамической нагрузки происходит разжижение несвязного или слабосвязного грунта. Под действием быстро нарастающего порового давления на скелет и уплотнения происходит разрушение структуры рыхлого водонасыщенного песчаного грунта, полная или частичная потеря контактов между частицами. Отсутствие передачи напряжений в контактах между зернами свидетельствует о потере прочности грунта и переходе в разжиженное состояние. По мере отжатия влаги песок уплотняется, повышая устойчивость к последующим динамическим воздействиям. Этот эффект положен в основу метода гидровиброуплотнения (виброфлотации), при котором одновременно с передачей вибрации в ненасыщенный песок под давлением 4—6 МПа подается вода. Количественно разжижаемость песков принято оценивать величиной потенциала разжижения ( $F_L$ ), имеющего физический смысл коэффициента запаса. (Вознесенский, 2012; Мангушев, 2009; Гальперин, 2009)

Циклическая подвижность грунта – это прогрессирующее снижение прочности грунта под действием динамической нагрузки при неизменной пористости, положительном

избыточном поровом давлении в части каждого цикла воздействия и пониженном внутреннем трении в фазе разгрузки. (ГОСТ Р 56353-2015)

Циклическая подвижность может иметь прогрессирующий характер и привести к сдвиговому разрушению грунта без его разжижения, что выражается в накоплении значительных деформаций и приводит к разрушению оснований. Она также может быть затухающей — стабилизирующейся на определенном уровне амплитуды деформации, если нагрузка невелика, а максимум приведенного порового давления (PPR) не превышает 0,7. Результатом может быть медленное накопление деформаций до определенного критического уровня для данного сооружения. Циклическая подвижность в условиях длительных малоамплитудных динамических нагрузок и без инверсии знака напряжений не позволяет плотным водонасыщенным пескам мобилизовать значительное сопротивление сдвигу и может привести к медленной переупаковке зерен и внезапному разжижению грунта в пределах формирующихся при этом более рыхлых зон. Количественными показателями динамической неустойчивости песков в форме циклической подвижности являются максимальная деформация сдвига  $U_{max}$ , предельный уровень относительного порового давления PPR и число циклов — воздействия до момента достижения критической деформации. (Трофимов, 2005)

Разуплотнение (положительная дилатансия) маловлажных плотных песков, сопровождающееся и их разупрочнением. Может наблюдаться при местном нарушении неоднородных по плотности сложения песков, когда при вибрации рыхлые участки грунта уплотняются, а плотные немного разрыхляются. (Трофимов, 2005)

Крупнообломочные грунты при отсутствии заметного количества тонкодисперсного заполнителя можно считать динамически устойчивыми. Это объясняется их слабой сжимаемостью и высокой водопроницаемостью, что исключает возникновение порового давления. Крупнообломочные грунты, а также гравелистые и крупнозернистые пески (дилатантные) способны к динамическому уплотнению и разуплотнению. Чувствительность крупнообломочных грунтов к динамическим нагрузкам повышается с ростом содержания дисперсного заполнителя и при наличии перекрывающего слабопроницаемого слоя, препятствующего быстрой диссипации порового давления. (Трофимов, 2005; ГОСТ Р 56353-2015)

Динамическая неустойчивость связных грунтов проявляется в форме частичной или полной потери прочности при динамическом воздействии, что приводит к большим негативным последствиям. Наиболее чувствительны к вибрациям молодые

слаболитифицированные отложения разного генезиса с высокой влажностью ( $I_L > 0,5$ ). После прекращения нагрузки эти грунты способны восстанавливать прочность до исходного уровня, в основе которого лежит тиксотропия. Тиксотропия – это физико-химическое явление, выражающееся в полном или частичном разрушении структурных связей коагуляционной дисперсной системы под действием динамической нагрузки и последующем самопроизвольном их восстановлении в покое, протекающее при неизменных температуре и влажности. (Трофимов, 2005; ГОСТ Р 56353-2015)

Связные минеральные и органоминеральные грунты с преимущественно коагуляционными структурами по механизму динамической неустойчивости могут быть квазитиксотропными. В основе их реакций на динамическую нагрузку лежат тиксотропные явления, осложненные дополнительными эффектами преобразования структурных связей и порового пространства. Квазитиксотропные грунты при динамическом нагружении проявляют обратимое разупрочнение, следствием которого может быть, как ускоренное накопление деформаций, так и разжижение чувствительных разностей; при этом после прекращения динамического воздействия прочность этих грунтов восстанавливается во времени до значений, превышающих либо не достигающих ее начального уровня. Прочность изменяется только за счет сцепления, а угол внутреннего трения грунта не меняется. (Вознесенский, 2014; Трофимов, 2005; ГОСТ Р 56353-2015)

Количественно эти эффекты характеризуются величиной накопленной деформации за заданное время или число циклов воздействия, а также коэффициентами разупрочнения ( $K_p$ ) и восстановления ( $K_v$ ). В момент окончания вибрационного воздействия  $K_p = K_v$ . В условиях длительных вибрационных нагрузок увеличение скорости ползучести приводит к деградации прочности грунта (снижению порога ползучести) и ускорению его разрушения или накопления осадок. Обратимая деградация прочности связных грунтов находит и практическое применение — при забивке свай. (Трофимов, 2005)

При динамическом воздействии на слабосвязные существенно пылеватые грунты (от песков до легких суглинков) вначале происходит их разжижение, а затем гравитационное уплотнение. Поведение слабосвязных грунтов при динамических нагрузках подчиняется тем же закономерностям и характеризуется теми же показателями, что и для связных грунтов, но имеет ряд особенностей. Для слабосвязных грунтов характерна резкая потеря прочности даже при незначительной интенсивности динамического воздействия, выражающаяся в быстром разжижении водонасыщенных разностей. Это объясняется неоднородностью смешанных структурных связей. В слабосвязных грунтах кулоновское трение между частицами меньше, чем в чистом песке, а

коагуляционная сетка слабая и прерывистая. После прекращения динамического воздействия постепенное увеличение прочности складывается из двух процессов: слабого уплотнения грунта и упрочнения коагуляционной структурной сетки. Динамическая реакция грунтов зависит даже от небольших изменений влажности. При ее разных значениях эти системы могут проявлять как положительную, так и отрицательную дилатансию, которая сопровождается разжижением при степени влажности выше критической. (Трофимов, 2005)

Скальные и полускальные грунты подвержены усталости — снижению прочности и повышению деформируемости в условиях динамического нагружения, таким образом их разрушение происходит при меньшей нагрузке, чем в случае ее монотонного роста. Амплитуда динамических напряжений уменьшается с увеличением числа циклов нагружения. Эту зависимость иллюстрирует кривая Вёлера. (Трофимов, 2005)

## **2. Полевые методы оценки динамических свойств грунтов.**

Среди полевых методов оценки динамических свойств грунтов в массиве наиболее часто применяются: сейсмическое зондирование, динамическое зондирование, стандартная пенетрация и статическое зондирование.

Под зондированием понимается исследование физических и механических свойств грунтов путем вдавливания в них стального стержня с коническим наконечником, называемого зондом. При погружении зонда исследуется отклик грунтов в виде их сопротивления его погружению (Болдырев, 2010)

Статическим зондированием (СРТ) называется процесс погружения зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда, выполняется в соответствии с ГОСТ 19912-2001.

Испытания на шельфе проводят с донных установок без бурения, или в скважинах. Зондирование проводится поинтервально или до отказа, после чего зонд извлекается, опускается буровая колонна и скважина разбуривается до глубины погружения конуса. Процедура повторяется до необходимой глубины исследования разреза. Возможна комбинация зондирования и отбора проб ударными и вдавливаемыми грунтоносами.

В состав определяемых параметров входят: удельное сопротивление грунта под конусом (лобовое сопротивление  $q_c$ ), удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (трение по боковой поверхности  $f$ ) и избыточное поровое давление.

Интерпретация данных статического зондирования выполняется на основании теоретико-эмпирических и корреляционных зависимостей. Результаты статического зондирования используются для расчленения геологического разреза и определения



физико-механических свойств грунтов в массиве, могут быть определены модули деформации песков и глинистых грунтов.

Так как сопротивление грунта определяется прочностью его структурных связей, то существует физическая основа для оценки сопротивления грунта разжижению по его противодействию внедрению зонда при обязательном учете изменения порового давления. Для определения сопротивления песков разжижению по величине приведенного сопротивления грунта под конусом зонда при статическом зондировании используют корреляционные номограммы. Полученное значение приведенного сопротивления грунта под конусом зонда ( $q_c$ ) используется для расчета приведенного циклического сопротивления разжижению (CRR), которое позволяет рассчитать потенциал разжижения песков ( $F_L$ ). (Вознесенский, 2012)

Данный метод трудно применим при испытании плотных песчаных и глинистых грунтов твердой консистенции, из-за больших значений усилий. Статическое зондирование используют для исследования показателей свойств и определения мощности толщи органоминеральных и органических грунтов, рельефа минерального дна под слоем торфа. (СП 11-114-2004)

Динамическим зондированием называется процесс погружения зонда в грунт под действием ударной нагрузки или ударно-вибрационной нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

В инженерно-геологических изысканиях применяется несколько методов динамического зондирования: метод динамического зондирования пробоотборником (стандартные пенетрационные испытания - SPT) и метод динамического зондирования с использованием зонда с конусным наконечником (угол раскрытия конуса  $60^\circ$ ). (Болдырев, 2011)

Стандартные пенетрационные испытания проводятся с целью определения сопротивления грунта путем динамического внедрения в него разъемного пробоотборника с последующим отбором образцов нарушенной структуры с целью классификации грунта. Испытания проводятся путем внедрения в грунт зонда под действием веса падающего с высоты 7,60 см молота массой 63,5 кг. В ходе испытаний определяется количество ударов ( $N$ ), необходимое для погружения зонда на глубину 30 см. (Болдырев, 2010)

Интерпретация данных выполняется на основании корреляционной диаграммы Г.Б. Сида, которая отображает зависимость между приведенными циклическими напряжениями, вызывающими разжижение, и сопротивлением стандартной пенетрации для песков. Этот подход позволяет оценить критическое значение приведенной амплитуды динамических касательных напряжений (CRR) на основе обработанных (нормированных

по стандартной энергии удара) данных испытаний на стандартную пенетрацию, а затем рассчитать потенциал разжижения ( $F_L$ ), основываясь на характеристиках ожидаемого динамического воздействия. (Вознесенский, 2012)

Динамическое зондирование выполняется в соответствии с ГОСТ 19912-2001 при помощи конуса с углом при вершине  $60^\circ$  и диаметром 74 мм в основании конуса. Испытание проводится путем погружения в грунт рабочей части зонда под действием веса молота, падающего с постоянной высоты. В ходе испытания определяется количество ударов, необходимое для погружения зонда на фиксированный интервал глубины в зависимости от сопротивления грунта. По данным измерений, полученных в процессе испытания, вычисляют условное динамическое сопротивление грунта ( $P_d$ ) погружению зонда.

Методы динамического зондирования используются для расчленения геологического разреза, оценки пространственной изменчивости состава и свойств грунтов, определения глубины залегания кровли скальных и крупнообломочных грунтов. По результатам полевых испытаний определяются следующие физико-механические характеристики грунтов: относительная плотность, угол внутреннего трения песчаных грунтов ( $\phi$ ), модуль деформации ( $E$ ), сцепление ( $c$ ) и осадка в сыпучих грунтах. Динамическое зондирование на шельфе имеет ограниченное применение и используется лишь при незначительных глубинах моря для оценки динамической устойчивости песчаных грунтов. По результатам зондирования допускается оценивать разжижаемость песчаных грунтов соответствии с приложением «И» части I СП 11-105-97. (Болдырев, 2011; Вознесенский, 2012)

Сейсмоакустические методы основаны на расчете динамических модулей коэффициента Пуассона и затухания грунта по измеренным характеристикам сейсмических волн. Особое значение имеет метод сейсмического зондирования, который позволяет оценить разжижаемость грунтов на основе скоростей поперечных волн ( $V_s$ ). Обычно сейсмическое зондирование сопровождается статическим и его результаты контролируются с помощью результатов разведочного бурения и отчасти лабораторных испытаний, что позволяет повысить надежность получаемых данных. Использование этого подхода основано на том, что значения скоростей поперечных волн ( $V_s$ ) и величина сопротивления разжижению (CRR) в значительной мере определяются величинами эффективных сжимающих напряжений, пористостью грунтов, историей их нагружения и геологическим возрастом отложений. Существует связь между разжижаемостью несвязных грунтов и скоростью поперечных волн с учетом влияния природного давления для этих отложений. Величину CRR рассчитывают по данным измерений скоростей поперечных волн для определения устойчивости грунта к разжижению ( $F_L$ ). Критерий разжижаемости грунтов

( $V_s$ ) является важным показателем физико-механических свойств грунта, прямо связанный с его модулем сдвига при малых деформациях, который требуется для аналитической оценки реакции грунта на динамические воздействия и его взаимодействия с сооружением в условиях таких воздействий (Вознесенский, 2012)

Все указанные полевые методы базируются на эмпирических корреляционных зависимостях между непосредственно измеряемыми характеристиками грунтов в массиве и их сопротивлением разжижению без моделирования ожидаемых сейсмических воздействий в массиве, то есть без проведения собственно эксперимента по динамическому нагружению. (Вознесенский, 2012)

### **3. Методы лабораторного определения динамических свойств грунтов.**

Динамические испытания грунтов проводятся на специальных приборах, позволяющих передавать на исследуемые образцы грунта наряду со статическими нагрузками - динамические нагрузки, изменяющиеся по частоте и амплитуде. Для оценки динамических прочностных и деформационных характеристик грунта используют методы лабораторных испытаний: динамическое трехосное сжатие, крутильный сдвиг и малоамплитудные динамические испытания методом резонансной колонки. Динамические исследования грунтов осуществляют в соответствии с требованиями ГОСТ 12248-2010 и ГОСТ Р 56353-2015. (Вознесенский, 2013)

#### **3.1. Метод динамического трехосного сжатия.**

Сущность метода динамического трехосного сжатия песчаных, глинистых, органоминеральных и органических грунтов заключается в определении: возможности разрушения грунтов в основаниях сооружений в условиях динамических нагрузок. Количественной характеристикой данного метода является критическая при заданных условиях величина амплитуды динамических касательных напряжений ( $\tau_d$ ) или ее приведенная величина ( $\tau_d/\sigma$ ). В процессе испытаний определяются дополнительные деформации дисперсных грунтов в условиях наложения динамических нагрузок, характеризующиеся относительной деформацией виброползучести ( $\epsilon_d$ ). Данный метод позволяет оценить деформируемость грунтов, количественной характеристикой которой являются динамические модули деформации ( $E_d$ ) и упругости ( $E_d^y$ ) грунта. Существует возможность определения степени динамического разжижения водонасыщенного грунта, которая характеризуется величиной приведенного порового давления  $PPR = \Delta u/\sigma$ , критической величиной амплитуды сейсмических ускорений (PGA), либо количеством циклов воздействия динамического воздействия до возникновения разжижения ( $N_L$ ). В случае зафиксированного факта разжижения песчаного грунта производится расчет

последующей осадки поверхности массива ( $\delta_L$ ) и определяется абсолютная величина латерального растекания грунтов при наклонной поверхности массива ( $D_H$ ).

Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в камерах трехосного сжатия, дающих возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ , с одновременным дополнительным вертикальным динамическим нагружением где  $\sigma_1$ - максимальное главное напряжение;  $\sigma_2$ , - промежуточные главные напряжения.  $\sigma_3$  минимальное главное напряжение.

Для проведения испытаний применялось сертифицированное и поверенное оборудование, представляющее собой сервогидравлическую нагрузочную раму с предельным осевым усилием 63кН, камеру трехосного сжатия типа "А", блок управления сервогидравлическим приводом, блок обработки данных, поступающих с датчиков давлений и перемещений, блок управления давлением воздуха, разделитель сред и управляющий компьютер. Общий вид установки с собранной камерой представлен на рисунке 3. Принципиальная схема трехосного прибора с возможностью создания динамических нагрузок (вибростабилометра) представлена на рисунке 4.



Рис.3. Общий вид установки трехосного сжатия с возможностью вибрационного нагружения

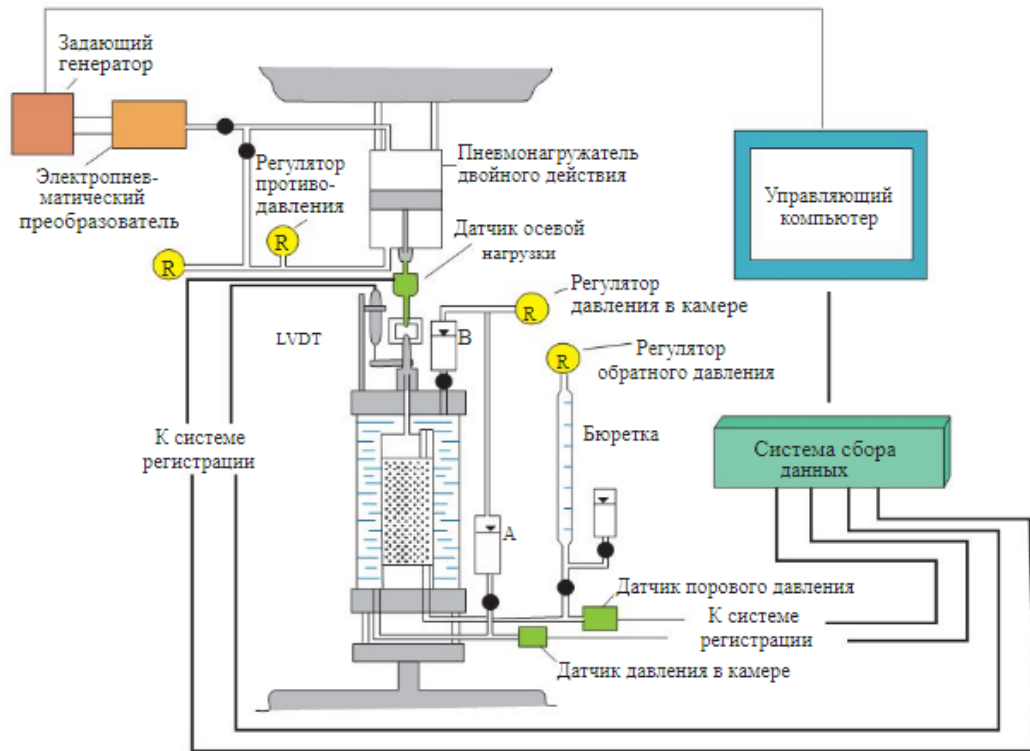


Рис. 4. Схема динамической установки трехосного сжатия (ГОСТ Р 56353-2015)

Эксперименты проводятся на автоматизированной установке динамического трехосного сжатия по схеме недренированных испытаний водонасыщенных образцов с контролем напряжений в соответствии с требованиями раздела 5 ГОСТ 12248-2010, относящегося к испытаниям трехосного сжатия, а также в соответствии с требованиями раздела 6 ГОСТ Р 56353. При моделировании динамического воздействия на грунты, находящиеся в нестабильном состоянии под действием природной или дополнительной нагрузки от сооружения допускается использование неконсолидированно-недренированной схемы. Использование консолидированно-дренированной схемы испытания в режиме динамического трехосного сжатия не допускается. (Вознесенский, 2013)

Каждый отдельный эксперимент проводится в несколько последовательных стадий, начиная с подготовки образцов. Формирование образцов песчаных грунтов ведется методом сухой послойной отсыпки в цилиндрическую разъемную форму-шаблон. После достижения требуемой плотности образца производится водонасыщение исходно сухого песка проводится непосредственно в камере прибора трехосного сжатия. Степень водонасыщения образцов и отсутствие воздуха в системе измерения порового давления контролируется параметром А. Скемптона (B-test):  $B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$ , где  $\Delta \sigma_3$  – изменение полного гидростатического давления в камере,  $\Delta u$  – соответствующее изменение порового давления. При полном водонасыщении параметр А. Скемптона равняется 1,00. Контроль параметра В

проводится при увеличении  $\sigma_3$  с шагом  $\sim 20$  кПа в условиях закрытой системы до достижения  $V \geq 0,95$  (ГОСТ Р 56353-2015) Образцы связных грунтов ненарушенного сложения вырезаются из монолита грунта и испытываются при естественной влажности.

После установки полностью снаряженной камеры с образцом все управление экспериментом и непрерывная регистрация данных ведется с компьютера с помощью специализированного программного обеспечения. В процессе испытания в автоматическом режиме реализуется заданная траектория нагружения, при этом измеряются следующие величины: вертикальное осевое усилие (датчик силы на штоке поршня), вертикальное перемещение верхнего штампа (LVDT-датчик на штоке), давление в камере (блок управления давлением воздуха), давление поровой жидкости (датчик давления в нижнем штампе).

Начальные установки программы испытания включают: ввод исходных данных, необходимых для вычисления напряжений и деформаций в процессе испытания: высота, диаметр и масса образца, плотность твердой фазы грунта; период нагружения; частота считывания показаний каждого датчика; ввод условия прекращения эксперимента: величина максимальной деформации, количество циклов или длительность нагружения; снимаются исходные показания всех датчиков. После этого опыт управляется из главного меню программы.

Эксперимент ведется до достижения заданного количества циклов воздействия, либо до разрушения образца. Обработка результатов сводится к выполнению необходимых расчетов и построению зависимостей относительных осевых деформаций от количества циклов нагружения  $\epsilon = f(N)$ ; относительного порового давления от количества циклов нагружения  $PPR = f(N)$ . (ГОСТ Р 56353-2015)

### **3.2. Метод малоамплитудных динамических испытаний грунтов в резонансной колонке.**

Метод малоамплитудных динамических испытаний песчаных, глинистых, органоминеральных и органических грунтов в резонансной колонке основан на теории распространения упругих волн сдвига или сжатия в стержне. Резонансная колонка представляет собой лабораторное оборудование для исследования динамических свойств грунтов в условиях малоамплитудных динамических нагрузок, как природного, так и технического происхождения. Испытания образцов грунта проводят в камерах трехосного сжатия, с возможностью бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ , с одновременным возбуждением в образце малоамплитудных крутильных колебаний заданного диапазона частот. Образец грунта, помещенный в камеру трехосного сжатия, подвергается действию

динамической нагрузки путем приложения крутильных колебаний переменной частоты до достижения резонанса при заданном значении сжимающих напряжений. Принципиальная схема динамического нагружения образца приведена на рисунке 5. В процессе колебаний грунт испытывает деформацию простого сдвига. Амплитуда деформации сдвига измеряется на каждой частоте заданного диапазона, что позволяет получить амплитудный спектр реакции грунта и определить резонансную частоту образца. Эти установки позволяют получить динамический модуль сдвига и коэффициента поглощения грунта в диапазоне деформаций сдвига порядка  $10^{-4}$  –  $10^{-2}$  %, а также для изучения изменения этих показателей в диапазоне малых сдвиговых деформаций (не более 0,001). (Вознесенский, 2012; ГОСТ Р 56353-2015)

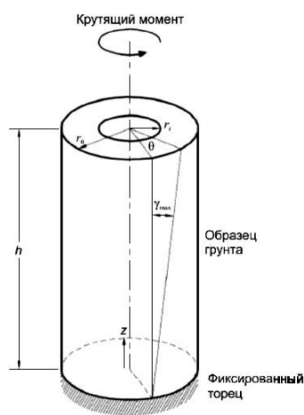


Рис 5. Принципиальная схема динамического нагружения образца при испытаниях на резонансной колонке. (ГОСТ Р 56353-2015)

Обработка данных заключается в расчете значений относительной деформации сдвига ( $\gamma$ ) и определении ее максимальной величины ( $\gamma_{max}$ ). По результатам расчета строят резонансную кривую, с которой снимают значение резонансной частоты колебаний ( $\omega$ ). Исходя из значений собственной частоты колебаний образца рассчитывается скорость смещения частиц в волне ( $V$ , м/с), с последующим определением динамического модуля сдвига грунта ( $G$ , кПа). Величину коэффициента поглощения ( $D$ , %) грунта определяют по затуханию свободных колебаний или по ширине резонансной кривой вблизи резонанса при вынужденных колебаниях.

Характеристики могут быть использованы при исследованиях реакции грунтов на динамические нагрузки и при расчете фундаментов инженерных сооружений, устанавливаемых на этих грунтах.

### 3.3. Метод крутильного сдвига.

Испытания песчаных, глинистых, органоминеральных и органических грунтов методом крутильного сдвига проводятся согласно ГОСТ Р 56353-2015 для оценки

деградации динамического модуля сдвига ( $G$ , кПа) и роста коэффициента поглощения ( $D$ , %) с увеличением деформации сдвига в диапазоне 0,1-1,0%.

Эти параметры определяют по результатам тестирования образцов грунта в приборах крутильного сдвига или резонансных колонках, имеющих техническую возможность создания значительных вращательных усилий и измерения соответствующих деформаций. Принцип испытаний в целом аналогичен испытанию методом резонансной колонки. Образец грунта подвергается действию динамической нагрузки путем приложения крутильных колебаний с постоянной частотой и возрастающим усилием. В ходе воздействия грунт испытывает деформацию простого сдвига. Испытания дисперсных грунтов методом крутильного сдвига проводят по консолидированно-недренированной схеме. (ГОСТ Р 56353-2015)

Обработка данных заключается в расчете для всех циклов динамического нагружения относительных сдвиговых деформаций ( $\square$ ) и касательных напряжений ( $\square$ ). По результатам расчета строится серия петель гистерезиса для каждого цикла. Динамический модуль сдвига ( $G$ , кПа) и коэффициент поглощения ( $D$ , %) рассчитывают по петле гистерезиса. (Вознесенский, 2013)

### **Выводы к третьей главе.**

В третьей главе рассматриваются природа и механизм динамической неустойчивости для разных грунтов. Проанализирована классификация динамических нагрузок по времени проявления, по характеру чередования напряжений, по особенностям воздействия на грунты. Также в главе подробно описаны возможные варианты реакции несвязных грунтов на динамическое нагружение.

Среди полевых методов оценки динамических свойств грунтов в массиве наиболее часто применяются: сейсмическое зондирование, динамическое зондирование, стандартная пенетрация и статическое зондирование. Наиболее распространенные в современной практике лабораторные методы определения динамических свойств грунтов: динамическое трехосное сжатие, крутильный сдвиг и малоамплитудные динамические испытания методом резонансной колонки.



## Глава IV Оценка инженерно-геологических условий исследуемой территории.

### 1. Описание объекта работ.

Район инженерно-геологических изысканий расположен в акватории Балтийского моря, у северного побережья Самбийского полуострова. В административном отношении участок относится к Зеленоградскому району Калининградской области. Обзорная схема района работ представлена на рисунке 6.



Рис 6. Обзорная схема района работ.

В состав проектируемых объектов на морском участке входят: паловый причал-волнолом для швартовки судна) с технологической площадкой на удалении 5,0 км от берега и магистральный газопровод на участке от терминала до береговой линии.

Терминал представляет собой стационарный паловый причал с защитным волноломом. Размеры сооружения с прилегающей акваторией составляют 500 х500 м. Конструктивно терминал состоит из трех элементов: волноотбойной стенки, технологической площадки и четырех швартовно-отбойных палов.

### 2. Инженерно-геологические условия района.

#### 2.1.Изученность инженерно-геологических условий.

При предварительной оценке инженерно-геологического строения района проведения изысканий были рассмотрены архивные материалы. По результатам сбора,

обработки и анализа материалов изысканий прошлых лет определено, что непосредственно в районе расположения проектируемого объекта инженерно-геологические изыскания ранее не выполнялись. В качестве основы для геологической характеристики участка принята геологическая карта масштаба 1:1000000 (лист N-34) и пояснительная записка к ней.

## **2.2. Физико-географические и геоморфологические условия района работ.**

Рассматриваемый участок относится к умеренной климатической зоне, для которой характерны мягкая пасмурная зима и прохладное облачное лето. Наиболее холодными месяцами года являются январь и февраль, средняя месячная температура воздуха составляет в большей части района от минус 2 до минус 6 °С. Наиболее теплый месяц – июль, когда средняя месячная температура воздуха от 16 до 18 °С. Относительная влажность воздуха значительная в течение всего года. Наибольшая влажность (от 80 до 90 %) отмечается с августа по март-апрель, а наименьшая (от 65 до 80 %) – с мая по июль. В течение почти всего года преобладают ветры южных, юго-западных и западных направлений. Средняя месячная скорость ветра от 3 до 8 м/с. Среднее годовое количество осадков в районе работ от 500 до 790 мм.

Балтийское море по своему геологическому строению является неглубоким шельфовым морем. Рельеф дна на подходах к мысу Гвардейский расчлененный. Вблизи берега глубины увеличиваются в направлении на север. Изобата 5 метров лежит на расстоянии от 200 до 300 метров от берега. Глубины 10 м удалены от берега на расстояние от 1,0 до 1,2 км, а глубины 20 метров находятся на расстоянии от 2,0 до 4,0 км. На расстоянии 10 км и более глубины начинают постепенно увеличиваться в направлении с востока на запад от 35 до 60 м. В прибрежной зоне встречается много подводных камней. Преобладающий грунт глинистый. В мелководных местах донный грунт представлен песками различной крупности, в прибрежных районах преимущественно мелкий песок, а вдали от берегов и на банках – крупный песок.

В районе изысканий наблюдаются сгонно-нагонные, сейшевые, сезонные и приливные колебания уровня. Течения в Балтийском море представлены в основном постоянными и ветровыми. Ветровые течения часто преобладают над постоянными поверхностными слабыми и неустойчивыми течениями. В течение всего года присутствует волнение, зыбь наблюдается редко. В прибрежной зоне отмечается прибой.

Лед в описываемом районе образуется ежегодно. Льдообразование происходит в направлении с востока на запад. Ледовый период начинается во второй половине ноября - начале января. Средняя продолжительность ледового периода в южной части моря от 20 до 25, дней.

### **2.3.Методика выполнения буровых и лабораторных работ.**

Буровые работы выполнялись по створу газопровода с шагом 100 м и глубиной от 5.0 до 10.0 м. На площадке размещения терминала глубина скважин определялась длиной заземленной в грунте части сваи-оболочки плюс 10.0 м под концом сваи. Под волнолом и технологическую площадку пробурены скважины глубиной 26.0, 30.0 и 45. 0 м, под швартово-отбойные палы– 30.0 м. Дополнительно, в крест линии волнолома, пробурены скважины глубиной 21.0 м на поперечниках, для расчета устойчивости волнолома. Объем бурения составил 1335,4 п. м. Схема расположения инженерно-геологических выработок представлена в Приложении 5.

Буровые работы на акватории выполнялись с плавучего бурового понтона «Бизон» при помощи буровой установки Вектор 3.200. Понтон оснащен статической системой стабилизации, состоящей из 4-х якорей массой до 250 кг каждый со стальными тросами диаметром 14 мм и длиной 150 м.

Бурение осуществлялось колонковым способом с обсадкой столба воды, водоносных горизонтов и неустойчивых грунтов обсадными трубами диаметром 146 мм с ниппельным соединением.

В процессе бурения производился отбор проб образцов. Для лабораторных испытаний было отобран 168 образцов нарушенного сложения, 251 образец ненарушенного строения, 6 проб морской воды и 8 проб грунтовых вод. Исследования для определения гранулометрического состава, физико-механических свойств грунтов химического состава и агрессивности грунтов и грунтовых вод, и вод акватории проводились в грунтовой лаборатории ООО «ЛенТИСИЗ-Калининград» и стационарной испытательной грунтовой лаборатории «Санкт-Петербургский Горный университет».

Лабораторные динамические испытания грунтов выполнены в структурном подразделении НИУ МГСУ Научно-образовательном центре «Геотехника». Работы включали динамические испытания песчаных и глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при нагрузках, моделирующих ожидаемые штормовые воздействия в акватории Балтийского моря.

Буровые работы позволили установить границы литологических слоев и определить состав грунта, по результатам испытаний были построены литологические колонки.

### **2.4.Геологическое строение грунтов.**

В геологическом строении исследуемой территории по данным бурения на глубину до 15,0 м принимают участие современные четвертичные (Q IV) морские отложения (m IV) и верхнечетвертичные (Q III) ледниковые (g III) и палеогеновые отложения (P).

В пределах возможной сферы взаимодействия проектируемых сооружений с геологической средой выделено 14 инженерно-геологических элементов. Грунты в пределах исследуемого участка выделены в инженерно-геологические элементы (ИГЭ) на основании полевого описания и статистической обработки материалов лабораторных исследований.

#### **Четвертичные отложения– Q**

#### **Современные четвертичные отложения– Q IV**

#### **Морские отложения (m IV)**

Морские отложения распространены локально по трассе газопровода в районе скважин №55 - 72. Общая мощность отложений составляет от 0,3 до 10,0 м.

ИГЭ-1 Песок гравелистый, коричневато-серый, средней плотности, водонасыщенный, с гравием и галькой до 20 %, с примесью органического вещества. Отложения вскрыты только в скважине №58. Мощность слоя 0,7 м. Абсолютные отметки подошвы слоя минус 15,9 м.

ИГЭ-1б Песок средней крупности, светло-коричневый, средней плотности, водонасыщенный, с единичным гравием, единичными включениями дресвы, примесью органических веществ. Отложения вскрыты локально по трассе газопровода в районе скважин №58, №60 - 62 и №65. Мощность слоя от 0,3 до 9,2 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 17,9 до минус 13,4 м.

ИГЭ-2 Песок мелкий, коричневато-серый, средней плотности, водонасыщенный, с включениями дресвы, гравия до 5 %, с примесью органических веществ, единичной ракушкой. Отложения вскрыты локально по трассе газопровода в районе скважин №60 - 62 и № 66 - 72. Мощность слоя от 0,2 до 2,6 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 20,0 до минус 11,7 м.

ИГЭ-3 Песок пылеватый, зеленовато-серый, средней плотности, водонасыщенный, с тонкими прослоями и линзами пластичной супеси, с единичными включениями дресвы и гравия. Отложения вскрыты локально по трассе газопровода в районе скважин №55 - 59, №63 - 64, №66 - 68 и 70. Мощность слоя от 0,5 до 6,0 м. Абсолютные отметки подошвы слоя от минус 20,1 до минус 14,7 м.

ИГЭ-4а Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный, зеленовато-серый и серый, с тонкими прослоями пылеватого песка, с редкими включениями дресвы и гравия. Отложения вскрыты локально по трассе газопровода в районе скважин №58 и №68 - 70. Мощность слоя от 0,4 до 4,8 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 17,5 до минус 12,3 м.

## **Верхнечетвертичные отложения Q III**

### Ледниковые отложения (g III)

Ледниковые отложения (g III) распространены повсеместно. Общая мощность отложений составляет от 0,1 до 12,9 м.

ИГЭ-6 Песок гравелистый, коричневато-серый, средней плотности, водонасыщенный, с гравием и дресвой до 15 %. Вскрытая мощность слоя от 0,3 до 2,2 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 21,8 до минус 2,1 м.

ИГЭ-8а Суглинок легкий песчанистый, серый, твердой и полутвердой консистенции, с включениями гравия, дресвы и щебня от 10 до 15 %, с тонкими линзами и прослоями пылеватого песка. Вскрытая мощность слоя от 0,1 до 12,6 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 24,6 до минус 1,5 м.

ИГЭ-8б Супесь пылеватая и песчаная, серая, пластичная, с единичными включениями гравия и гальки, с прослоями пылеватого песка, и тугопластичного суглинка. Вскрытая мощность слоя от 0,4 до 9,7 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 21,8 до минус 13,7 м.

### Палеогеновые отложения (P)

Палеогеновые отложения (P) распространены локально в районе проектируемого терминала.

ИГЭ-9 Суглинок тяжелый песчанистый, от полутвердой до тугопластичной консистенции, темно-серый до зеленовато-серого, с прослоями и обломками тонкозернистого песчаника плитчатой структуры, низкой прочности, с линзами пылеватого песка, с единичными обломками белемнитов, с редкими прослоями алевролита и аргиллита. Мощность слоя от 0,3 до 8,9 м. Абсолютные отметки подошвы слоя от минус 39,9 до минус 31,5 м.

ИГЭ-10 Суглинок легкий песчанистый, от тугопластичной до мягкопластичной консистенции, темно-серый, с тонкими линзами пылеватого песка, с обломками песчаника, с единичными обломками белемнитов, с редкими прослоями алевролита и аргиллита, с единичными карманами пирита. Мощность слоя от 0,5 до 9,2 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 42,0 до минус 34,3 м.

ИГЭ-11а Песчаник темно-серый, тонкозернистый, сильнотрещиноватый, средней плотности, низкой прочности. Мощность слоя от 0,9 до 6,8 м. Абсолютные отметки подошвы слоя от минус 42,0 до минус 35,7 м.

ИГЭ-11б Алевролит мелкозернистый, сильнотрещиноватый, зеленовато-серый, средней плотности, малопрочный, с редкими линзами аргиллита, с гнездами песчаника, с

единичными включениями обломков остатков белемнитов. Мощность слоя от 0,9 до 3,7 м. Абсолютные отметки подошвы слоя от минус 42,7 до минус 39,0 м.

ИГЭ-12 Супесь пылеватая и песчанистая пластичная, зеленовато-серая, с прослоями песка пылеватого. Отложения вскрыты локально в скважине №5. Мощность слоя 9,4 м. Абсолютная отметка подошвы минус 60,4 м.

ИГЭ-13 Песок пылеватый, зеленовато-серый, плотный, водонасыщенный, с прослоями супеси пластичной и суглинка тугопластичного, с единичными обломками останков белемнитов и песчаника. Вскрытая мощность слоя от 1,6 до 12,3 м. Абсолютные отметки кровли слоя от минус 60,4 до минус 38,5 м.

## **2.5. Коррозионная агрессивность грунтов.**

В соответствии с ГОСТ 9.602-2005 грунты обладают высокой коррозионной агрессивностью по отношению к стали, характеризуются средней коррозионной агрессивностью по отношению к свинцовой оболочке кабеля, высокой коррозионной агрессивностью по отношению к алюминиевой оболочке кабеля. В соответствии с таблицами В.1 СП 28.13330.2012 по анализам водной вытяжки грунты по отношению к бетону нормальной проницаемости марок от W4 до W20 – сильноагрессивные.

## **2.6. Гидрогеологические условия.**

Были отобраны шесть проб морской воды в районе скважин №1 и №7. Химический анализ показал, что воды акватории Балтийского моря обладают средней степенью агрессивности по отношению к свинцовой оболочке кабеля и высокой степенью агрессивности по отношению к алюминиевой оболочке кабеля, среднеагрессивны по отношению к металлическим конструкциям и бетону марки W4. Воды акватории средней минерализации, по химическому составу хлоридные калиево-натриевые.

На период проведения буровых работ грунтовые воды вскрыты в скважине №86 на глубине от 0,1 м, на абсолютной отметке 0,0 м. Воды поровые, безнапорные. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка грунтового потока происходит в Балтийское море.

Были отобраны три пробы воды по трассе газопровода и пять проб грунтовых вод из скважин на терминале. Грунтовые воды обладают средней степенью агрессивности по отношению к свинцовой оболочке кабеля и высокой степенью агрессивности по отношению к алюминиевой оболочке кабеля, среднеагрессивны по отношению к металлическим конструкциям, и среднеагрессивны к бетону марки W4. Воды горизонта средней минерализации, по химическому составу хлоридные калиево-натриевые.

## **2.7. Геологические и инженерно-геологические процессы.**

В соответствии с нормативными картами общего сейсмического микрорайонирования ОСР-2015-А,В,С, принятого для строительства объектов, территория Калининградской области относится к зоне 6-балльной сейсмичности по шкале MSK-64 при повторяемости землетрясений 1 раз в 500 лет, 1 раз в 1000 лет и 7-балльной сейсмичности при повторяемости землетрясений 1 раз в 5000 лет (на грунтах II категории по сейсмическим свойствам).

Из геологических процессов наибольшее и существенное влияние на эксплуатацию оказывают формирование и перемещение наносов. Северный берег Самбийского полуострова, в районе изысканий, подвержен значительным литодинамическим изменениям, в связи с тем, что по геологическому строению представляет собой в основном рыхлые и легко размываемые породы, чувствительные к волновому воздействию. Наиболее активный размыв берегов и мощные донные подвижки наносов происходят в период кратковременных, но интенсивных штормов, а в более длительные периоды между штормами резкие изменения рельефа берега и береговой зоны моря постепенно нивелируются. Интенсивное разрушение берегов обусловлено дефицитом песка в береговой зоне, и этим объясняется слабое развитие песчаных пляжей. Интенсивность разрушения усиливается из-за чередования песчаных и глинистых прослоев в породах и многочисленных выходов грунтовых вод.

### **3. Физико-механические свойства грунтов.**

Для лабораторных испытаний было отобрано 168 образцов нарушенного сложения, 251 образец ненарушенного строения. Для отобранных образцов грунта выполнено определение полного комплекса показателей физических и механических свойств. Лабораторные исследования песчаных и глинистых грунтов ненарушенного сложения для определения показателей прочностных и деформационных свойств включают: 59 испытаний грунтов методом одноплоскостного среза, 71 испытание на компрессионное сжатие, 32 испытания грунта методом трехосного сжатия, 12 испытаний скальных и полускальных пород для определения предела прочности на одноосное сжатие.

Нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов установлены на основе статистической обработки результатов лабораторных исследований. Нормативные значения для ИГЭ 1, 1б, 2, 3, 6 приняты по данным таблицы Б.1, СП22.13330.2011. Расчетные характеристики определены с учетом коэффициентов безопасности по грунту в зависимости от группы предельного состояния. Коэффициент надежности по грунту принимают при расчете оснований: по I группе предельных состояний для расчетов по несущей способности (доверительная вероятность  $\alpha = 0.95$ ), по

II группе предельных состояний для расчетов по деформациям (доверительная вероятность  $\alpha = 0.85$ ). Расчетные нормативные значения для ИГЭ 1, 1б, 4а, 12 приняты в соответствии с п. 5.4 ГОСТ 20522-2012 при следующих коэффициентах надежности по грунту  $\gamma_g$  для модуля деформации  $\gamma_g = 1.1$  для угла внутреннего трения  $\gamma_{gII} = 1.1$  и  $\gamma_{gI} = 1.15$ , для удельного сцепления  $\gamma_{gII} = 1.25$  и  $\gamma_{gI} = 1.5$ .

По результатам статистической обработки были получены нормативные и расчетные прочностные и деформативные характеристики грунта для каждого инженерно-геологического элемента приведены в Приложении 1 Таблица нормативные и расчетные значения показателей физико-механических характеристик грунтов.

ИГЭ-1 Песок гравелистый средней плотности, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,183 д.е. и 1,96 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,600 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил– 23,77 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии– 42 и 38 град.

Нормативные значения принимаются с учетом п. 5.4 ГОСТ 20522-2012: модуль общей деформации (E) 32,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 1,0 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 39,0 град.

ИГЭ-1б Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,181 д.е. и 1,95 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,600 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил– 2,83 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии– 40 и 36 град.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом трехосного сжатия по консолидированно-дренированной схеме получены следующие нормативные значения физико-механических свойств: модуль общей деформации (E) 10,4 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 4,5 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 36,7 град. Рекомендуемые значения принимаются с учетом п. 5.4 ГОСТ 20522-2012: модуль общей деформации (E) 9,5 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 4,5 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 36,7 град.

ИГЭ-2 Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,197 д.е. и 1,93 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,650 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил– 1,39 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии– 42 и 34 град.



Нормативные значения по данным таблицы Б.1, СП22.13330.2011: модуль общей деформации ( $E$ ) 28,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 2,0 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 32,0 град.

ИГЭ-3 Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,212 д.е. и 1,90 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,700 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил– 1,04 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии– 40 и 34 град.

Нормативные значения по данным таблицы Б.1, СП22.13330.2011: модуль общей деформации ( $E$ ) 14,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 3,0 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 28,0 град.

ИГЭ-4а Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,299 д.е. и 1,88 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,802 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 13,0 МПа. По результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 21,7 кПа и 25,0 град.

ИГЭ-6 Песок гравелистый, средней плотности, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,185 д.е. и 1,97 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,600 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил– 13,40 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии– 40 и 35 град.

Нормативные значения по данным таблицы Б.1, СП22.13330.2011: модуль общей деформации ( $E$ ) 35,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 1,0 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 39,0 град.

ИГЭ-8а Суглинок легкий песчаный, твердый.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,135 д.е. и 2,19 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,379 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 17,3 МПа. По результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 69,6 кПа и 16,3 град. По результатам испытаний грунтов методом трехосного сжатия по консолидированно-дренированной схеме (КД) получены следующие

нормативные значения физико-механических свойств: модуль общей деформации ( $E$ ) 14,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 22,8 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 26,6 град.

ИГЭ-8б Супесь пылеватая пластичная.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,173 д.е. и 2,09 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,483 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 36,9 МПа. По результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 44,8 кПа и 26,4 град.

ИГЭ-9 Суглинок тяжелый песчанистый, от твердого до тугопластичного.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_m$ ) соответственно равны 0,291 д.е. и 1,84 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,806 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 12,5 МПа. По результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 58,5 кПа и 19,8 град. По результатам испытаний грунтов методом трехосного сжатия по консолидированно-дренированной схеме (КД) получены следующие нормативные значения физико-механических свойств: модуль общей деформации ( $E$ ) 16,1 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 56,0 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 30,4 град.

ИГЭ-10 Суглинок легкий песчанистый, от тугопластичного до мягкопластичного.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,262 д.е. и 1,91 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,742 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 20,7 МПа. По результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 46,4 кПа и 25,2 град. По результатам испытаний грунтов методом трехосного сжатия по консолидированно-дренированной схеме (КД) получены следующие нормативные значения физико-механических свойств: модуль общей деформации ( $E$ ) 19,8 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 23,2 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 34,1 град.

ИГЭ-11а Песчаник, средней плотности, низкой прочности.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,148 д.е. и 2,08 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,381 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом одноосного сжатия предел прочности ( $R_c$ ) в естественном состоянии составляет 2,22 МПа, в воздушно-сухом состоянии – 2,84 МПа, в водонасыщенном состоянии – 1,99 МПа.

ИГЭ-11б Алевролит, средней плотности малопрочный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,169 д.е. и 2,03 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,444 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом одноосного сжатия предел прочности ( $R_c$ ) в естественном состоянии составляет 6,34 МПа, в воздушно-сухом состоянии – 7,05 МПа, в водонасыщенном состоянии – 5,81 МПа.

ИГЭ-12 Супесь пылеватая пластичная.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,222 д.е. и 1,98 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,612 д.е.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 22,1 МПа. результатам испытаний грунтов методом одноплоскостного среза удельное сцепление ( $C_n$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) соответственно равны 12,9 кПа и 30,4 град. Рекомендуемые значения принимаются с учетом п.5.4 ГОСТ20522-2012: модуль общей деформации ( $E$ ) 20,0 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 12,9 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 30,4 град.

ИГЭ-13 Песок пылеватый, плотный, водонасыщенный.

Нормативные значения природной влажности ( $W_n$ ) и плотности влажного грунта ( $\rho_n$ ) соответственно равны 0,223 д.е. и 2,00 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e_n$ ) – 0,608 д.е. По данным лабораторных испытаний грунтов коэффициент фильтрации составил – 1,07 м/сут, угол естественного откоса в водонасыщенном и сухом состоянии – 40 и 32 град.

По данным лабораторных испытаний грунтов методом компрессионного сжатия модуль общей деформации ( $E$ ) составляет 28,3 МПа. По результатам испытаний грунтов методом трехосного сжатия по консолидированно-дренированной схеме (КД) получены следующие нормативные значения физико-механических свойств: модуль общей деформации ( $E$ ) 16,5 МПа, удельное сцепление ( $C_n$ ) 11,3 кПа и угол внутреннего трения ( $\varphi_n$ ) 37,2 град.

#### **4. Динамические свойства грунтов.**

Под динамическими свойствами грунтов принято понимать группу их физико-механических свойств, определяющих их реакцию на действие динамических нагрузок. При этом динамические свойства грунтов характеризуют их и как среду распространения колебаний (обладающую упругими, демпфирующими и фильтрующими свойствами) и определяют их динамическую неустойчивость, проявляющуюся как увеличение деформируемости и снижение прочности при динамическом нагружении по сравнению со статическим. Природа и механизм этой неустойчивости различны для разных грунтов.

Оценка динамической неустойчивости дисперсных грунтов выполнена в соответствии с рекомендациями Приложения А1 ГОСТ Р 56353-2015.

ИГЭ-1 Песок гравелистый средней плотности, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантные. Способны к динамическому уплотнению и разуплотнению.

ИГЭ-1б Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантные. Динамическая неустойчивость проявляется в уплотнении.

ИГЭ-2 Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантно-тиксотропные. с преобладанием уплотнения.

ИГЭ-3 Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантно-тиксотропные с преобладанием тиксотропных эффектов.

ИГЭ-4а Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный. По механизму динамической неустойчивости грунты квазитиксотропные упрочняющиеся под воздействием динамической нагрузки.

ИГЭ-6 Песок гравелистый, средней плотности, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантные. Способны к динамическому уплотнению и разуплотнению.

Глинистые отложения ИГЭ-8а, ИГЭ-8б, ИГЭ-9 и ИГЭ-10 с содержанием глинистых частиц  $\geq 5\%$  относятся к квазитиксотропным грунтам, упрочняющимся под воздействием динамической нагрузки.

ИГЭ-12 Супесь пылеватая пластичная. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантно-тиксотропные с преобладанием тиксотропных эффектов, либо квазитиксотропные упрочняющиеся под воздействием динамической нагрузки.

ИГЭ-13 Песок пылеватый, плотный, водонасыщенный. По механизму динамической неустойчивости грунты дилатантно-тиксотропные с преобладанием тиксотропных эффектов.

Динамические трехосные испытания грунтов показали, что исследуемые грунты под воздействием динамической нагрузки проявляют свойства виброползучести и имеют коэффициенты виброползучести, представленные в Таблице 4.

Таблица 4. Результаты определения коэффициентов виброползучести.

Краткое описание образца	Номер ИГЭ	Номер выработки	Глубина от поверхности, м	Коэффициент виброползучести Квп, д.	Среднее значение Квп <sup>med</sup> , д.е.
песок	1б	58	2,9-3,1	0,02	<b>0.03</b>
		60	3,0-3,2	0,03	
		62	6,0-6,2	0,03	
песок	2	71	0,8-1,0	0,02	<b>0.02</b>
		66	3,9-4,1	0,03	
		68	7,6-7,8	0,01	
песок	3	68	5,2-5,4	0,01	<b>0.13</b>
		67	1,0-1,2	0,02	
		59	2,0-2,2	0,17	
суглинок	4а	70	1,4-1,6	0,07	<b>0.17</b>
		70	4,2-4,4	0,10	
		68	1,0-1,2	0,34	
песок	б	77	0,6-0,8	0,01	-
		53	0,5-0,7	-	
		86	1,8-2,0	-	
суглинок	8а	83	2,0-2,4	0,38	<b>0.67</b>
		53	2,6-2,8	0,76	
		4	1,2-1,4	0,86	
супесь	8б	65	5,0-5,2	0,65	<b>0.40</b>
		64	2,0-2,2	0,43	
		63	8,0-8,2	0,13	

По результатам испытаний образцы грунта для которых значение коэффициента виброползучести меньше четырех десятых ( $K_{вп}^{med} < 0,4$  д.е.) являются динамически неустойчивыми. Отложения ИГЭ 1б, ИГЭ 2, ИГЭ 3 и ИГЭ 4а относятся к динамически неустойчивым.

### **Выводы к четвертой главе.**

**В четвертой главе** дана оценка инженерно-геологических условий исследуемого участка в акватории Балтийского. Район инженерно-геологических изысканий расположен в акватории Балтийского моря, у северного побережья Самбийского полуострова. В административном отношении участок относится к Зеленоградскому району Калининградской области.

В состав проектируемых объектов на морском участке входят терминал, он представляет собой стационарный паловый причал с защитным волноломом. Размеры сооружения с прилегающей акваторией составляют 500 x500 м. Конструктивно терминал состоит из трех элементов: волноотбойной стенки, технологической площадки и четырех швартовно-отбойных палов.

На участке изысканий проводили буровые работы, которые позволили установить границы литологических слоев и определить состав грунта. На основании полевого описания и статистической обработки материалов лабораторных исследований грунты в пределах исследуемого участка выделены в инженерно-геологические элементы.

Для каждого инженерно-геологического элемента установлены физико-механические характеристики. В главе представлена оценка динамической неустойчивости дисперсных грунтов по результатам лабораторных испытаний и в соответствии с рекомендациями Приложения А1 ГОСТ Р 56353-2015.

## Глава V. Инженерно-геологические расчеты.

### 1. Расчет периодичности динамических нагрузок.

Для расчета динамических нагрузок от штормовых воздействий в донных грунтах необходимы сведения о расчетной высоте ( $H_w$ , м) и периоде ( $T_w$ , с) волн заданной обеспеченности, а также расчетной длительности шторма ( $t_w$ ), возможного раз в заданное количество лет. Эти характеристики определяются по данным многолетних гидрометеорологических наблюдений в районе размещения перехода. Штормовое воздействие в условиях трехосного сжатия моделируется квазигармоническим динамическим нагружением с заданной амплитудой. (ГОСТ Р 56353-2015)

По данным гидрометеорологических наблюдений высота штормовой волны 5%-й обеспеченности на Балтийском море составляет 9.2 м при преобладающем периоде волны около 11.3 секунд. Эти параметры позволяют рассчитать амплитуду вертикальных динамических напряжений на дне пролива по формуле:  $\sigma_d = 0.5 \times \rho_w \times H_w = 0.5 \times 10.05 \times 9.2 = 46.23$  кПа, где  $\rho_w$  - объемный вес морской или пресной воды (кН/м<sup>3</sup>). Продолжительность шторма ( $t_w$ ) составляет 3 суток. Частота нагружения принимается в соответствии с расчетным периодом волны  $f=1/T_w$  и составляет 0.1 Гц. Количество циклов воздействия рассчитывается по формуле:  $N = \frac{t_w}{T_w} = \frac{72 \times 3600}{11.3} = 22938$  ед.

Для исследуемых образцов грунтов динамические воздействия задавались в соответствии с полученными расчетом значениями, представленными в таблице 5.

Таблица 5. Расчетные характеристики периодичности динамических нагрузок.

Объемный вес морской воды $\gamma_w$ , кН/м <sup>3</sup>	10,05
Расчетная высота волны 5%-ой обеспеченности в Балтийском море (1 раз в 100 лет)	9,2
Период волн заданной обеспеченности $T_w$ , с	11,3
Количество циклов воздействия $N$ , ед	22938
Частота нагружения $f$ , Гц	0,1
Амплитуда динамических напряжений $\sigma_d$ , кПа	46

### 2. Расчет несущей способности свай оболочек швартовно-отбойного пала.

В состав проектируемых объектов на морском участке входит четыре швартовно-отбойных пала. Параметры швартовно-отбойных палов следующие: длина 16 м, ширина 16 м, высота 28 м. Для строительства проектируемых сооружений применяется свайный фундамент. Фундамент состоит из четырех свай-оболочек, расположенных в 2 ряда на

расстоянии 10,0 м друг от друга. Конструкция включает 2 вертикальные сваи и 2 наклонные под углом 30 градусов, их верхняя часть соединяется ростверком, ширина которого равна 1,5 м. Внешний диаметр сваи равен 1420 мм, внутренний 1400 мм. Расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, составляет 3000 кН. Схема проектируемого швартовно-отбойного пала и схема расположения свай представлена на рисунке 7.

Инженерно-геологические условия участка следующие. С поверхности дна залегает суглинок легкий песчанистый, твердый (ИГЭ-8а) мощностью 10,5 м. Далее до глубины 17,2 м расположен суглинок тяжелый песчанистый от твердого до тугопластичного (ИГЭ-9), который подстилается слоем суглинка легкого песчанистого, от тугопластичного до мягкопластичного (ИГЭ-10). Ниже на разведанную глубину до 30 м залегают пески пылеватые (ИГЭ-13). Геолого-литологическая колонка скважины представлена в Приложении 6.

Целесообразно применять висячие сваи-оболочки круглого сечения. Для назначения длины сваи используется информация о грунтовых условиях площадки строительства. Чем больше нагрузка, передаваемая через нижний конец и по боковой поверхности сваи, тем длиннее должна быть свая и больше её поперечное сечение. В качестве несущего слоя принимаем ИГЭ-13 песок пылеватый плотный. Тогда длины вертикальной и наклонной свай с учетом заглубления в несущий слой на 1,8 м составят 46 м и 53 м соответственно. Прочностные и деформационные свойства несущего слоя грунта обуславливают применение висячей сваи, так как нагрузка передается как через нижний конец, так и по боковой поверхности сваи.

Расчет свайных фундаментов и их оснований выполняется в соответствии с ГОСТ 27751, по двум группам предельных состояний: первой - по несущей способности и второй - по деформациям.

Условие несущей способности грунтов основания одиночной сваи или в составе свайного фундамента имеет вид:  $\gamma_n \times N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}$ , где N - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю,  $F_d$  предельное сопротивление грунта основания сваи,  $\gamma_n$  - коэффициент надежности по уровню ответственности,  $\gamma_{c,g}$  - коэффициент надежности по грунту.

Расчет по деформациям следует производить исходя из условия:  $S \leq S_u$ , где S - осадка основания фундамента (совместная деформация основания и сооружения);  $S_u$  - предельное значение осадки основания фундамента (совместной деформации основания и сооружения).



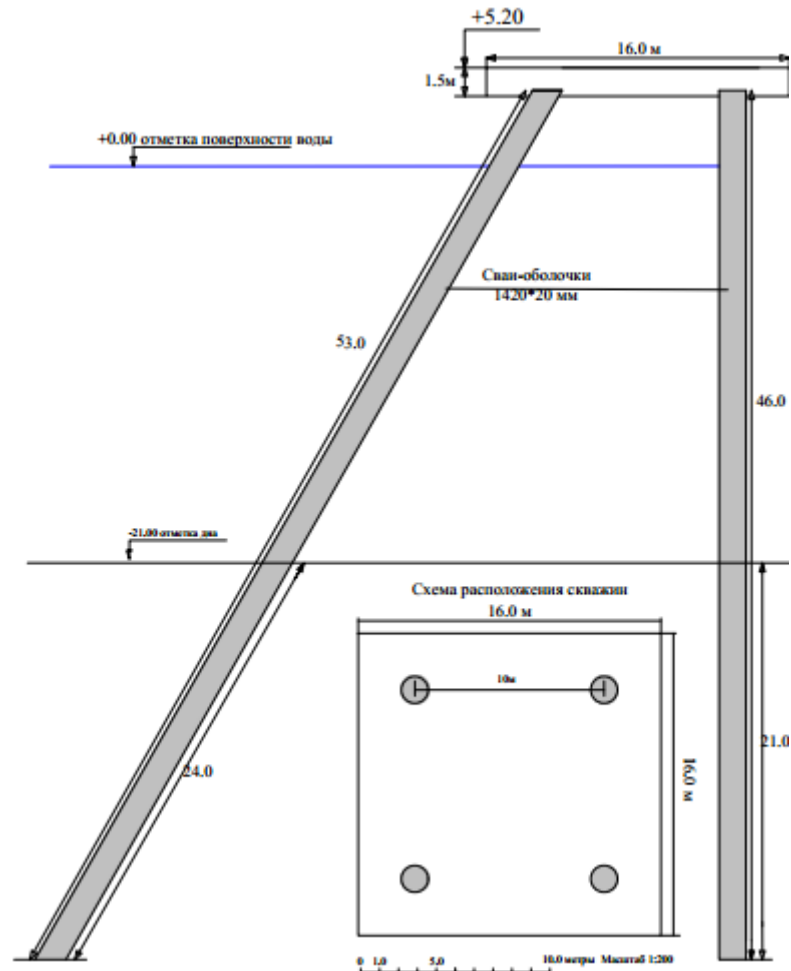


Рисунок 7. Схема проектируемого швартовно-отбойного пала

Несущая способность сваи определяется как сумма их расчетных сопротивлений грунтов оснований под нижним концом свай и на ее боковой поверхности по формуле:  $F_d = \gamma_c(\gamma_{cR}RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i)$ , где

$\gamma_c$ - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый  $\gamma_c=1$

$\gamma_{cR}$  и  $\gamma_{cf}$  - коэффициенты условий работы соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, принимаемые для забивных свай  $\gamma_{cR} = 1$  и  $\gamma_{cf} = 1$

A - площадь поперечного сечения сваи,  $A = 1,58 \text{ м}^2$

u - наружный периметр поперечного сечения сваи,  $u = 4,46 \text{ м}$ ;

R - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи.

$f_i$  - расчетное сопротивление i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

$h_i$  - толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи зависит от вида и состояния грунта, а также от глубины погружения сваи. Глубина погружения нижнего

конца сваи от уровня дна составляет 21 м, тогда расчетное сопротивление грунта будет равно 183 т/м<sup>2</sup>.

Расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности сваи определяется как сумма сопротивлений отдельных слоев, соприкасающихся со свайей. Основание разбиваем так, чтобы каждый расчетный слой имел толщину не более 2 м. Определяем значение  $f_i$  по таблице 7.3, СП 24.13330.2011 для каждого слоя на глубине, которая соответствует глубине расположения середины расчетного слоя методом интерполяции. Расчетная схема для определения несущей способности одиночной вертикальной и наклонной свай-оболочек приведена в Приложении 4. Расчетные значения нагрузок сопротивления грунта для заданных инженерно-геологических условий приведены в таблице 6.

Таблица 6. Расчетные значения нагрузок сопротивления грунта.

	Расчетное значение нагрузок т	
	Вертикальная свая	Наклонная свая
Вертикальная составляющая	442,4	522,4
Горизонтальная составляющая	289,8	289,8
Предельное сопротивление грунта основания	732,0	812,2

Несущая способность вертикальной и наклонной свай по боковой поверхности составляет 442,4 т и 522,4 т соответственно. При погружения нижнего конца сваи на глубину 21 м несущая способность по подошве равна 289,8т. Предельное сопротивление грунта основания наклонной сваи  $F_d = 812,2$  т выше, вертикальной  $F_d = 732$  т.

Несущая способность свай обеспечена, так как выполняется условие:  $\gamma_n \times N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}$ , где  $N=3000$  кН,  $\gamma_n = 1$ ,  $\gamma_{c,g} = 1,5$ . Допустимая нагрузка на вертикальную и наклонную сваи с учетом коэффициента надежности составляет 488 т и 541 т соответственно.

Границы условного фундамента определяются снизу плоскостью АБ, проходящей через нижние концы свай, сверху - поверхностью планировки ВГ. С боков границы условного фундамента устанавливаются вертикальными плоскостями АВ и БГ, отстоящими от осей крайних рядов вертикальных свай на расстоянии 2.2 м, и проходящими через нижние концы наклонных свай (СП 24.13330.2011)

Размеры условного фундамента в плане: ширина - 16.0 м, длина – 16.0 м. Площадь условного фундамента называют площадью, через которую передается давление на основание:  $A=256.0$  м

Наряду с расчетом несущей способности свайные фундаменты рассчитывают по второй группе предельных состояний, по деформациям. Определяют среднее давление,

передаваемое на грунт в плоскости нижних концов свай по площади условного фундамента. (Тетиор А. А., 2010)

Первоначально рассчитываем собственный вес условного грунтового массива для каждого слоя грунта без учета веса свай. по формуле:  $N = (A \times h_i - \pi r^2 \times h_i \times n) \times \rho$ , где  $h_i$ - мощность слоя грунта,  $\rho$  – плотность грунта. Общий вес грунтового массива выше подошвы условного фундамента равен 10772,0 т. Далее находим нагрузку на сооружение:  $q = \frac{N_1 + N_2 + N}{A}$ , где  $N_1$  – вес ростверка,  $N_2$  – вес свай;  $N$  вес грунта. Вес ростверка равен 306 т, соответственно удельная нагрузка на подошву условного свайного фундамента 12000 кН. Вес вертикальной и наклонной свай составляет 164.3 т и 189.6 т соответственно. Получаем расчетное значение давления от сооружения:  $q = 4.7 \text{ кг/см}^2$ .

В собственный вес условного фундамента при определении его осадки включаются вес свай и ростверка, а также вес грунта в объеме условного фундамента. Расчет осадки свайного фундамента производится методом послойного суммирования с использованием графических построений в следующей последовательности. Сначала наносятся размеры фундамента в соответствующем масштабе. Далее строится ось  $Oz$ , которая проходит через центр фундамента. (Вавилова А. Н., 2014)

Определяем природные напряжения от действия собственного веса грунта с учетом взвешивающего действия воды для первого слоя по формуле:  $\sigma_{z1} = \gamma_{sb} \times h_1$ , для последующих слоев:  $\sigma_{z2} = \sigma_{z1} + \gamma_{sb} \times h_2$ , где  $\gamma_{sb} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e_n}$ . (Вавилова А. Н., 2014)

Таблица 7. Результаты расчетов напряжений от собственного веса грунта.

Описание грунта	№ ИГЭ	$\rho_s$ , г/см <sup>2</sup>	$e_n$ , д.е.	$\sigma_z$ , кг/см <sup>2</sup>	$0,2\sigma_z$ , кг/см <sup>2</sup>
Суглинок	8а	2.66	0.379	1.3	0.25
Суглинок	9	2.58	0.806	1.9	0.37
Суглинок	10	2.63	0.742	2.0	0.41
Песок	13	2.66	0.608	2.2	0.44

В таблице 7 приведены результаты расчетов напряжений от собственного веса грунта используемые при построении эпюры  $\sigma_z(\rho h)$ .

Для построения эпюры сжимающих напряжений от веса сооружения  $\sigma_z(q)$ , используем формулы:  $\sigma_z(q) = q_{\text{расч}} \times K$ , где  $K=f(m;n)$ ;  $m = \frac{2z}{b}$ ,  $n = \frac{l}{b} = 1$ . Значение коэффициента  $K$  определяется по таблице методом интерполяции. Рассчитываем напряжение на уровне подошвы условного фундамента:  $q_{\text{расч}} = q_{\text{сооруж}} - \rho h = 4.1 \text{ кг/см}^2$ .

Таблица 8. Результаты расчетов напряжений от веса сооружения

z	m	K	$\sigma_z(q)$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_z(q_i)$ кг/см <sup>2</sup>
0	0.00	1.000	4.10	2.0
0.5	0.06	1.000	4.10	2.0
1	0.13	0.999	4.09	2.0
1.5	0.19	0.995	4.08	2.0
2	0.25	0.989	4.06	2.0
2.5	0.31	0.980	4.02	2.0
3	0.38	0.967	3.96	2.0
3.5	0.46	0.942	3.86	1.9
4	0.50	0.930	3.81	1.9
4.5	0.56	0.907	3.72	1.8
5	0.63	0.881	3.61	1.8
5.5	0.69	0.853	3.50	1.7
6	0.75	0.824	3.38	1.7
6.5	0.81	0.794	3.25	1.6
7	0.88	0.763	3.13	1.5
7.5	0.95	0.726	2.97	1.5
8	1.00	0.701	2.87	1.4
8.5	1.06	0.671	2.75	1.3
9	1.13	0.641	2.63	1.3
9.5	1.19	0.612	2.51	1.2
10	1.25	0.584	2.40	1.2
10.5	1.31	0.558	2.29	1.1
11.0	1.38	0.532	2.18	1.1
11.5	1.44	0.507	2.08	1.0
12.0	1.50	0.484	1.99	1.0
12.5	1.56	0.462	1.89	0.9
13.0	1.63	0.441	1.81	0.9
13.5	1.69	0.421	1.73	0.8
14.0	1.75	0.402	1.65	0.8
14.5	1.81	0.384	1.58	0.8
15.0	1.88	0.367	1.51	0.7
15.5	1.94	0.351	1.44	0.7
16.0	2.00	0.336	1.38	0.7
16.5	2.06	0.322	1.32	0.6
17.2	2.13	0.308	1.24	0.6
18.0	2.25	0.283	1.16	0.6
19.2	2.38	0.261	1.05	0.3
20.0	2.50	0.241	0.00	0
21.0	2.63	0.223	0.00	0

В таблице 8 приведены результаты расчетов напряжений от веса сооружений используемые при построении эпюры сжимающих напряжений от веса сооружения  $\sigma_z(q)$ . Расстояние от подошвы фундамента до точки пересечения эпюр  $\sigma_z(q)$  и  $0,2\sigma_z(\rho h)$  является глубиной активной зоны ( $H_{акт}$ ). Ниже глубины активной зоны осадка не рассчитывается, потому что напряжение от сооружения мало и грунт достаточно уплотнен. Толща ниже подошвы условного фундамента разбивается на элементарные слои, толщиной 0.5 м, с

глубиной увеличивается до 1 м. Разделение слоев производим в соответствии с литологическими границами. (Вавилова А. Н., 2014)

Осадка основания фундамента для каждого слоя определяется по формуле:

$S = \beta \sum \frac{\sigma_z(q) \times h_i}{E}$ , где  $E$  – модуль деформации,  $\beta = 0,8$  – параметр, зависящий от коэффициента Пуассона. В таблице 9 представлены результаты расчетов осадки грунта для каждого инженерно-геологического элемента.

Таблица 9. Результаты расчетов осадки грунта.

Описание грунта	Номер ИГЭ	Модуль деформации $E$ , МПа	Модуль деформации $E$ , кг/см <sup>2</sup>	Осадка $S$ , см
Суглинок	8а	14	142	20,9
Суглинок	9	16,1	164	5,2
Суглинок	10	19,8	202	0,3
Песок	13	16,5	168	0,0002

Суммируем полученные значения и получаем суммарную осадку грунта при взаимодействии с фундаментом сооружения равную 26,4 см.

### 3. Оценка снижения прочностных свойств

Для оценки изменения прочности грунтов при циклических нагрузках, моделирующих воздействие штормовых волн, выполняли динамические испытания трехосного сжатия для песчаных и глинистых грунтов.

Выборка представлена песками от пылеватых до средней крупности, супесями пластичными и твердыми, а также суглинками полутвердыми и мягкопластичными. Пробы песчаного грунта нарушенной структуры, образцы пылевато-глинистого грунта ненарушенной структуры. Всего исследовано 21 проба грунтов: 12 песчаных и 9 связных грунтов. Для исследуемых образцов грунтов динамические воздействия задавались в соответствии с полученными расчетом значениями, представленными в таблице 1.1. Результаты расчета амплитуды динамического воздействия.

Обработка данных заключалась в расчете для всех этапов динамического нагружения значений вертикального напряжения  $\sigma_1$ , горизонтального напряжения  $\sigma_3$ , порового давления  $PPR$  и осевой деформации образца  $\varepsilon$  в зависимости от числа циклов нагружения  $N$ . В Приложении 3 приведены значения средних эффективных напряжений  $p'$  и максимальных касательных напряжений  $q$  для каждого цикла, расчет которых выполнен по следующим формулам:  $p' = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ ;  $p' = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ . (СП 24.13330.2011)

В качестве критериев динамической устойчивости грунтов использовались накопленные за определенное количество циклов нагружения ( $N$ ) значения относительной осевой деформации ( $\square$ ) и относительного порового давления ( $PPR$ ). По вычисленным

значениям построены зависимости  $\varepsilon = f(N)$  и  $PPR = f(N)$ . Результаты динамических испытаний сведены в таблице 10 и представлены в Приложении 3 «Протоколы динамических лабораторных испытаний грунтов».

Таблица 10. Результаты динамических испытаний грунтов.

Краткое описание образца	Номер ИГЭ	Номер выработки	Глубина от поверхности, м	Удельный вес грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Вертикальное напряжение на этапе консолидации, $\sigma_1$	Горизонтальное напряжение на этапе консолидации, $\sigma_3$	Коэффициент бокового давления грунта $K_0$ , д.е.	Осевая деформация, E %	Характеристика устойчивости грунта при штурме
Песок	16	58	2,9-3,1	20	59	29	0,5	>10	Быстрая потеря несущей способности
		60	3,0-3,2	20	61	30	0,5	>10	
		62	6,0-6,2	20	120	60	0,5	>10	
Песок	2	71	0,8-1,0	19	17	9	0,5	>10	Быстрая потеря несущей способности
		66	3,9-4,1	19	77	39	0,5	>10	
		68	7,6-7,8	19	149	74	0,5	>10	
Песок	3	68	5,2-5,4	19	101	50	0,5	2,5	Устойчив.
		67	1,0-1,2	19	21	10	0,5	>10	Быстрая потеря несущей способности
		59	2,0-2,2	19	40	20	0,5	6,3	Потеря несущей способности
Суглинок МПЛ	4а	70	1,4-1,6	19	28	23	0,8	9,9	Потеря несущей способности
		70	4,2-4,4	19	81	65	0,8	>10	Быстрая потеря несущей способности
		68	1,0-1,2	19	21	17	0,8	>10	Быстрая потеря несущей способности
Песок	6	77	0,6-0,8	20	14	7	0,5	>10	Быстрая потеря несущей способности
		53	0,5-0,7	20	12	6	0,5	4,4	
		86	1,8-2,0	20	37	19	0,5	2,4	
Суглинок ТВ	8а	83	2,0-2,4	22	112	89	0,8	1,8	Устойчив.
		53	2,6-2,8	22	46	37	0,8	1,1	
		4	1,2-1,4	22	177	142	0,8	2,3	
Супесь ПЛ	8б	65	5,0-5,2	21	46	37	0,8	3,2	Устойчив.
		64	2,0-2,2	21	56	45	0,8	3,8	
		63	8,0-8,2	21	27	22	0,8	3,6	

Динамическая неустойчивость грунтов фиксируют по достижении 5%-ной осевой деформации, либо по достижении величиной приведенного порового давления значения 1.00. Средние значения приведенного порового давления для каждого инженерно-геологического элемента представлены в таблице 11.

Среди исследованных грунтов преобладают разности, неустойчивые при моделируемых штормовых воздействиях заданной интенсивности.

Все исследованные пески ИГЭ 1б, 2, 3, 6 оказались неустойчивы и к штормовым воздействиям, но ни в одном случае не было зафиксировано их разжижения. Накопление критических деформаций превышает 10%. Прогнозные деформации указывают на потерю несущей способности грунта. Относительное поровое давление PPR в отдельных случаях достигало значений 0.752 для песков средних ИГЭ-1б, 0.375 для песков мелких ИГЭ-2, 0.461 для песков пылеватых ИГЭ-3. Разрушение образцов песков гравелистых ИГЭ-6 наступило до приложения динамической нагрузки, в отдельных случаях достигало значений 0,842.

Испытанные связные грунты при сценарных штормовых воздействиях продолжительностью до 3 суток в большинстве случаев достаточно устойчивы – их прогнозная деформация не превышает 3.8%, лишь мягкопластичный суглинок ИГЭ-4а оказался неустойчив к расчетному воздействию. Для грунтов ИГЭ-4а максимальная относительная вертикальная деформация, накопленная к моменту завершения последнего расчетного цикла вынужденных колебаний, составила 9,9-10,2%. Относительное поровое давление PPR в отдельных случаях достигало значения 0,375. Наибольшую устойчивость при штормовых воздействиях проявили суглинки твердой консистенции ИГЭ 8а, максимальная прогнозируемая деформация не превышает 2.3%. Относительное поровое давление PPR по результатам проведенных испытаний достигало значения 0,619. Супесь пластичная ИГЭ-8б также оказалась устойчива при динамических воздействиях, накопление критических деформаций составляет 3.2-3.8%. Приведенное поровое давление PPR по результатам испытаний достигало значения 0,067.

Все песчаные грунты и отдельные разности связных грунтов (ИГЭ-4а) в изученной толще следует считать динамически неустойчивыми и прогнозировать полную потерю их несущей способности при штормах 5%-ой обеспеченности.

Таблица 11. Результаты расчетов приведенного порового давления

Краткое описание образца	Номер ИГЭ	Номер скважины	Глубина отбора образца, м	Время/циклы										
				Приведенное поровое давление PPR, д.с										
				0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	
песок	1б	58	2,9-3,1	0.115	0.611	0.712	0.775	0.773	0.752	0.668	0.64			
		60	3,0-3,2	0.019	0.457	0.512	0.508	0.473						
		62	6,0-6,2	0.764	0.825	0.835	0.732							
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.299</b>	<b>0.631</b>	<b>0.686</b>	<b>0.672</b>	<b>0.623</b>	<b>0.752</b>	<b>0.668</b>	<b>0.64</b>			
песок	2	71	3,9-4,1	0.003	0.579	0.664	0.655	0.573	0.643					
		66	7,6-7,8	0.234	0.724	0.637								
		68	5,2-5,4	0	0.199	0.269	0.275	0.263	0.241	0.202	0.092			
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.289</b>	<b>0.326</b>	<b>0.346</b>	<b>0.362</b>	<b>0.375</b>	<b>0.156</b>	<b>0.173</b>	<b>0.189</b>			
песок	3	68	1,0-1,2	0.299	0.395	0.384	0.398	0.373	0.296	0.262				
		67	2,0-2,2	0.02	0.252	0.345	0.401	0.441	0.47	0.493				
		59	1,4-1,6	0	0.183	0.418	0.537	0.568	0.538	0.62				
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.106</b>	<b>0.277</b>	<b>0.382</b>	<b>0.445</b>	<b>0.461</b>	<b>0.435</b>	<b>0.458</b>				
суглинок	4а	70	4,2-4,4	0.867	0.901	0.901	0.902	0.902						
		70	1,0-1,2	0.001	0.033	0.054	0.071	0.086						
		68	0,6-0,8	0	0.043	0.083	0.113	0.136	0.156	0.173	0.189			
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.289</b>	<b>0.326</b>	<b>0.346</b>	<b>0.362</b>	<b>0.375</b>	<b>0.156</b>	<b>0.173</b>	<b>0.189</b>			
песок	6	53	0,5-0,7	1										
		77	1,8-2,0	0.312	0.814	0.842	0.796	0.745	0.695	0.663	0.626			
		86	2,0-2,4	0.073										
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.462</b>	<b>0.814</b>	<b>0.842</b>	<b>0.796</b>	<b>0.745</b>	<b>0.695</b>	<b>0.663</b>	<b>0.626</b>			
супесь	8а	83	2,6-2,8	0.51	0.618	0.619	0.618	0.618	0.619	0.618	0.618	0.618		
		53	1,2-1,4	0.231	0.588	0.614	0.621	0.622	0.623	0.624	0.624	0.623	0.623	
		4	5,0-5,2	0.538	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	
	<b>Среднее значение</b>			<b>0.426</b>	<b>0.607</b>	<b>0.616</b>	<b>0.618</b>	<b>0.618</b>	<b>0.619</b>	<b>0.619</b>	<b>0.619</b>	<b>0.619</b>		
суглинок	8б	71	2,0-2,2	0	0.005	0.022	0.037	0.05	0.062	0.071	0.081	0.089	0.103	
		66	8,0-8,2	0	0	0	0	0.014	0.021	0.028	0.033	0.039	0.048	
		68	2,9-3,1	0	0	0	0	0	0.004	0.013	0.024	0.033	0.051	
	<b>Среднее значение</b>			<b>0</b>	<b>0.002</b>	<b>0.007</b>	<b>0.012</b>	<b>0.021</b>	<b>0.029</b>	<b>0.037</b>	<b>0.046</b>	<b>0.067</b>		



#### 4. Расчет несущей способности свай с учетом динамического воздействия.

Расчеты несущей способности оснований для безопасной эксплуатации можно выполнять аналитическими методами.

Для расчета несущей способности от совместного действия статических и динамических нагрузок принимаем уменьшенные значения несущей способности по боковой поверхности. Для учета дополнительного снижения прочностных свойств грунтов от действия циклических динамических нагрузок моделирующих воздействие штормовых волн, учтем величину относительного порового давления (PPR).

Динамические испытания трехосного сжатия выполнены для глинистых грунтов (ИГЭ-8а). Суглинок легкий песчанистый, твердый залегает с поверхности дна до глубины 10,5 м. В таблице 12 и на графике 1 приведена зависимость изменения средних значений относительного порового давления от количества циклов для суглинков ИГЭ-8а. Средняя величина относительного порового давления PPR после приложения динамической нагрузки с частотой 0,1 Гц постепенно увеличивается через каждые 50 циклов, максимальное значение накопленного относительного порового давления (PPR) за 250 циклов нагружения составляет 0,619 д.е.

Таблица 12. Средние значения относительного порового давления (PPR).

Номер ИГЭ	Циклы	Средние значения относительного порового давления PPR, д.е
Суглинок твердый ИГЭ-8а	0	0.426
	50	0.607
	100	0.616
	150	0.618
	200	0.618
	250	0.619
	300	0.619
	350	0.619
	400	0.619
500	0.619	



График 1. Зависимость средних значений относительного порового давления от количества циклов.

В таблице 13 представлена несущая способность вертикальной и наклонной свай-оболочек по боковой поверхности и предельное сопротивление грунта основания свай с учетом величины относительного порового давления. После приложения динамической нагрузки прочностные свойства грунта снижаются, а несущая способность свай уменьшается, но уже через 250 циклов нагружения стабилизируется. Несущая способность вертикальной и наклонной через 250 циклов нагружения равна 637,4 т и 700,4 т соответственно.

Таблица 13. Расчетное значение нагрузок с учетом величины относительного порового давления.

Вертикальная свая оболочка										
Циклы	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500
Несущая способность по боковой поверхности, т	106.0	151.0	153.3	153.8	153.8	154.0	154.0	154.0	154.0	154.0
Предельное сопротивление грунта основания, т	589.4	634.4	636.7	637.2	637.2	637.4	637.4	637.4	637.4	637.4
Несущая способность свай с учетом $\gamma_{c,g} = 1,5$ -	392.9	423.0	424.5	424.8	424.8	425.0	425.0	425.0	425.0	425.0
Наклонная свая оболочка										
Циклы	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500
Несущая способность по боковой поверхности, т	354.0	407.1	409.7	410.3	410.3	410.6	410.6	410.6	410.6	410.6
Предельное сопротивление грунта основания, т	643.8	696.9	699.5	700.1	700.1	700.4	700.4	700.4	700.4	700.4
Допустимая нагрузка на сваю с учетом $\gamma_{c,g} = 1,5$ -	429.2	464.6	466.3	466.7	466.7	466.9	466.9	466.9	466.9	466.9

Несущая способность свай обеспечена, так как выполняется условие:  $\gamma_n \times N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}$ ,

где  $N=3000$  кН - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю  $F_d$  предельное сопротивление грунта основания сваи,  $\gamma_n = 1$ - коэффициент надежности по уровню ответственности,  $\gamma_{c,g} = 1,5$ - коэффициент надежности по грунту. Расчетная нагрузка на сваю не превышает допустимую нагрузку на сваю с учетом коэффициента надежности.

Основной аналитический метод для расчетов оснований фундаментов и сооружений по второй группе предельных состояний при динамическом воздействии является метод послойного элементарного суммирования с применением коэффициента понижающего модуль деформации. Для расчета длительных осадок от совместного действия статических и динамических нагрузок принимают уменьшенные значения модулей деформации грунтов. Для учета дополнительных деформаций грунтов от действия циклических динамических нагрузок применяется понижающий коэффициент  $K_{вп}$ , использование которого связано с коррекцией модуля деформации, полученного по результатам статических испытаний. Модуль деформации грунта с учётом деформации виброползучести следует определять по формуле:  $E_d = E_c K_{вп}$ , где  $E_c$  – модуль деформаций по результатам статических испытаний, МПа;  $E_d$  – скорректированное значение модуля деформации по результатам динамических вибрационных испытаний грунтов, МПа;  $K_{вп}$  – коэффициент виброползучести, д.е. (Гер-Мартirosян, 2017)

Модуль деформации грунтов с учетом коэффициента виброползучести можно использовать для расчетов осадок оснований сооружений методом послойного суммирования по следующим зависимостям:  $S = \beta \sum \frac{\sigma_z(q) \times h_i}{E_{вп}}$ , где  $S$ - конечное значение осадки по методу послойного суммирования с учетом виброползучести;  $E_{вп}$  – модуль деформации грунта с учетом виброползучести. Для суглинков (ИГЭ-8а) коэффициент виброползучести равен 0.4 д. е., тогда скорректированное значение модуля деформации по результатам динамических испытаний грунтов составит 95 кг/см<sup>2</sup>. В таблице 14 представлены результаты расчетов осадки сооружения с учетом динамического воздействия на грунты для каждого инженерно-геологического элемента.

Таблица 14. Результаты расчетов осадки грунта.

Описание грунта	Номер ИГЭ	Модуль деформации $E$ , кг/см <sup>2</sup>	Осадка $S$ , см
Суглинок	8а	95	31,1
Суглинок	9	164	5,2
Суглинок	10	202	0,3
Песок	13	168	0,0002

Дополнительная осадка сооружения с учетом динамического воздействия на грунты основания составляет 36,6 см.

## 5. Анализ результатов расчета.

Для оценки влияния динамических циклической нагрузок на прочностные свойства был выполнен расчет свайных фундаментов и их оснований, по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по деформациям.

В условиях динамической нагрузки прочностные свойства грунта снижаются, а несущая способность свай уменьшается. Для учета дополнительного снижения прочностных свойств грунтов от совместного действия статических и динамических нагрузок, учитывается величина относительного порового давления (PPR). На графиках 1 и 2 представлена зависимость несущей способности вертикальной и наклонной свай от количества циклов динамического нагружения. Несущая способность вертикальной и наклонной свай без учета динамического нагружения составляет  $F_{d1} = 812,2$  т и  $F_{d2} = 732$  т. После приложения динамической нагрузки прочностные свойства грунта снижаются, а несущая способность свай уменьшается, но уже через 250 циклов нагружения сопротивление грунта основания стабилизируется. Несущая способность вертикальной и наклонной через 250 циклов нагружения равна 637,4 т и 700,4 т соответственно.

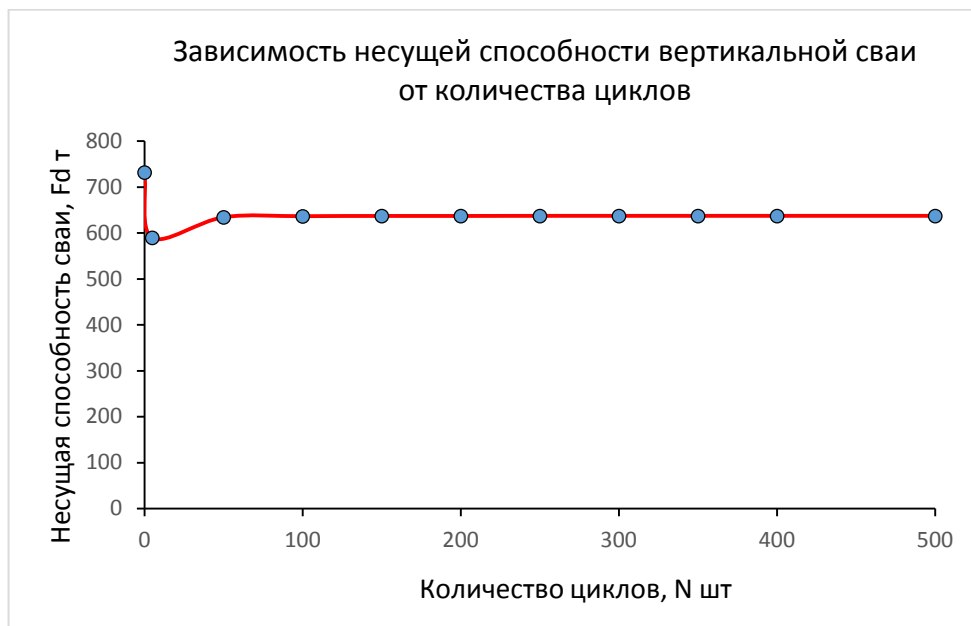


График 2. Зависимость несущей способности вертикальной сваи от количества циклов динамического нагружения.

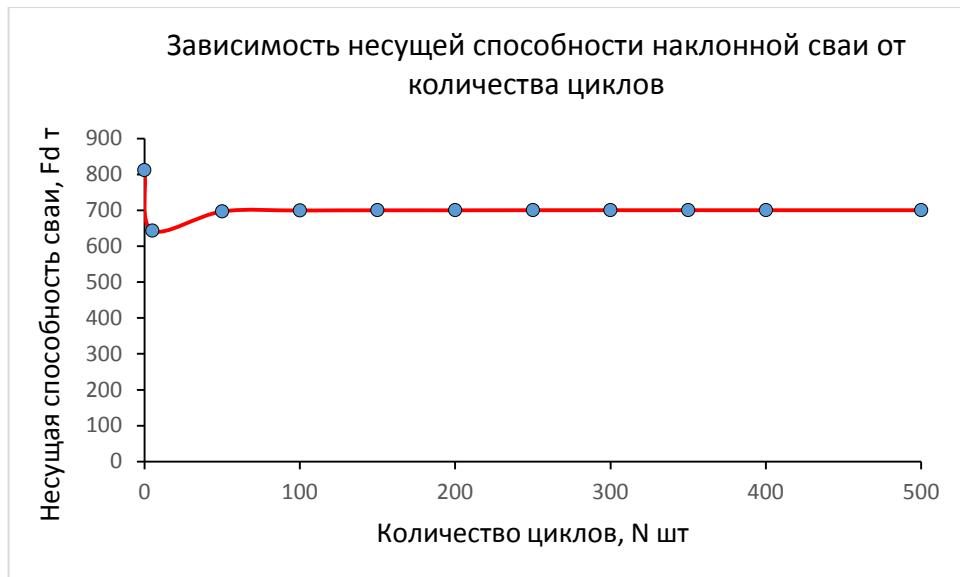


График 3. Зависимость несущей способности вертикальной сваи от количества циклов динамического нагружения.

Абсолютная разница в несущей способности вертикальной сваи с учетом динамического воздействия и без него изменяется от 94,6 т до 142,6 т, относительная разница от 13 до 19 %. Абсолютная разница между несущей способностью наклонной сваи с учетом динамического воздействия и без него варьируется от 111,8 т до 168,4 т, относительная разница от 14 до 21 %. В таблице 15 представлены результаты расчетов по снижению несущей способности свай с учетом динамической нагрузки.

Таблица 15. Результаты расчетов несущей способности свай с учетом динамической нагрузки.

Циклы	Вертикальная свая			Наклонная свая		
	Несущая способность с учетом PPR, т	Абсолютная разница, т	Относительная разница, %	Несущая способность с учетом PPR, т	Абсолютная разница, т	Относительная разница, %
0	589.4	142.6	19	643.8	168.4	21
50	634.4	97.6	13	696.9	115.3	14
100	636.7	95.3	13	699.5	112.7	14
150	637.2	94.8	13	700.1	112.1	14
200	637.2	94.8	13	700.1	112.1	14
250	637.4	94.6	13	700.4	111.8	14
300	637.4	94.6	13	700.4	111.8	14
350	637.4	94.6	13	700.4	111.8	14
400	637.4	94.6	13	700.4	111.8	14
500	637.4	94.6	13	700.4	111.8	14

Расчет оснований фундаментов и сооружений по второй группе предельных состояний выполнен методом послойного элементарного суммирования. Суммарная осадка грунта при взаимодействии с фундаментом сооружения равна 26,4 см. Для учета дополнительных деформаций грунтов от действия циклических динамических нагрузок

применяется уменьшенное значение модуля деформации грунтов с учетом коэффициента виброползучести  $K_{вп}$ . Дополнительная осадка сооружения с учетом динамического воздействия на грунты основания составила 36,6 см. Осадка сооружения в условиях динамического нагружения увеличилась на 28%.

В условиях динамических нагрузок увеличивается деформируемость грунта и снижаются его прочностные свойства. Динамические нагрузки природного происхождения, обусловленные циклическими воздействиями штормовых волн, ведут к снижению несущей способности свай почти на 20%.

Безопасная эксплуатация оснований зданий и сооружений при динамических воздействиях невозможна без расчетного обоснования, базирующегося на результатах лабораторных и полевых исследований динамических свойств грунтов. Недоучет влияния динамических воздействий на прочностные свойства грунтов приводит к завышению несущей способности и занижению величины осадки грунта. Снижение несущей способности может привести к полной или частичной потере устойчивости грунтового основания и разрушению сооружения.

### **Заключение.**

Результаты выполненной автором магистерской работы о теоретических и практических исследованиях по проблемам влияния циклических динамических колебаний на снижение прочностных свойств, дают возможность сделать следующие выводы.

Было проведено исследование динамической неустойчивости грунтов и оценка влияния динамического воздействия на результаты расчетов несущей способности свайного фундамента. Выявлено, что динамические нагрузки природного происхождения, обусловленные циклическими воздействиями штормовых волн существенным образом, влияют на прочностные свойства грунтов оснований сооружений. Все исследуемые песчаные грунты и отдельные разности связных грунтов (суглинки ИГЭ-4а) под воздействием динамической нагрузки проявляют свойства виброползучести и являются динамически неустойчивыми.

Для оценки влияния динамических циклических нагрузок на прочностные свойства был выполнен расчет свайных фундаментов и их оснований, по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по деформациям. Осадка сооружения в условиях динамического нагружения увеличилась на 28%, несущая способность свай снизилась почти на 20%.

Воздействие динамических нагрузок необходимо учитывать при расчетах несущей способности свайных фундаментов нефтегазопромысловых сооружений на шельфе. Недоучет влияния динамических воздействий на прочностные свойства грунтов приводит к завышению несущей способности и занижению величины осадки грунта. Это может привести к полной или частичной потере устойчивости грунтового основания и разрушению сооружения.

### Список использованной литературы

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря. Под ред. О. В. Петров. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010, 78 с.
2. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методами пенетрации. Часть I. // Инженерные изыскания. 2010. №11. С. 22-30.
3. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом динамического зондирования. Часть III. // Инженерные изыскания. 2011. №1. С. 18-26.
4. Вавилова А. В. Методические указания по проведению практических занятий по теме: Расчет осадки методом послойного суммирования / А. В. Вавилова, А. Р. Соловьева // СПб, 2014.
5. Вознесенский Е.А. Динамические испытания грунтов. Состояние вопроса и стандартизация // Инженерные изыскания. 2013. №5. С. 20-26.
6. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов. -М.: Издательская группа
7. URSS, 1999, 264 с.
8. Вознесенский Е.А., Кушнарева Е.С. Сейсмическая разжижаемость грунтов: инженерная оценка и классифицирование // Инженерная геология, 2012. №2. С. 12-25.
9. Гальперин, А.М. Геология. Часть IV. Инженерная геология: / Гальперин А.М. В. Зайцев В.С. – М.: Горная Книга, 2009. – 559 с.
10. Геология СССР. Том 39 Литовская ССР. Геологическое описание и полезные ископаемые. Под ред. П. Я. Антропов. М.: Геолтехиздат, 1961, 504 с.
11. Гидрогеология СССР. Том XLV Калининградская область РСФСР. Под ред. А. В. Сидоренков. М.: Недра, 1970, 158 с.
12. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том III Балтийское море. Вып. 1 Гидрометеорологические условия. Под ред. Ф. С. Терзиев. СПб.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1992, 446 с.
13. ГОСТ 20276-2012. ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. - Взамен ГОСТ 20276-99; Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. – 50 с.
14. ГОСТ 12248-2010 - Грунты. Методы лабораторного определения механических характеристик. - Взамен ГОСТ 12248-96, ГОСТ 24143-80; Введ. 2011-01-01. - Москва: Стандартинформ, 2011. – 83 с.



15. ГОСТ Р 56353-2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов. - Введ. 2015-07-01. - М: Стандартиформ, 2015. - 34 с.
16. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевого испытания статическим зондированием. - Взамен ГОСТ 19912-81, ГОСТ 20069-81; Введ. 2002-01-01. - М: Стандартиформ, 2002. - 26 с.
17. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний. - Взамен ГОСТ 20522-96; Введ. 2013-07-01. - М: Стандартиформ, 2013. – 20 с.
18. ГОСТ 25100-2011. Классификация грунтов. - Взамен ГОСТ 25100-95; Введ. 2013-01-01. - М.: Стандартиформ, 2013. - 37 с.
19. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. - Взамен ГОСТ 12071-84; Введ. 2001-07-01. – М.: Стандартиформ, 2001. – 26 с.
20. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. - Взамен ГОСТ 30416-96; Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 16 с.
21. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - Взамен ГОСТ 5180-84; Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 24 с.
22. Грунтоведение. Под ред. В.Т. Трофимова. М.: МГУ, 2005, 1024 с.
23. Дмитриев, В. В. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие / В.В. Дмитриев, Л. А. Ярг. – М.: КДУ, 2008. – 542 с.
24. Короновский Н. В. Общая геология: учебник. М.: КДУ, 2006, 528с.
25. Лукьянова Н. В., Богданов Ю. Б., Васильева О. В., Варгин Г. П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N(34) – Калининград. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011, 226 с.
26. Мангушев, Р.А. Механика грунтов / В.Д. Карлов, И.И. Сахаров. – М.: АВС, 2009. – 264 с.
27. Национальный атлас России. Т.2. Природа. Экология. Под ред. В. М. Котляков, Г. Ф. Кравченко. М.: Роскартография, 2007, 495 с.
28. Орленок В.В. Полевая общегеографическая практика: учебное пособие. Калининград: Калинингр. ун-т, 1995, 212 с.
29. Романова Е. А., Виноградова О. Л., Покровский А. В. О геоморфологической изученности территории Калининградской // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2014. Вып. 1. С. 60-64.

30. Свиридов Н. И., Емельянов Е. М. Фациально-литологические комплексы четвертичных отложений центральной и юго-восточной Балтики // Литология и полезные ископаемые, 2000. №3. с. 246-267.
31. СП 131.13330.2011. Строительная климатология. - Взамен СНиП 23.01-99\*; Введ. 2013-01-01. - Москва: Стандартинформ, 2012. - 124 с.
32. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. - Введ. 2004-07-01. - М.: ФГУП «ПНИИИС», 2004. 92 с.
33. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ; Введ. 1998-03-01. - М.: Госстрой России, 2000. - 49 с.
34. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. - Взамен СНиП 11-02-96; Введ. 2013-07-01. - М.: Стандартинформ, 2013. - 115 с.
35. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений; Введ. 2011-05-19. - М.: Стандартинформ, 2011. - 166 с.
36. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. - Взамен СНиП 2.02.03-85; Введ. с 2011-05-20. - М.: Стандартинформ, 2011. - 90 с.
37. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений; Введ. с 09.03.2004- М.: ДЕАН, 2005. - 138 с.
38. Терцаги К. Теория механики грунтов. М.: Госстройиздат, 1961, 507 с.
39. Тер-Мартirosян А.З., Соболев Е.С. Безопасность эксплуатации оснований зданий и сооружений при динамическом воздействии // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 537-544.
40. Тетиор, А. Н. Фундаменты: учеб. Пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Академия, 2010, 400 с.
41. Ющубе, С. В. Примеры проектирования свайных фундаментов: методические указания / С.В. Ющубе, В.Л. Устюжанин. Под ред. Т.С. Володина. Томск: Том. архитстроит. ун., 2003, 49 с.
42. Seed H.B., Idriss I.M. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute Monograph. 1982. Oakland, CA.
43. Stokoe K.H., Lee S.H.H., Knox D.P. Shear moduli measurements under true triaxial stresses. Advances in the art of testing under cyclic conditions, ASCE. New York. 1985. P.166-185.
44. Wride (Fear) C.E., Robertson P.K., Biggar K.W., Campanella R.G., Hofmann B.A., Hughes J.M.O., Kupper A., Woeller D.J. Interpretation of in situ tests results from the CANLEX sites. Canadian Geotechnical Journal. 2000. Vol.37. P.505-529.

Приложение 1. Таблица Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических характеристик грунтов

Геологический индекс	Наименование грунта	Характеристика	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Природная влажность $W$ , д.е.	Граница текучести $W_L$ , д.е.	Граница раскат. $W_p$ , д.е.	Число пластичности $I_p$ , д.е.	Показатель текучести $I_L$ , д.е.	Коэффициент пористости $e$ , д.е.	Модуль общей деформации $E$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $C$ , кПа	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Расчетное сопротивление $R_0$ , кПа (СП 22.13330.2011)
m IV	ИГЭ 1 Песок гравелистый, средней плотности, водонасыщенный	$X_H$	1,96	1,66	2,65	0,183	-	-	-	-	0,600	32,0 <sup>(1)</sup>	39,0 <sup>(1)</sup>	1,0 <sup>(1)</sup>	23,77	500
		$X_I$	1,94										34,0	0,8		
		$X_{II}$	1,96										35,0	0,7		
	ИГЭ 1б Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный	$X_H$	1,95	1,65	2,64	0,181	-	-	-	-	0,600	9,5 <sup>(1)**</sup>	36,7 <sup>(1)**</sup>	4,5 <sup>(1)**</sup>	2,83	400
		$X_I$	1,93										31,9	3,6		
		$X_{II}$	1,95										33,4	3,0		
	ИГЭ 2 Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный	$X_H$	1,93	1,61	2,66	0,197	-	-	-	-	0,650	28,0	32,0	2,0	1,39	200
		$X_I$	1,91										29,0	1,3		
		$X_{II}$	1,93										32,0	2,0		
	ИГЭ 3 Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный	$X_H$	1,90	1,57	2,67	0,212	-	-	-	-	0,700	14,0	28,0	3,0	1,04	100
		$X_I$	1,88										25,0	2,0		
		$X_{II}$	1,90										28,0	3,0		
ИГЭ 4а Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный	$X_H$	1,88	1,45	2,61	0,299	0,347	0,231	0,12	0,58	0,802	13,0*	21,7 <sup>(1)*</sup>	25,0 <sup>(1)*</sup>	0,02	180	
	$X_I$	1,86										18,8	20,0			
	$X_{II}$	1,88										19,7	16,7			
g III	ИГЭ 6 Песок гравелистый, средней плотности, водонасыщенный	$X_H$	1,97	1,66	2,65	0,185	-	-	-	-	0,600	35,0	39,0	1,0	13,40	500
		$X_I$	1,95										35,4	0,7		
		$X_{II}$	1,97										39,0	1,0		
	ИГЭ 8а Суглинок легкий песчанистый, твердый	$X_H$	2,19	1,93	2,66	0,135	0,226	0,155	0,07	-0,30	0,379	$\frac{17,3^*}{14,0^{**}}$	26,6**	22,8**	0,02	350
		$X_I$	2,17										23,1	15,2		
		$X_{II}$	2,19										26,6	22,8		

Продолжение таблицы

Геологический индекс	Наименование грунта	Характеристика	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Природная влажность $W$ , д.е.	Граница текучести $W_L$ , д.е.	Граница раскат. $W_p$ , д.е.	Число пластичности $I_p$ , д.е.	Показатель текучести $I_L$ , д.е.	Коэффициент пористости $e$ , д.е.	Модуль общей деформации $E$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $C$ , кПа	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Расчетное сопротивление $R_0$ , кПа (СП 22.13330.2011)
g III	ИГЭ 86 Супесь пылеватая, пластичная	Хн	2,09	1,79	2,65	0,173	0,196	0,147	0,05	0,54	0,483	36,9*	26,4*	44,8*	0,03	250
		Х I	2,07										22,9	29,8		
		Х II	2,09										26,4	44,8		
P	ИГЭ 9 Суглинок тяжелый песчанистый, от твердого до тугопластичного	Хн	1,84	1,43	2,58	0,291	0,374	0,252	0,12	0,34	0,806	$\frac{12,5^*}{16,1^{**}}$	30,4**	56,0**	0,02	210
		Х I	1,82										26,4	37,0		
		Х II	1,84										30,4	56,0		
	ИГЭ 10 Суглинок легкий песчанистый, от тугопластичного до мягкопластичного	Хн	1,91	1,52	2,63	0,262	0,297	0,208	0,09	0,61	0,742	$\frac{20,7^*}{19,8^{**}}$	34,1**	23,2**	0,02	200
		Х I	1,89										29,6	15,5		
		Х II	1,91										34,1	23,2		
	ИГЭ 11а Песчаник средней плотности, низкой прочности	Хн	2,08	1,32	2,50	0,148	-	-	-	-	0,381	Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа				
		Х I	2,06									В естественном состоянии		2,22		
		Х II	2,08									В воздушно-сухом состоянии		2,84		
ИГЭ 11б Алевролит средней плотности, малопрочный	Хн	2,03	1,74	2,52	0,169	-	-	-	-	0,444	Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа					
	Х I	2,01									В естественном состоянии		6,34			
	Х II	2,03									В воздушно-сухом состоянии		7,05			
ИГЭ 12 Супесь пылеватая, пластичная	Хн	1,98	1,63	2,62	0,222	0,251	0,194	0,06	0,49	0,612	20,0 <sup>(1)*</sup>	30,4 <sup>(1)*</sup>	12,9 <sup>(1)*</sup>	0,03	250	
	Х I	1,96										26,4	10,3			
	Х II	1,98										27,6	8,6			
P	ИГЭ 13 Песок пылеватый, плотный, водонасыщенный	Хн	2,00	1,65	2,66	0,223	-	-	-	-	0,608	$\frac{28,3^*}{16,5^{**}}$	37,2**	11,3**	1,07	150
		Х I	1,98										33,8	7,5		
		Х II	2,00										37,2	11,3		

\* Значения приняты по результатам испытаний грунтов методом компрессионного сжатия и одноплоскостного среза;

\*\*Значения приняты по результатам испытаний грунтов методом трехосного сжатия;

<sup>(1)</sup>Значения приняты в соответствии с п.5.4 ГОСТ 205252-2012.

Примечания

1 Доверительная вероятность  $\alpha = 0,95$  для расчетов по несущей способности;  $\alpha = 0,85$  для расчетов по деформациям.

2 Коэффициенты фильтрации для ИГЭ 4а, 8а, 8б, 9, 10, 12 приведены согласно Справочного руководства гидрогеолога, издание второе, исправленное и дополненное, том. 1, под ред. В.М. Максимова, Л.: Недра, 1967., для всех остальных ИГЭ – по данным лабораторных исследований.

3 Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик для ИГЭ 1, 1б, 2, 3, 6 приняты по таблицам СП 22.13330.2011











Продолжение таблицы

№ п/п	№ скважины	Глубина отбора образца, м	Гранулометрический состав (процентное содержание фракций грунта, мм)										Природная влажность $W$ , Д.е.	Пределы пластичности		Число пластичности $I_p$ , Д.е.	Показатель текучести $I_L$ , Д.е.	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в рыхлом сложении $\rho_{\text{пл.рх.}}$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в плотном сложении $\rho_{\text{пл.пл.}}$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$ , Д.е.	Полная влагоемкость $W_n$ , Д.е.	Коэффициент водонасыщения $S_r$ , Д.е.	Относительное содержание органического вещества $I_o$ , Д.е.	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Угол естественного откоса		Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа
			25,0-10,0	10,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005		граница текучести $W_L$ , Д.е.	граница раскатывания $W_p$ , Д.е.													под водой	сухой	
92	12	8,0-8,2											0,136	0,216	0,155	0,06	-0,31	2,21	1,95	2,66			0,367	0,14	0,98					
93	13	4,8-5,0											0,130	0,204	0,155	0,05	-0,51	2,22	1,96	2,65			0,349	0,13	0,99					
94	14	3,8-4,0											0,127	0,206	0,151	0,06	-0,44	2,19	1,94	2,63			0,353	0,13	0,95					
95	15	7,9-8,0		5,5	1,2	2,0	4,6	21,6	24,1	16,0	11,1	13,9	0,116	0,197	0,146	0,05	-0,59													
96	16	8,3-8,5											0,152	0,252	0,180	0,07	-0,39	2,13	1,85	2,64			0,428	0,16	0,94					
97	17	2,9-3,0											0,132	0,204	0,155	0,05	-0,47													
98	18	1,8-2,0											0,142	0,237	0,163	0,07	-0,28	2,13	1,87	2,63			0,410	0,16	0,91					
99	19	2,7-2,8											0,193	0,229	0,166	0,06	0,43													
100	19	8,8-9,0											0,126	0,194	0,141	0,05	-0,28	2,14	1,90	2,50			0,315	0,13	1,00					
101	20	7,8-8,0											0,123	0,199	0,145	0,05	-0,41	2,20	1,96	2,66			0,358	0,13	0,91					
102	21	2,9-3,0											0,137	0,232	0,162	0,07	-0,36													
103	21	8,9-9,0											0,130	0,217	0,152	0,07	-0,34													
104	22	4,9-5,0											0,125	0,217	0,155	0,06	-0,48													
105	23	2,9-3,0											0,140	0,198	0,143	0,06	-0,05													
106	24	1,0-1,1											0,155	0,227	0,168	0,06	-0,22													
107	25	1,6-1,8											0,126	0,239	0,161	0,08	-0,45	2,19	1,94	2,59			0,332	0,13	0,98					
108	25	7,8-8,0											0,141	0,226	0,160	0,07	-0,29	2,15	1,88	2,57			0,364	0,14	1,00					
109	25	11,9-12,0											0,153	0,228	0,166	0,06	-0,21													
110	26	1,0-1,1	18,8	3,1	1,5	1,9	3,5	12,4	23,5	9,9	11,3	14,1	0,136	0,243	0,171	0,07	-0,49													
111	26	3,0-3,2											0,135	0,248	0,172	0,08	-0,49	2,20	1,94	2,64			0,362	0,14	0,98					
112	26	11,0-11,1	6,6	2,0	1,6	2,3	5,4	16,3	23,1	17,6	12,5	12,6	0,146	0,233	0,165	0,07	-0,28													
113	26	12,6-12,8											0,142	0,234	0,165	0,07	-0,33	2,10	1,84	2,50			0,360	0,14	0,99					
114	27	2,8-3,0											0,144	0,247	0,170	0,08	-0,34	2,18	1,91	2,70			0,417	0,15	0,93					
115	27	6,8-7,0											0,132	0,217	0,154	0,06	-0,35	2,22	1,96	2,67			0,361	0,14	0,98					
116	27	10,8-11,0											0,128	0,215	0,158	0,06	-0,53	2,20	1,95	2,67			0,369	0,14	0,93					
117	28	1,8-2,0											0,131	0,236	0,163	0,07	-0,44	2,18	1,93	2,64			0,370	0,14	0,94					
118	28	6,8-7,0											0,141	0,241	0,176	0,07	-0,54	2,17	1,90	2,70			0,420	0,16	0,91					
119	29	4,8-5,0											0,130	0,217	0,159	0,06	-0,50	2,18	1,93	2,67			0,384	0,14	0,90					
120	30	2,8-3,0											0,196	0,263	0,187	0,08	0,12	2,02	1,69	2,65			0,569	0,21	0,91					

Продолжение таблицы

№ п/п	№ скважины	Глубина отбора образца, м	Гранулометрический состав (процентное содержание фракций грунта, мм)										Природная влажность $W$ , Д.е.	Пределы пластичности		Число пластичности $I_p$ , Д.е.	Показатель текучести $I_L$ , Д.е.	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в рыхлом сложении $\rho_{пл.р.}$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в плотном сложении $\rho_{пл.п.}$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$ , Д.е.	Полная влагоемкость $W_n$ , Д.е.	Коэффициент водонасыщения $S_r$ , Д.е.	Относительное содержание органического вещества $I_o$ , Д.е.	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Угол естественного откоса		Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа
			25,0-10,0	10,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005		граница текучести $W_L$ , Д.е.	граница раскатывания $W_p$ , Д.е.													под водой	сухой	
121	30	10,0-10,2										0,124	0,209	0,153	0,06	-0,52	2,20	1,96	2,67			0,364	0,14	0,91						
122	31	1,8-2,0										0,125	0,207	0,152	0,06	-0,49	2,24	1,99	2,67			0,341	0,13	0,98						
123	32	1,0-1,2										0,135	0,222	0,161	0,06	-0,43	2,20	1,94	2,70			0,393	0,15	0,93						
124	32	8,8-9,0										0,126	0,189	0,134	0,06	-0,15	2,19	1,94	2,66			0,368	0,14	0,91						
125	33	2,8-3,0										0,141	0,225	0,161	0,06	-0,31	2,16	1,89	2,63			0,389	0,15	0,95						
126	33	8,4-8,6										0,133	0,200	0,157	0,04	-0,56	2,17	1,92	2,64			0,378	0,14	0,93						
127	34	3,8-4,0										0,117	0,209	0,152	0,06	-0,61	2,20	1,97	2,62			0,330	0,13	0,93						
128	34	7,8-8,0										0,134	0,233	0,160	0,07	-0,36	2,17	1,91	2,66			0,390	0,15	0,91						
129	34	9,8-10,0										0,130	0,224	0,160	0,06	-0,47	2,20	1,95	2,69			0,382	0,14	0,92						
130	35	3,7-4,0										0,128	0,245	0,178	0,07	-0,75														
131	35	10,4-10,5										0,144	0,244	0,171	0,07	-0,37														
132	36	2,9-3,0										0,132	0,226	0,160	0,07	-0,42														
133	36	9,6-9,7										0,134	0,208	0,157	0,05	-0,45														
134	37	2,8-3,0										0,141	0,225	0,166	0,06	-0,42	2,19	1,92	2,71			0,412	0,15	0,93						
135	38	3,8-4,0										0,144	0,210	0,157	0,05	-0,25	2,18	1,91	2,72			0,427	0,16	0,92						
136	38	9,8-10,0										0,140	0,224	0,161	0,06	-0,33	2,18	1,91	2,64			0,381	0,14	0,97						
137	39	1,8-2,0										0,141	0,229	0,168	0,06	-0,44	2,21	1,94	2,68			0,384	0,14	0,98						
138	44	0,8-1,0										0,149	0,227	0,165	0,06	-0,26	2,15	1,87	2,70			0,443	0,16	0,91						
139	44	7,8-8,0										0,157	0,256	0,187	0,07	-0,43	2,16	1,87	2,65			0,419	0,16	0,99						
140	47	1,8-2,0										0,153	0,243	0,174	0,07	-0,30	2,16	1,87	2,63			0,404	0,15	1,00						
141	47	3,8-4,0										0,164	0,271	0,193	0,08	-0,37	2,14	1,84	2,66			0,447	0,17	0,98						
142	47	7,2-7,4										0,137	0,231	0,162	0,07	-0,36	2,20	1,93	2,66			0,375	0,14	0,97						
143	50	1,8-2,0										0,137	0,243	0,171	0,07	-0,47	2,15	1,89	2,64			0,396	0,15	0,91						
144	50	4,8-5,0		4,5	1,8	1,7	3,1	13,7	20,8	13,2	14,2	27,0	0,144	0,253	0,187	0,07	-0,65	2,18	1,91	2,65			0,391	0,15	0,98					
145	50	7,3-7,5											0,138	0,241	0,173	0,07	-0,51	2,19	1,92	2,69			0,398	0,15	0,93					
146	52	0,7-0,8											0,145	0,232	0,163	0,07	-0,26													
147	52	2,7-2,8		1,0	1,4	2,6	11,8	23,1	24,4	11,9	7,1	16,7	0,138	0,236	0,167	0,07	-0,42													
148	52	4,6-4,8											0,129	0,219	0,152	0,07	-0,34	2,18	1,93	2,64			0,367	0,14	0,93					
149	53	1,8-2,0											0,131	0,239	0,162	0,08	-0,40	2,17	1,92	2,62			0,366	0,14	0,94					

















Продолжение таблицы

№ п/п	№ скважины	Глубина отбора образца, м	Гранулометрический состав (процентное содержание фракций грунта, мм)									Природная влажность $W$ , Д.е.	Пределы пластичности		Число пластичности $I_p$ , Д.е.	Показатель текучести $I_L$ , Д.е.	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в рыхлом сложении $\rho_{\text{п.р.}}$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в плотном сложении $\rho_{\text{пл.с.}}$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$ , Д.е.	Полная влагоемкость $W_n$ , Д.е.	Коэффициент водонасыщения $S_n$ , Д.е.	Относительное содержание органического вещества $I_o$ , Д.е.	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Угол естественного откоса		Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа
			25,0-10,0	10,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005		<0,005	граница текучести $W_L$ , Д.е.													граница раскатывания $W_p$ , Д.е.	под водой	
<b>ИГЭ-11а Песчаник</b>																													
338	3	12,5-12,7									0,166					0,00	2,53												
339	3	19,9-20,0									0,164				2,03	1,74	2,47				0,416	0,17	0,97				4,06		
340	4	16,5-16,6									0,211					0,00													
341	4	20,0-20,1									0,183				2,02	1,71	2,49				0,458	0,18	0,99				1,11		
342	7	18,5-18,7									0,120				2,11	1,88	2,47				0,311	0,13	0,95				1,90		
343	9	13,9-14,0									0,112					0,00													
344	9	19,0-19,1									0,164				2,03	1,74	2,47				0,416	0,17	0,97						
345	11	19,9-20,0									0,112				2,17	1,95	2,51				0,286	0,11	0,98				1,12		
346	12	20,1-20,2									0,099				2,21	2,01	2,55				0,268	0,11	0,94				2,65		
347	13	18,9-19,0									0,141																		
348	14	19,5-19,6									0,102																		
349	28	19,9-20,0									0,196				1,99	1,66	2,51				0,509	0,20	0,97						
350	31	18,1-18,3									0,155				2,05	1,77	2,46				0,386	0,16	0,99				2,45		
<b>Количество значений</b>											<b>13</b>				<b>8</b>	<b>11</b>	<b>9</b>				<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>				<b>6</b>		
<b>Среднее значение</b>											<b>0,148</b>				<b>2,08</b>	<b>1,32</b>	<b>2,50</b>				<b>0,381</b>	<b>0,15</b>	<b>0,97</b>				<b>2,22</b>		
<b>ИГЭ-11б Алевролит</b>																													
351	15	20,3-20,5									0,252				1,92	1,53	2,51				0,637	0,25	0,99				5,11		
352	17	17,5-17,7									0,204																		
353	17	19,8-20,0									0,192				1,99	1,67	2,49				0,491	0,20	0,97				4,12		
354	21	21,0-21,2									0,142						2,50										4,28		
355	30	19,1-19,2									0,149				2,03	1,77	2,49				0,409	0,16	0,91				8,90		
356	34	18,9-19,0									0,149				2,08	1,81	2,49				0,375	0,15	0,99				6,16		
357	34	19,8-20,0									0,116				2,12	1,90	2,48				0,306	0,12	0,94				9,48		
358	36	19,8-20,1									0,145						2,66												
<b>Количество значений</b>											<b>8</b>				<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>				<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>				<b>6</b>		
<b>Среднее значение</b>											<b>0,169</b>				<b>2,03</b>	<b>1,74</b>	<b>2,52</b>				<b>0,444</b>	<b>0,18</b>	<b>0,96</b>				<b>6,34</b>		





Продолжение таблицы

№ п/п	№ скважины	Глубина отбора образца, м	Гранулометрический состав (процентное содержание фракций грунта, мм)										Природная влажность $W$ , д.е.	Пределы пластичности		Число пластичности $I_p$ , д.е.	Показатель текучести $I_L$ , д.е.	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в рыхлом сложении $\rho_{max}$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность в плотном сложении $\rho_{min}$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$ , д.е.	Полная влагоемкость $W_n$ , д.е.	Коэффициент водонасыщения $S_r$ , д.е.	Относительное содержание органического вещества $I_o$ , д.е.	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Угол естественного откоса		Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа
			25,0-10,0	10,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005		граница текучести $W_L$ , д.е.	граница раскатывания $W_p$ , д.е.													под водой	сухой	
413	22	29,8-30,0				1,7	3,2	49,2	27,6	5,7	4,7	7,8	0,212					2,00	1,65	2,68			0,624	0,23	0,91					
414	23	21,8-22,0			0,1	1,0	4,5	43,4	34,8	5,4	3,9	6,9	0,242							1,54	1,61									
415	23	26,9-27,0		0,2	0,1	0,5	2,1	45,3	33,4	7,2	4,1	7,2	0,204																	
416	24	20,9-21,0		0,2	0,8	1,3	2,5	37,2	39,3	6,2	4,1	8,4	0,241																	
417	24	29,8-30,0			0,1	2,9	18,1	54,4	12,0	6,5	3,2	2,7	0,187					2,05	1,73	2,68			0,552	0,21	0,91					
418	28	22,8-23,0		0,7	0,2	0,5	1,9	2,4	70,5	8,7	3,0	12,2	0,230							1,20	1,43									
419	31	20,5-20,7		2,0	0,4	2,2	8,1	14,3	51,8	0,7	13,2	7,3	0,214							1,30	1,81						0,59	30	25	
<b>Количество значений</b>			<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>					<b>26</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>		<b>5</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	
<b>Среднее значение</b>			<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>1,0</b>	<b>4,3</b>	<b>37,6</b>	<b>37,7</b>	<b>6,4</b>	<b>4,0</b>	<b>8,1</b>	<b>0,223</b>					<b>2,00</b>	<b>1,65</b>	<b>2,66</b>	<b>1,21</b>	<b>1,43</b>	<b>0,608</b>	<b>0,23</b>	<b>0,93</b>		<b>1,07/0,20</b>	<b>40</b>	<b>32</b>	

**ПРОТОКОЛ ДИНАМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ**

№ Образца

Test\_5

Место отбора

Skv.58\_2,9-3,1m\_pesok\_19.07.16

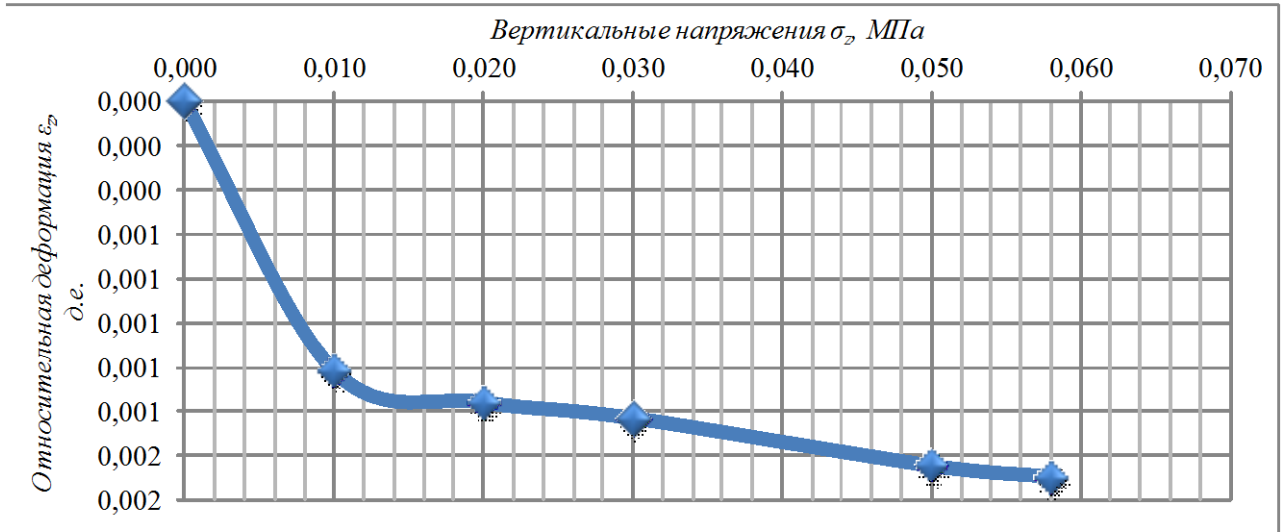
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Полное водонасыщение	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	Дистиллированная вода	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	19.07.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,96
Прибор	APS Wile LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1056

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	1217,79							
Масса фракции грунта, г	46,63	6,75	6,04	10,01	20,06	248,2	841,56	38,54
Содержание фракции, %	3,83	0,55	0,50	0,82	1,65	20,38	69,11	3,16

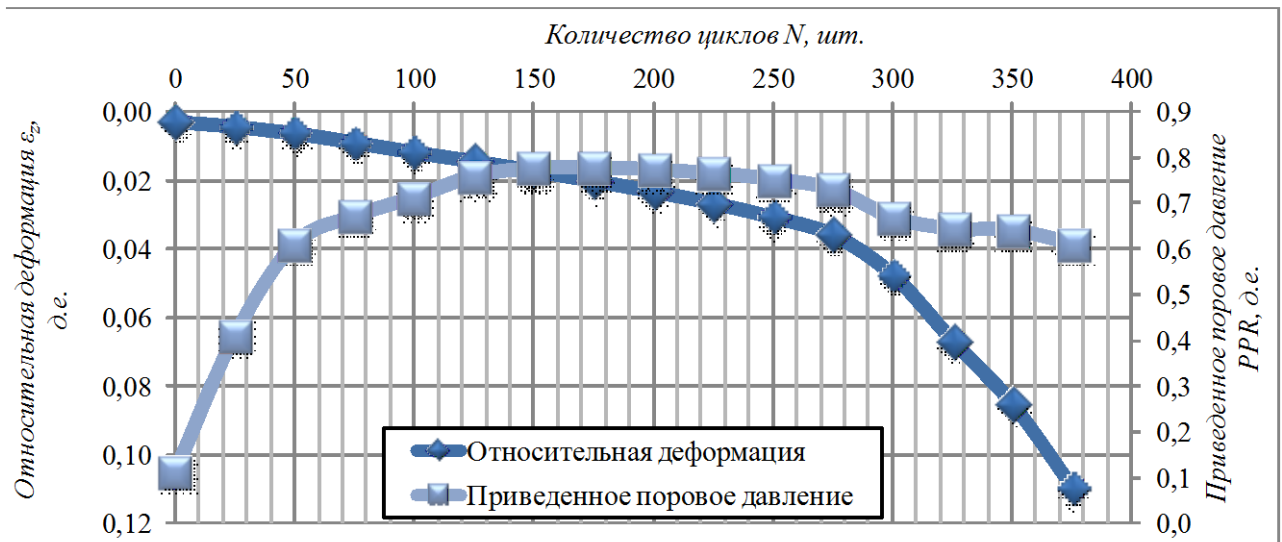
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	C <sub>u</sub> , д.е.	ρ <sub>d</sub> <sup>max</sup> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> <sup>min</sup> , г/см <sup>3</sup>	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный
0,23	-	-	-	-	1,96	1,60	2,64	0,39	0,65	0,92	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>r</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,010	0,010	0,000	0,170	0,001	0,000	0,010	0,000	
	0,020	0,020	0,000	0,190	0,001	0,000	0,020	0,000	
	0,030	0,030	0,000	0,200	0,001	0,000	0,030	0,000	
	0,050	0,030	0,000	0,230	0,002	0,010	0,037	0,000	
	0,058	0,031	0,000	0,237	0,002	0,014	0,040	0,000	
0	0,104	0,031	0,004	0,441	0,003	0,037	0,052	0,115	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,104	0,031	0,013	0,624	0,004	0,037	0,043	0,413	
50	0,104	0,031	0,019	0,902	0,006	0,037	0,036	0,611	
75	0,104	0,031	0,021	1,281	0,009	0,037	0,035	0,671	
100	0,104	0,031	0,022	1,677	0,012	0,037	0,033	0,712	
125	0,104	0,031	0,024	2,047	0,015	0,037	0,032	0,759	
150	0,104	0,031	0,024	2,431	0,017	0,037	0,031	0,775	
175	0,104	0,031	0,024	2,836	0,020	0,037	0,031	0,777	
200	0,104	0,031	0,024	3,27	0,023	0,037	0,031	0,773	
225	0,104	0,031	0,024	3,755	0,027	0,037	0,032	0,765	
250	0,104	0,031	0,023	4,326	0,031	0,037	0,032	0,752	
275	0,104	0,031	0,023	5,043	0,036	0,037	0,033	0,729	
300	0,104	0,031	0,021	6,682	0,048	0,037	0,035	0,668	
325	0,104	0,031	0,020	9,368	0,067	0,037	0,035	0,644	
350	0,104	0,031	0,020	11,934	0,085	0,037	0,035	0,640	
375	0,104	0,031	0,019	15,321	0,109	0,037	0,036	0,611	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов

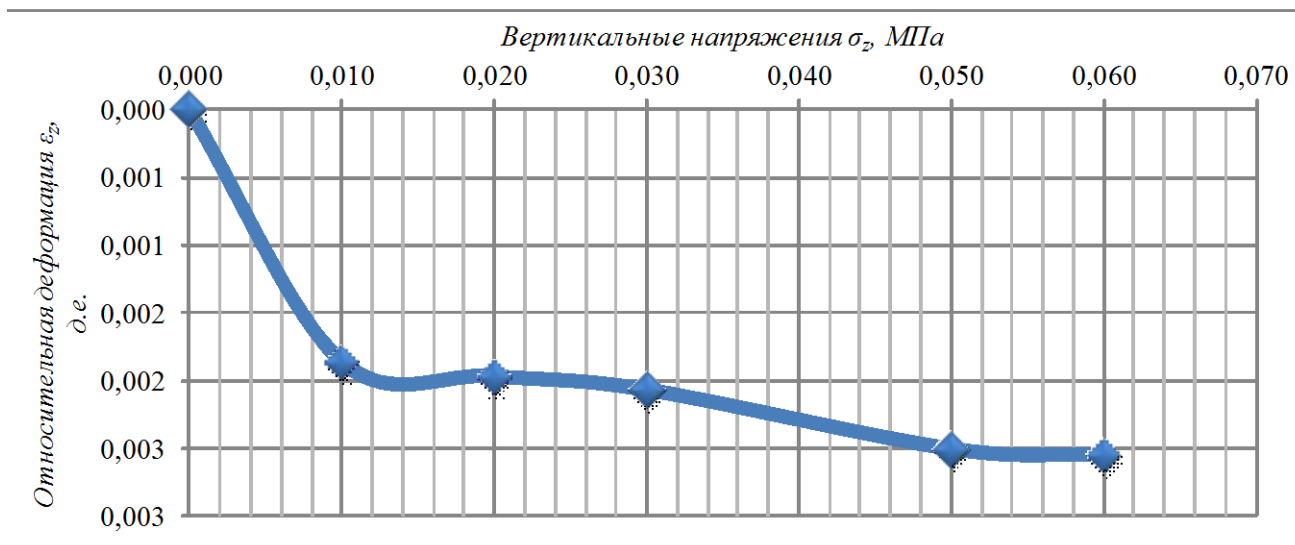


Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброплучести	$K_{вп}$	0,02	Динамически неустойчив

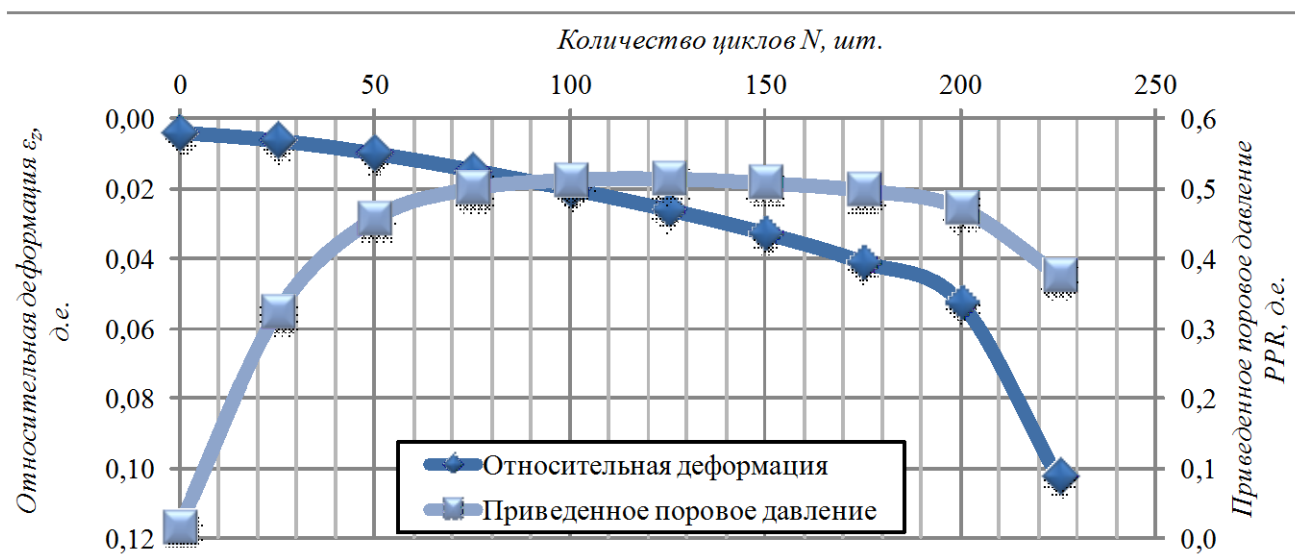




## Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



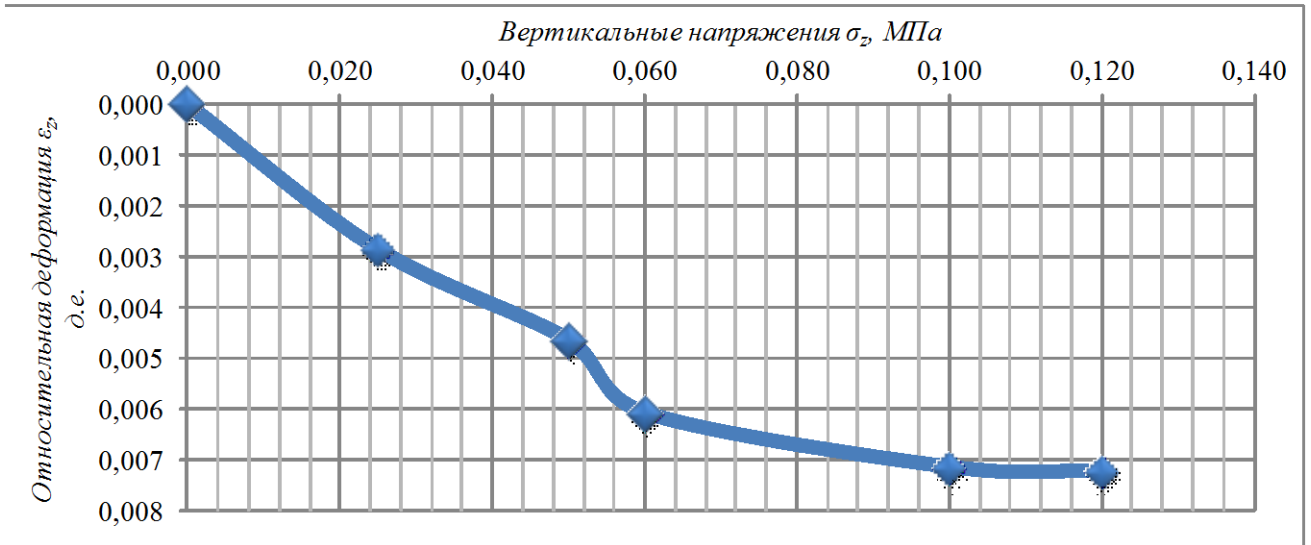
## Зависимость относительных деформаций от количества циклов



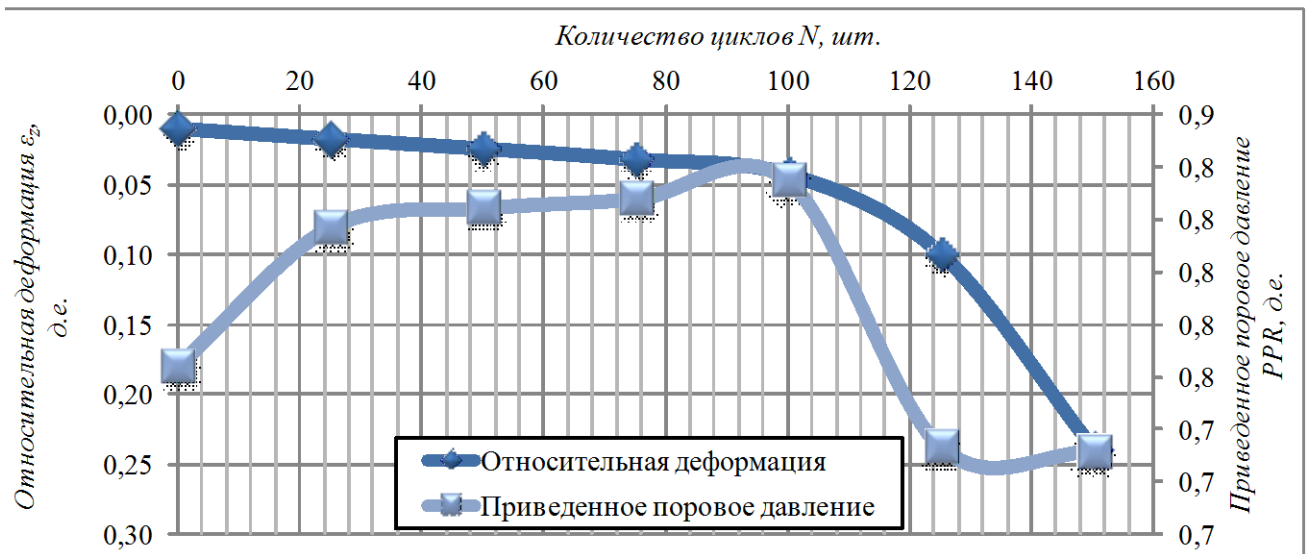
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{мп}$	0,03	Динамически неустойчив



**Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения**



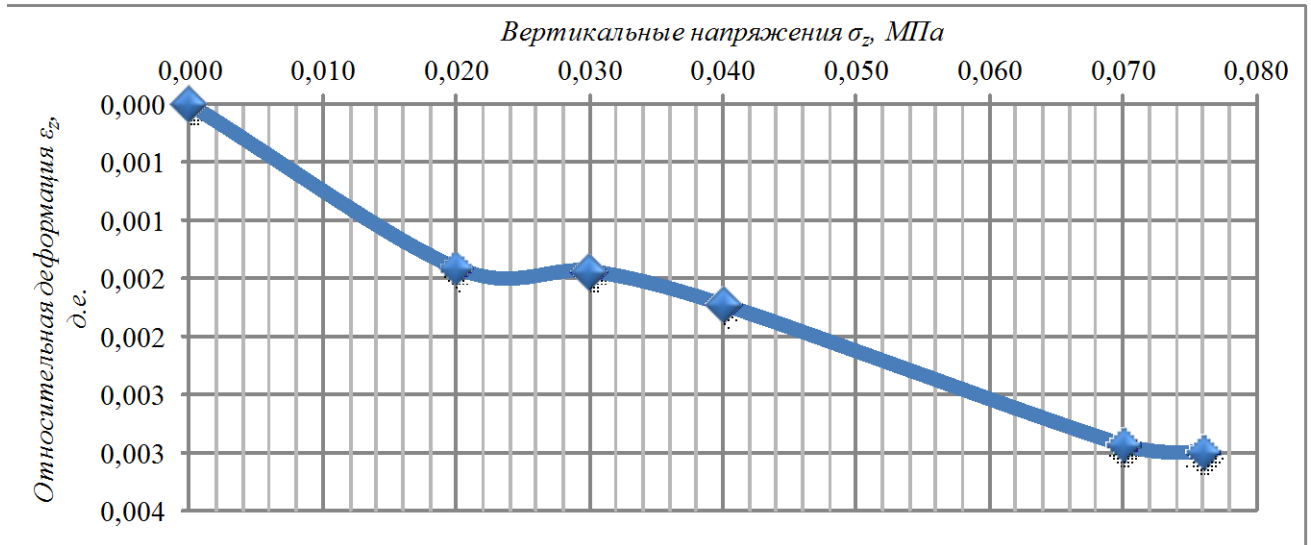
**Зависимость относительных деформаций от количества циклов**



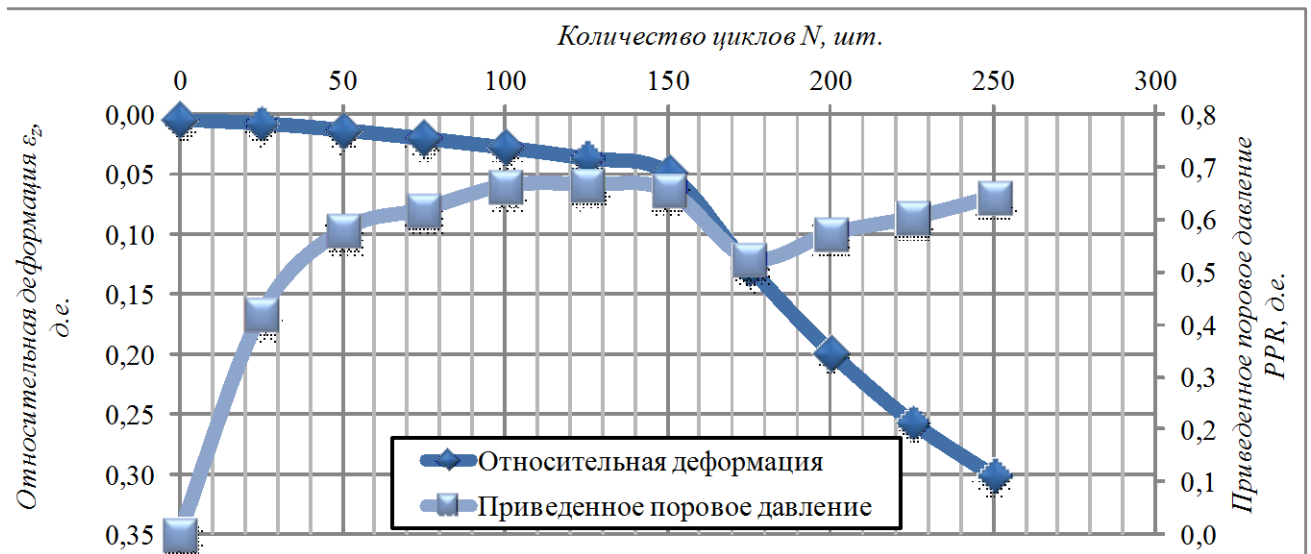
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,03	Динамически неустойчив



## Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



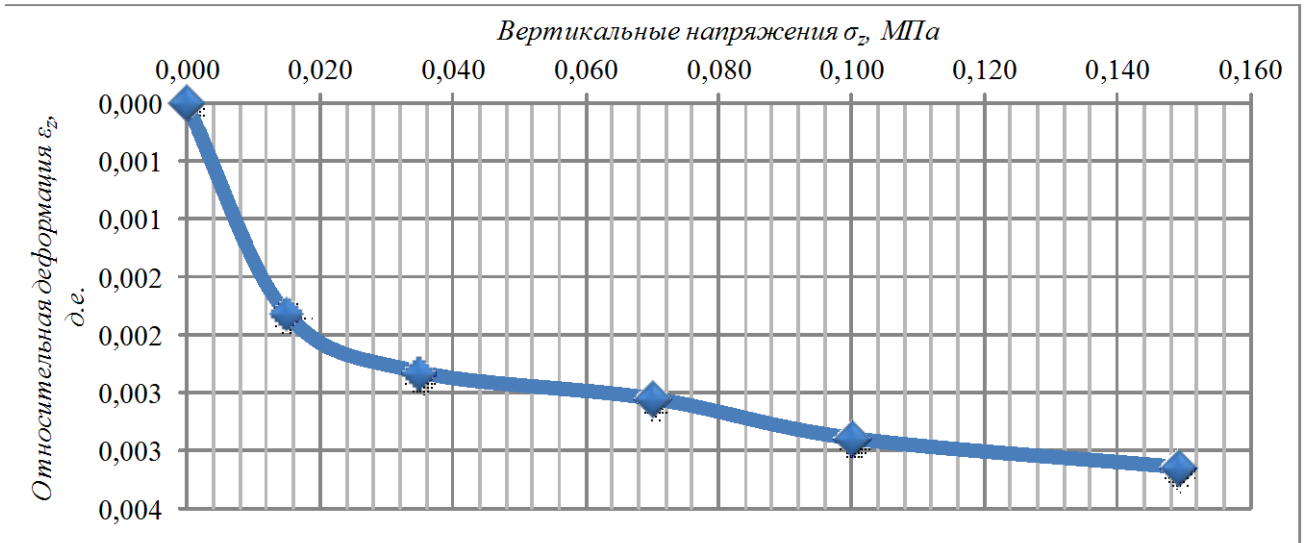
## Зависимость относительных деформаций от количества циклов



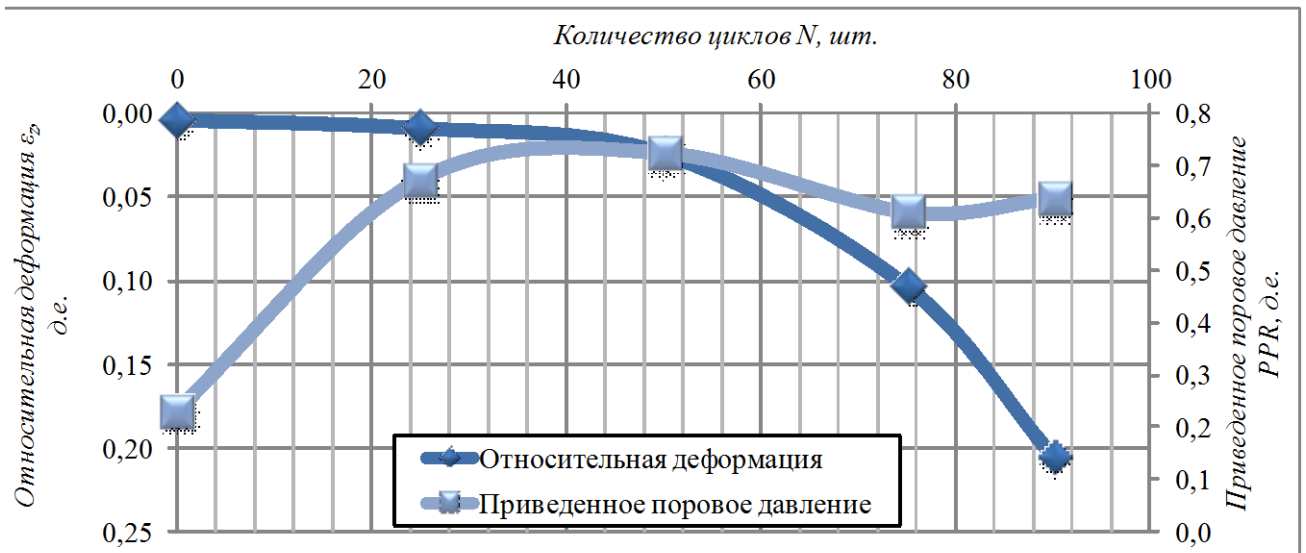
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,02	Динамически неустойчив



Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{вп}$	0,03	Динамически неустойчив





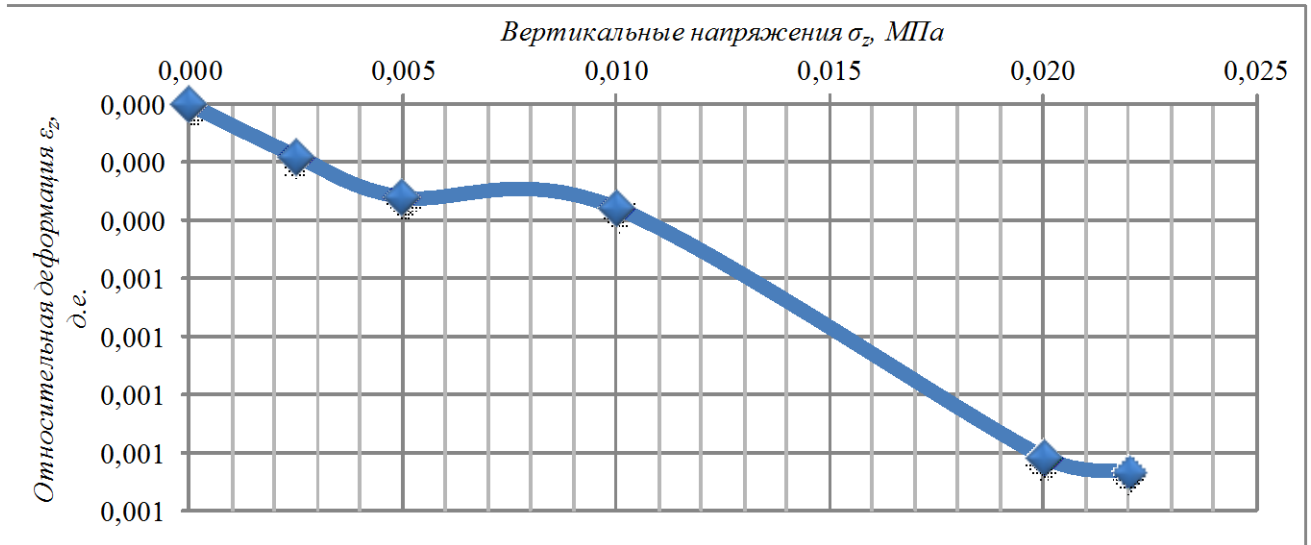
№ Образца

Test\_9

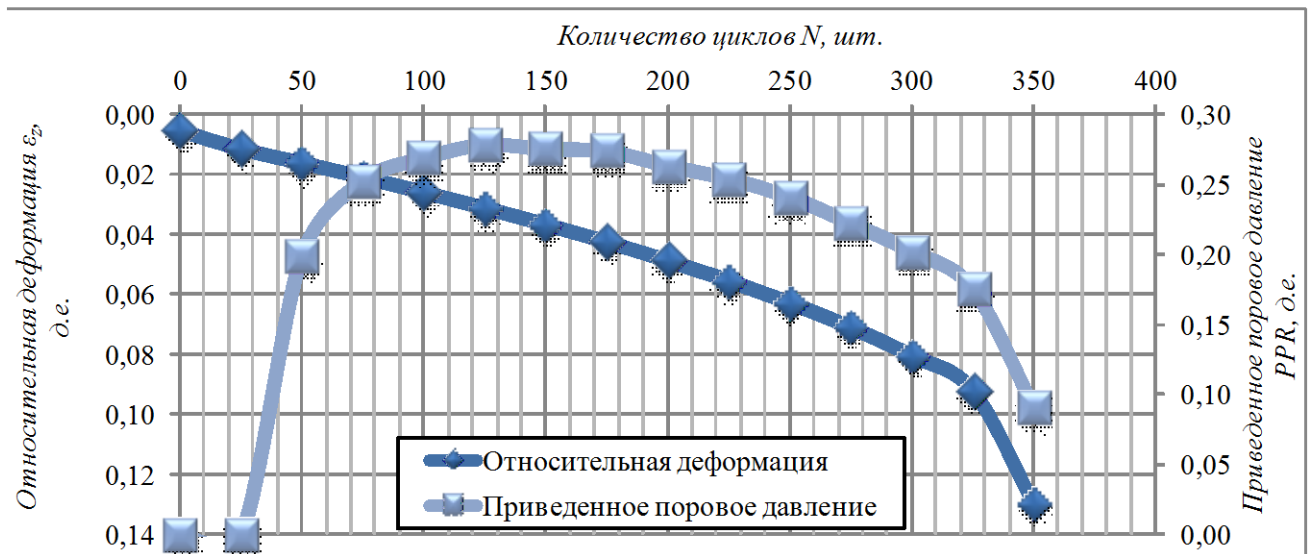
Место отбора

Skv.71\_0,8-1,0m\_pesok\_21.07.16

## Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



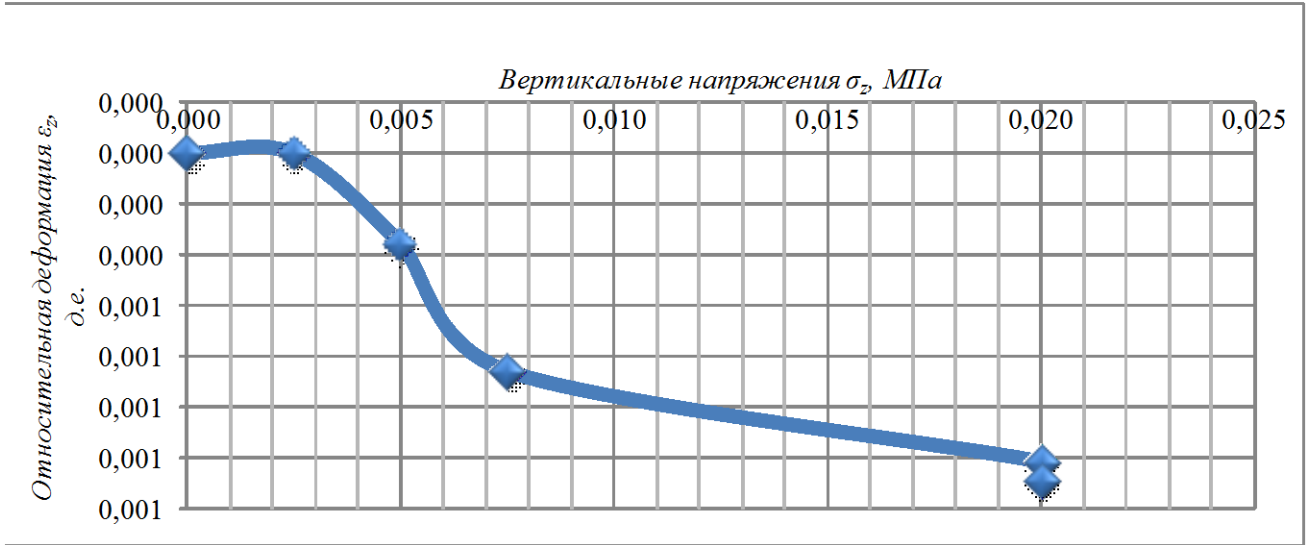
## Зависимость относительных деформаций от количества циклов



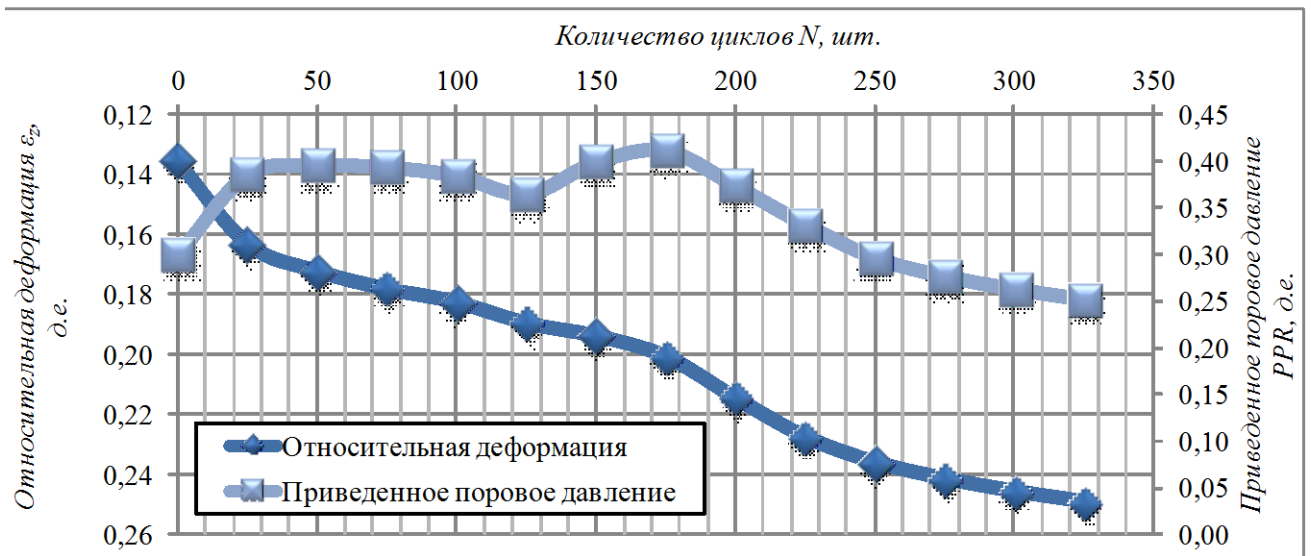
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{вп}$	0,01	Динамически неустойчив



**Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения**



**Зависимость относительных деформаций от количества циклов**



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{ви}$	0,01	Динамически неустойчив

№ Образца

Test\_3

Место отбора

Skv.59\_2,0-2,2m\_pesok\_18.07.16

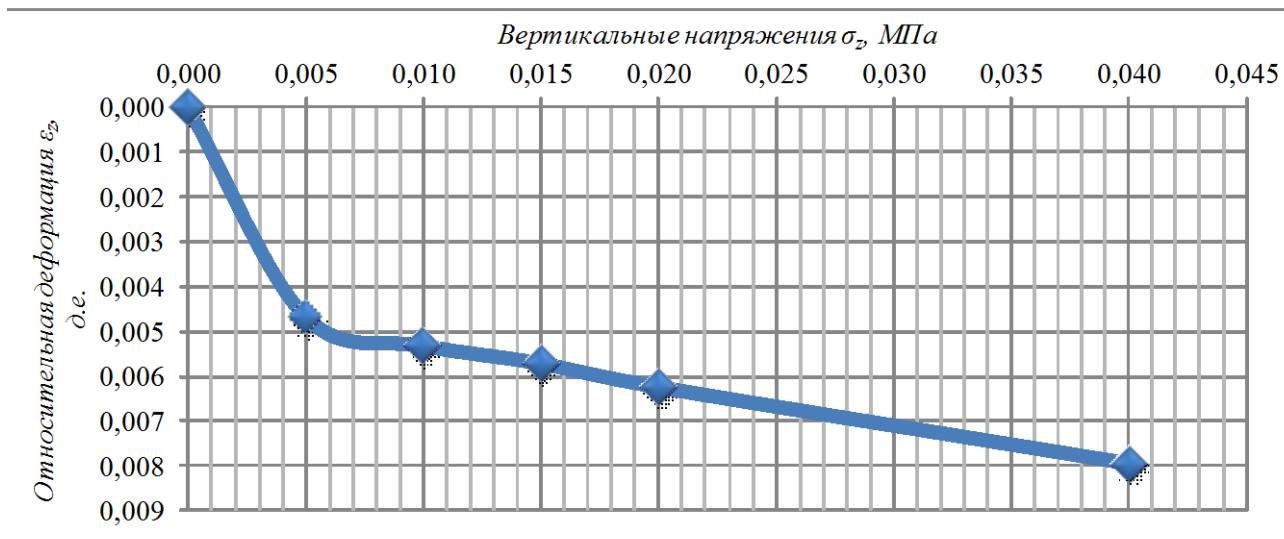
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Полное водонасыщение	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	Дистиллированная вода	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	18.07.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,96
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1056

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	627,8							
Масса фракции грунта, г	0	0	0	0,16	2,53	28,6	358,25	238,06
Содержание фракции, %	0,00	0,00	0,00	0,03	0,40	4,56	57,06	37,92

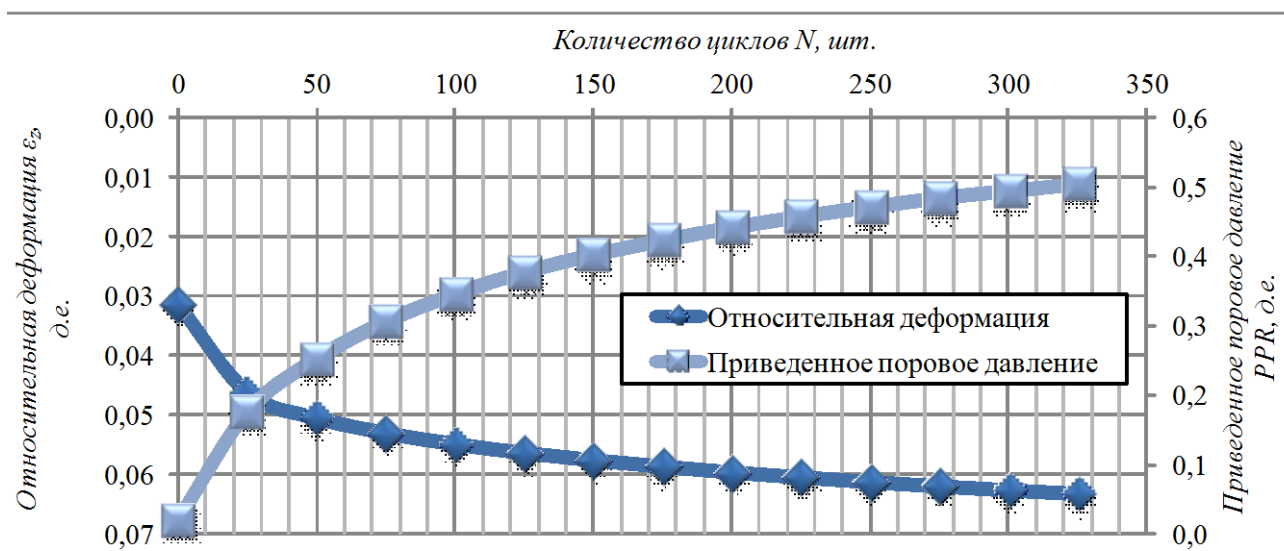
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	C <sub>u</sub> , д.е.	ρ <sub>d</sub> <sup>max</sup> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> <sup>min</sup> , г/см <sup>3</sup>	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	
0,18	-	-	-	-	1,96	1,66	2,64	0,37	0,59	0,82	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,005	0,005	0,000	0,654	0,005	0,000	0,005	0,000	
	0,010	0,010	0,000	0,745	0,005	0,000	0,010	0,000	
	0,015	0,015	0,000	0,800	0,006	0,000	0,015	0,000	
	0,020	0,020	0,000	0,874	0,006	0,000	0,020	0,000	
	0,040	0,022	0,000	1,112	0,008	0,009	0,028	0,000	
0	0,084	0,022	0,000	4,412	0,032	0,031	0,042	0,020	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,084	0,022	0,004	6,478	0,046	0,031	0,039	0,175	
50	0,084	0,022	0,006	7,062	0,050	0,031	0,037	0,252	
75	0,084	0,022	0,007	7,417	0,053	0,031	0,036	0,305	
100	0,084	0,022	0,008	7,674	0,055	0,031	0,035	0,345	
125	0,084	0,022	0,008	7,880	0,056	0,031	0,034	0,376	
150	0,084	0,022	0,009	8,051	0,058	0,031	0,034	0,401	
175	0,084	0,022	0,009	8,201	0,059	0,031	0,033	0,422	
200	0,084	0,022	0,010	8,335	0,060	0,031	0,033	0,441	
225	0,084	0,022	0,010	8,454	0,060	0,031	0,033	0,457	
250	0,084	0,022	0,010	8,561	0,061	0,031	0,032	0,470	
275	0,084	0,022	0,011	8,661	0,062	0,031	0,032	0,483	
300	0,084	0,022	0,011	8,753	0,063	0,031	0,032	0,493	
325	0,084	0,022	0,011	8,839	0,063	0,031	0,032	0,503	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



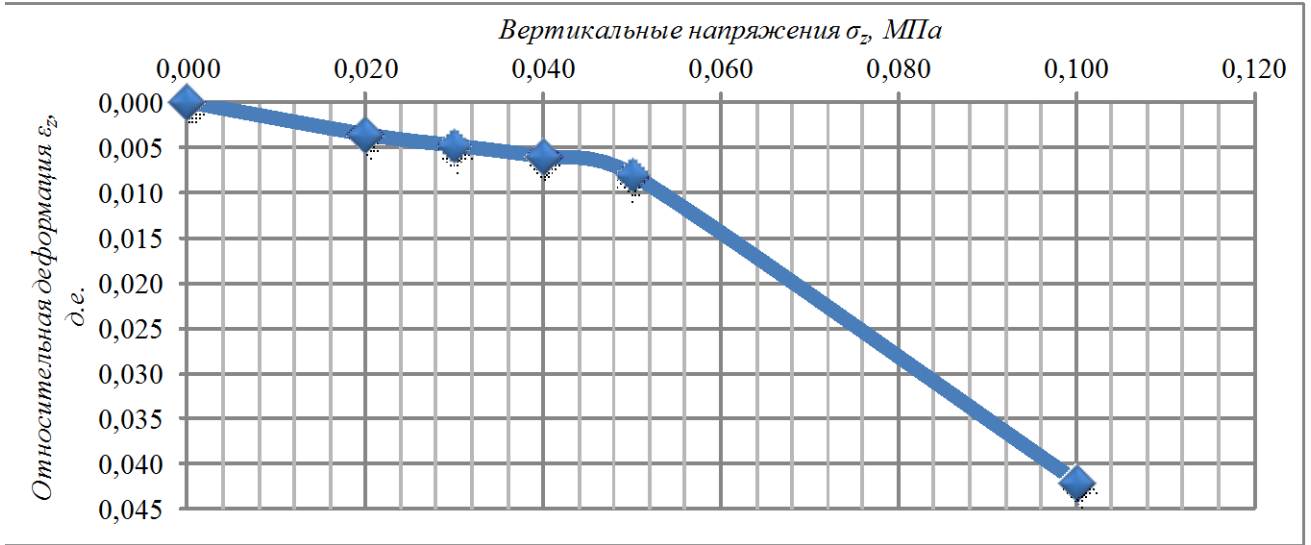
Зависимость относительных деформаций от количества циклов



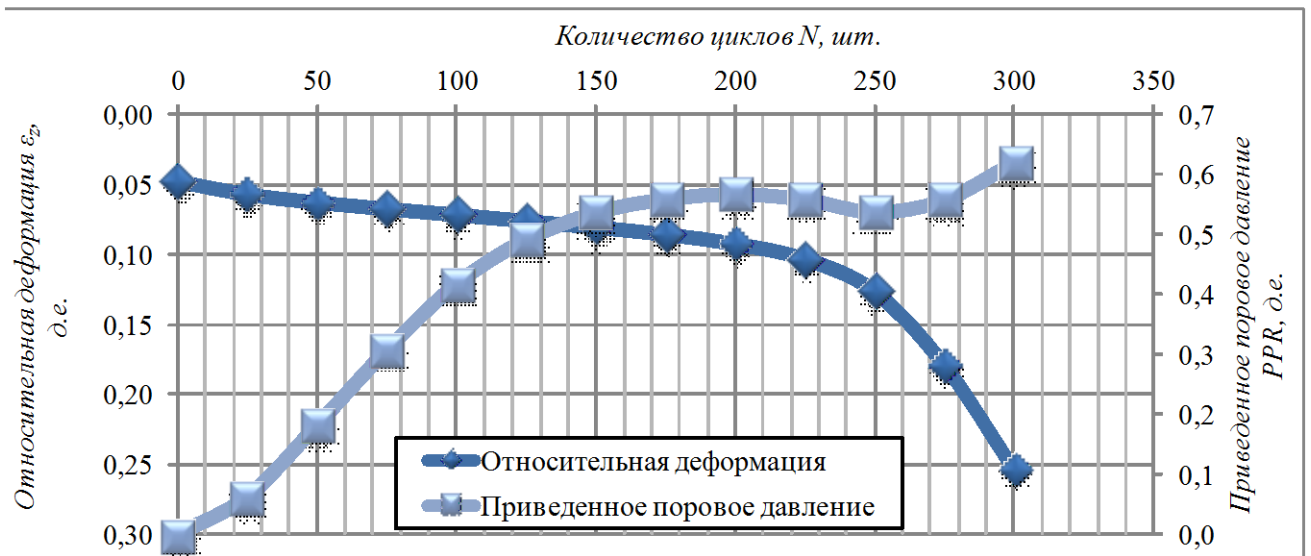
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,20	Динамически неустойчив



Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{ви}$	0,17	Динамически неустойчив

**ПРОТОКОЛ ДИНАМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ**

№ Образца

Test\_19

Место отбора

Skv.68\_1,0-1,2m\_suglinok\_11.08.16

Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	11.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,86
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1002

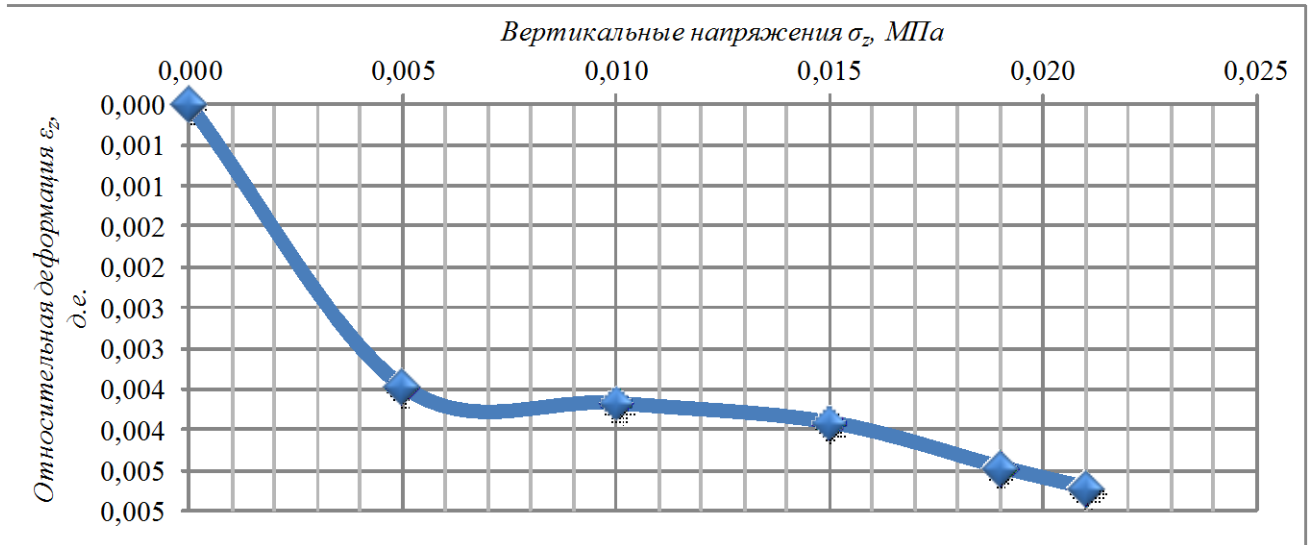
Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>p</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Суглинок текучепластичный
0,260	0,273	0,161	0,884	0,112	1,86	1,48	2,67	0,45	0,81	0,86	

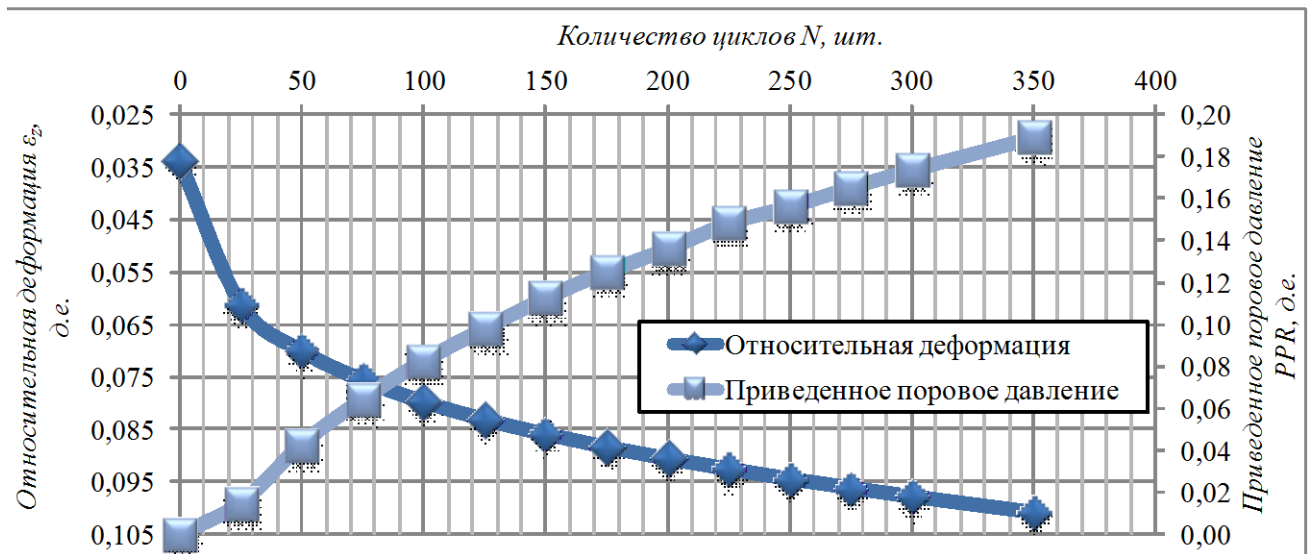
Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,005	0,005	0,000	0,485	0,003	0,000	0,005	0,000	
	0,010	0,010	0,000	0,514	0,004	0,000	0,010	0,000	
	0,015	0,015	0,000	0,547	0,004	0,000	0,015	0,000	
	0,019	0,019	0,000	0,624	0,004	0,000	0,019	0,000	
	0,021	0,019	0,000	0,659	0,005	0,001	0,020	0,000	
0	0,066	0,019	0,000	4,759	0,034	0,024	0,035	0,000	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,066	0,019	0,000	8,577	0,061	0,024	0,034	0,015	
50	0,066	0,019	0,001	9,810	0,070	0,024	0,034	0,043	
75	0,066	0,019	0,001	10,591	0,076	0,024	0,033	0,064	
100	0,066	0,019	0,002	11,170	0,080	0,024	0,033	0,083	
125	0,066	0,019	0,002	11,639	0,083	0,024	0,033	0,098	
150	0,066	0,019	0,002	12,031	0,086	0,024	0,033	0,113	
175	0,066	0,019	0,002	12,376	0,088	0,024	0,032	0,125	
200	0,066	0,019	0,003	12,682	0,091	0,024	0,032	0,136	
225	0,066	0,019	0,003	12,962	0,093	0,024	0,032	0,148	
250	0,066	0,019	0,003	13,220	0,094	0,024	0,032	0,156	
275	0,066	0,019	0,003	13,461	0,096	0,024	0,032	0,165	
300	0,066	0,019	0,003	13,689	0,098	0,024	0,031	0,173	
350	0,066	0,019	0,004	14,113	0,101	0,024	0,031	0,189	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	



## Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



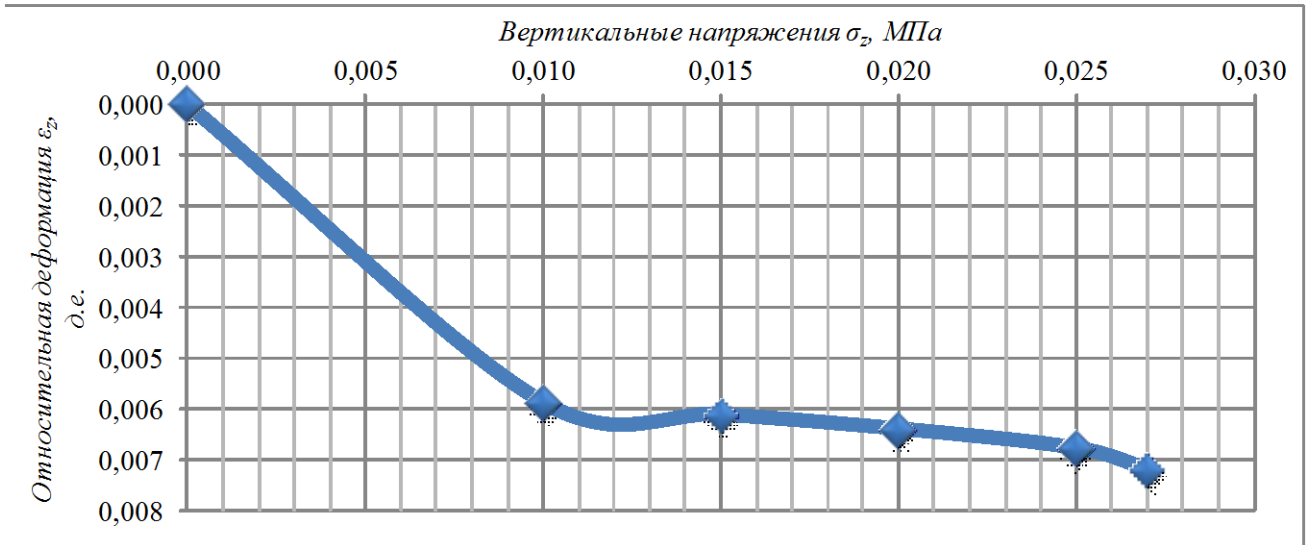
## Зависимость относительных деформаций от количества циклов



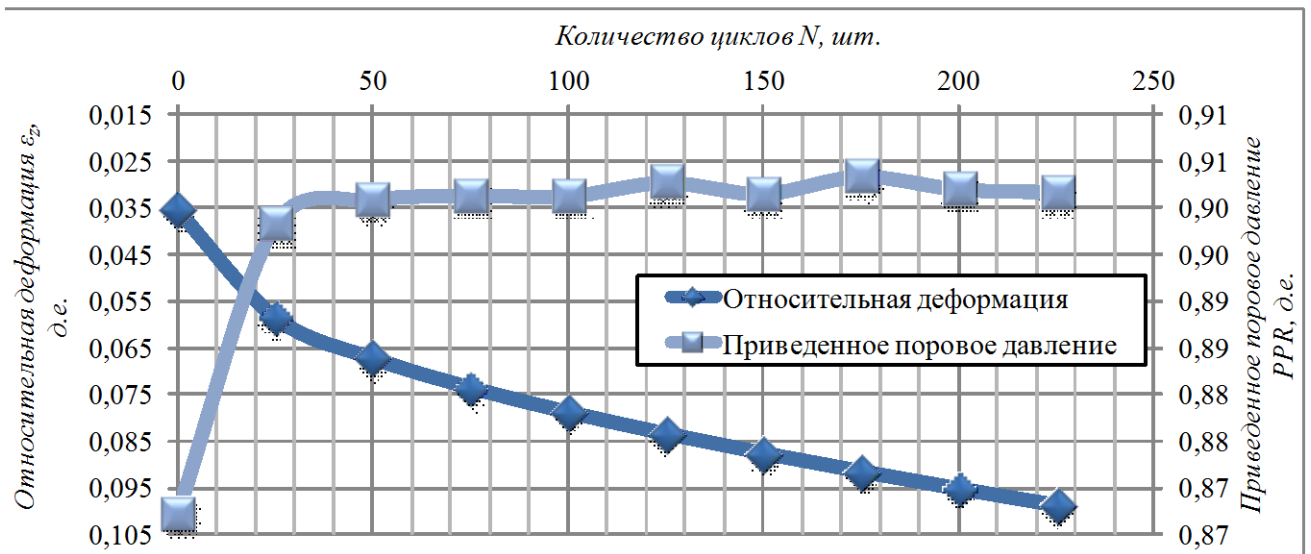
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{мп}$	0,07	Динамически неустойчив



**Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения**



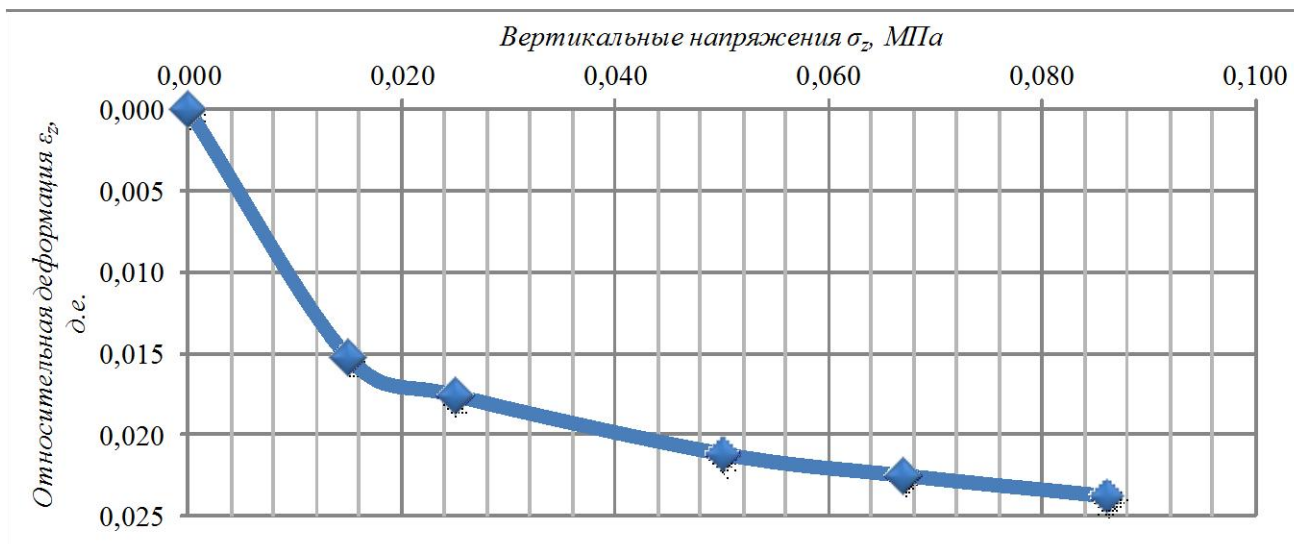
**Зависимость относительных деформаций от количества циклов**



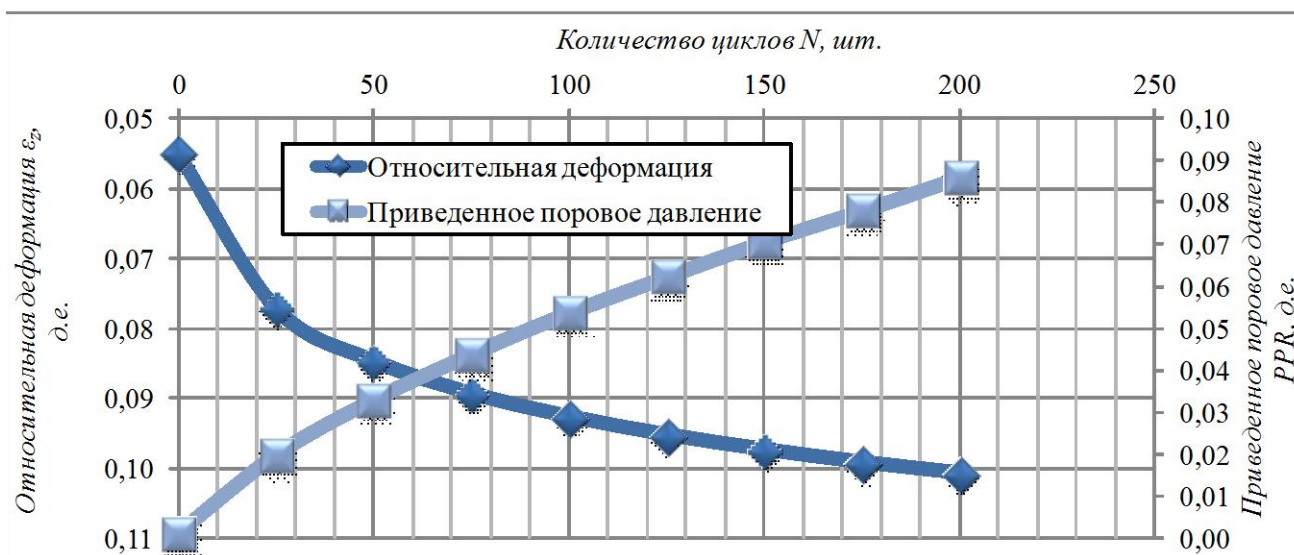
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{мп}$	0,10	Динамически неустойчив



Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



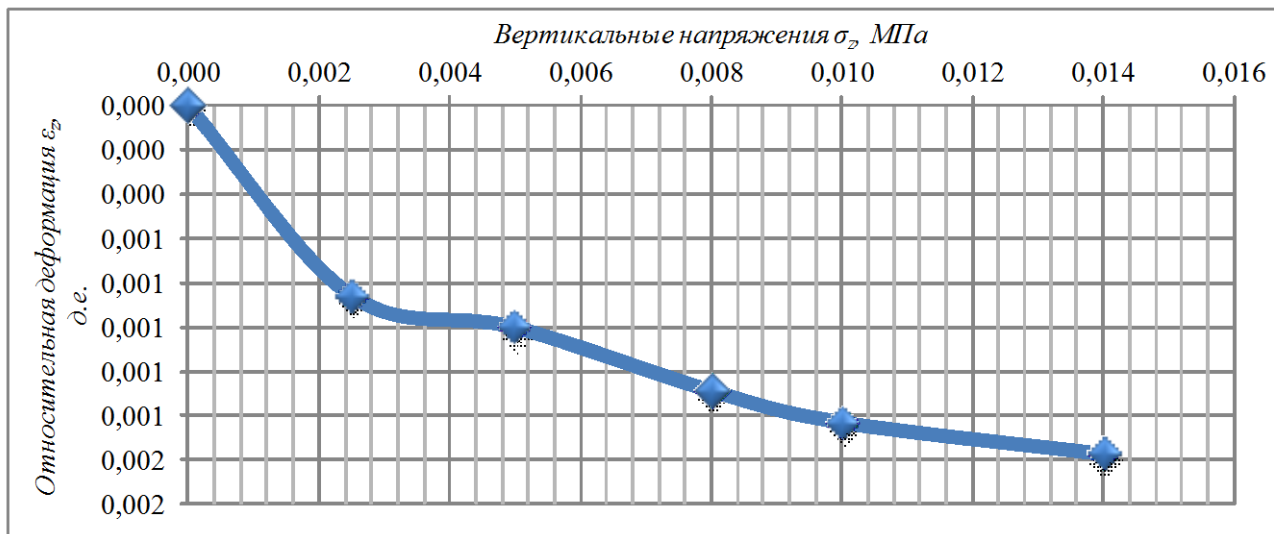
Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,34	Динамически неустойчив



**Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения**



**Зависимость относительных деформаций от количества циклов**



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент вибропозучести	$K_{вп}$	-	Разрушение наступило до приложения динамической нагрузки

№ Образца

Test\_11

Место отбора

Skv.77\_0,6-0,8m\_pesok\_22.07.16

Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Полное водонасыщение	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	Дистиллированная вода	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	22.07.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,12
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1142

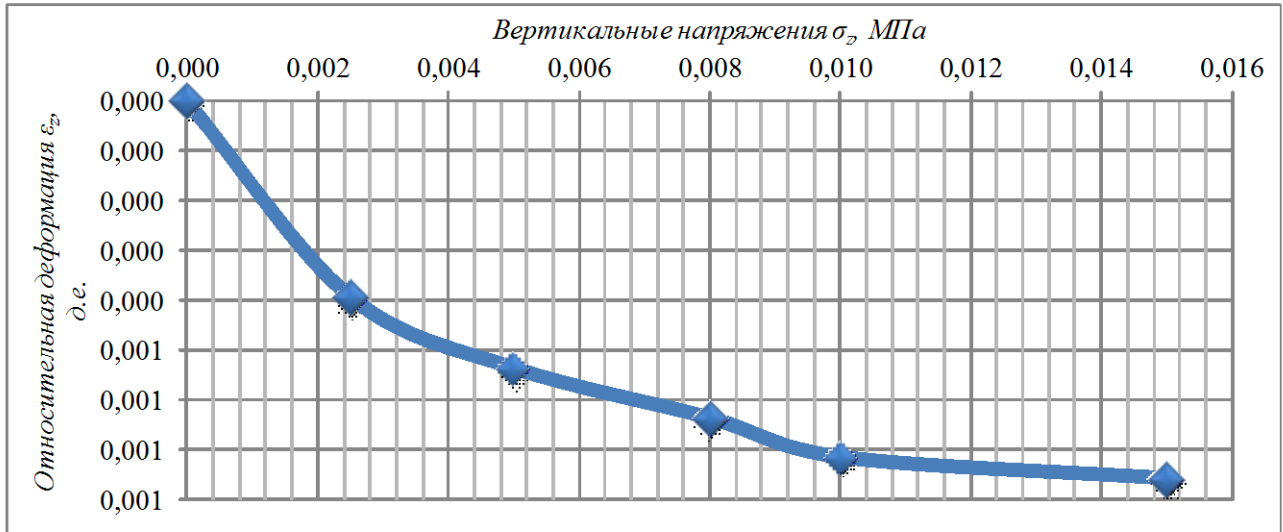
Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	1500,32							
Масса фракции грунта, г	514,14	129,39	131,71	198,04	143,93	83,54	268,34	36,09
Содержание фракции, %	34,27	8,62	8,78	13,20	9,59	5,57	17,89	2,41

Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	C <sub>u</sub> , д.е.	ρ <sub>d</sub> <sup>max</sup> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> <sup>min</sup> , г/см <sup>3</sup>	I <sub>D</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	<i>Песок гравелистый, плотный, средней степени водонасыщения</i>
0,07	-	-	-	-	2,12	1,99	2,64	0,25	0,33	0,53	

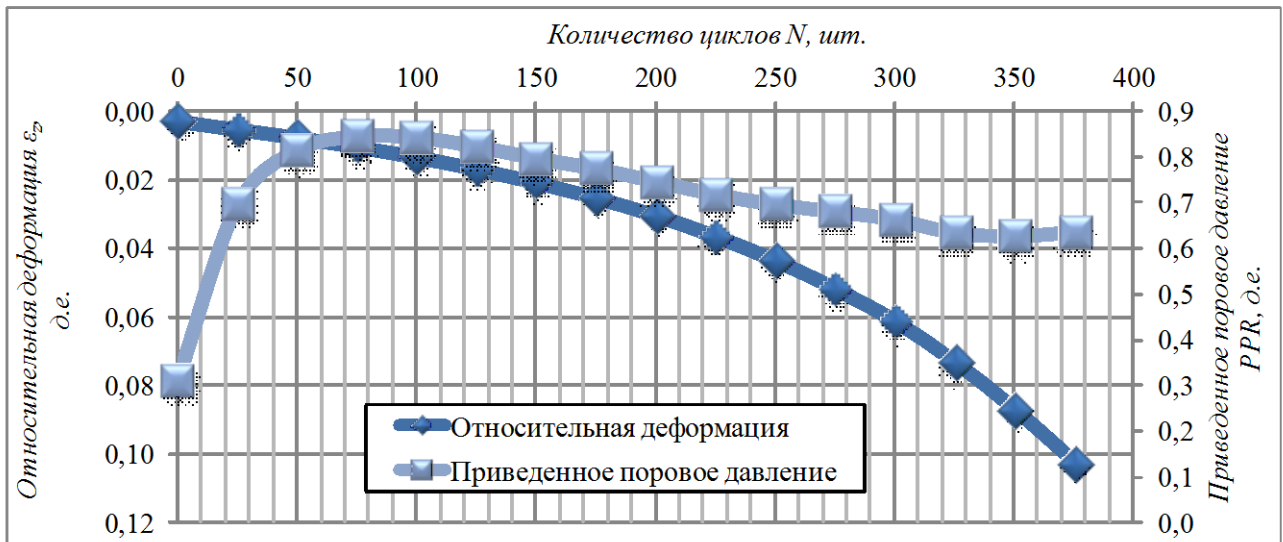
Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,003	0,003	0,000	0,055	0,000	0,000	0,003	0,000	
	0,005	0,005	0,000	0,075	0,001	0,000	0,005	0,000	
	0,008	0,008	0,000	0,089	0,001	0,000	0,008	0,000	
	0,010	0,008	0,000	0,100	0,001	0,001	0,009	0,000	
	0,015	0,008	0,000	0,106	0,001	0,004	0,010	0,000	
0	0,062	0,008	0,002	0,399	0,003	0,027	0,024	0,312	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,062	0,008	0,006	0,735	0,005	0,027	0,020	0,696	
50	0,062	0,008	0,007	1,064	0,008	0,027	0,019	0,814	
75	0,062	0,008	0,007	1,442	0,010	0,027	0,019	0,845	
100	0,062	0,008	0,007	1,863	0,013	0,027	0,019	0,842	
125	0,062	0,008	0,007	2,349	0,017	0,027	0,019	0,822	
150	0,062	0,008	0,006	2,905	0,021	0,027	0,020	0,796	
175	0,062	0,008	0,006	3,531	0,025	0,027	0,020	0,774	
200	0,062	0,008	0,006	4,252	0,030	0,027	0,020	0,745	
225	0,062	0,008	0,006	5,110	0,037	0,027	0,020	0,717	
250	0,062	0,008	0,006	6,093	0,044	0,027	0,020	0,695	
275	0,062	0,008	0,005	7,256	0,052	0,027	0,021	0,679	
300	0,062	0,008	0,005	8,575	0,061	0,027	0,021	0,663	
325	0,062	0,008	0,005	10,244	0,073	0,027	0,021	0,633	
350	0,062	0,008	0,005	12,173	0,087	0,027	0,021	0,626	
375	0,062	0,008	0,005	14,332	0,102	0,027	0,021	0,635	



Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



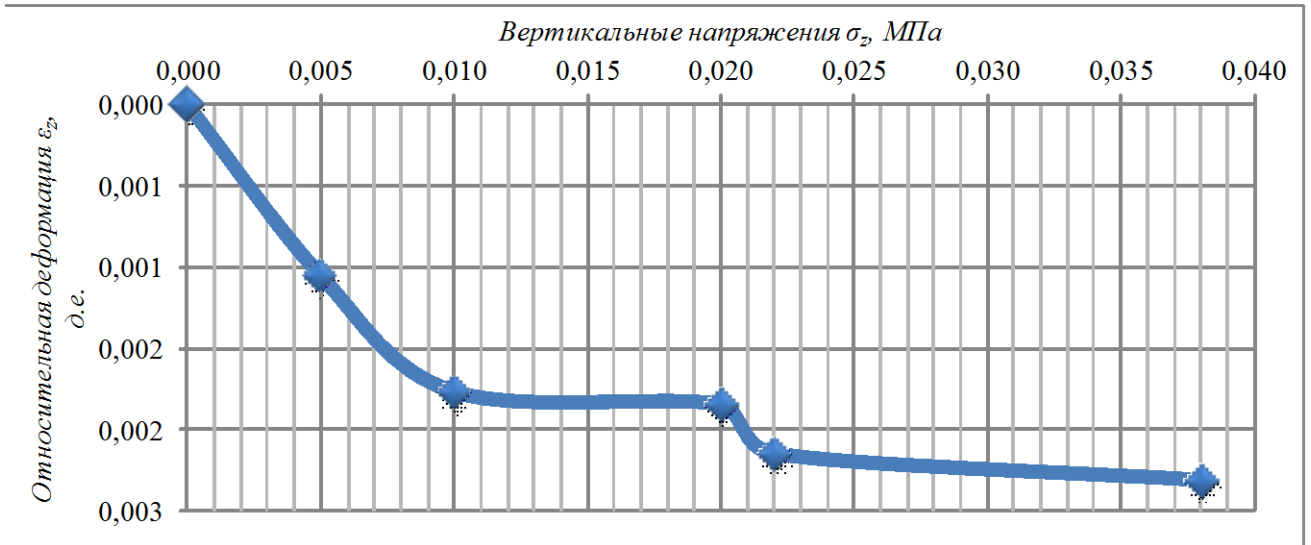
Зависимость относительных деформаций от количества циклов



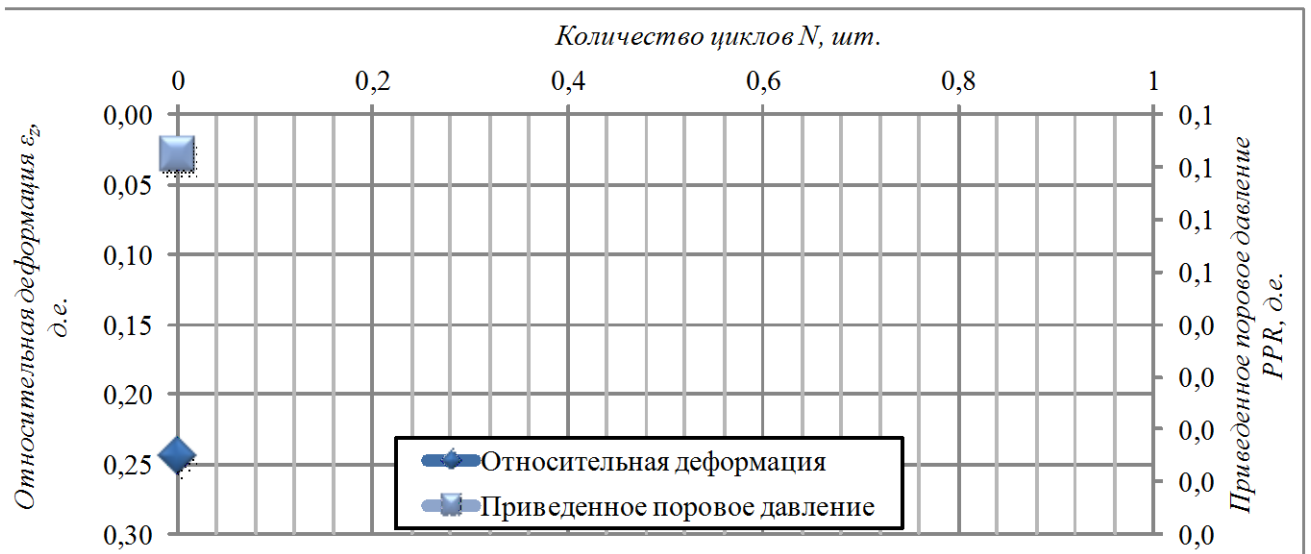
Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,01	Динамически неустойчив



**Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения**



**Зависимость относительных деформаций от количества циклов**



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	-	Разрушение наступило до приложения динамической нагрузки

№ Образца

Test\_16

Место отбора

Skv.4\_8,0-8,2m\_suglinok\_10.08.16

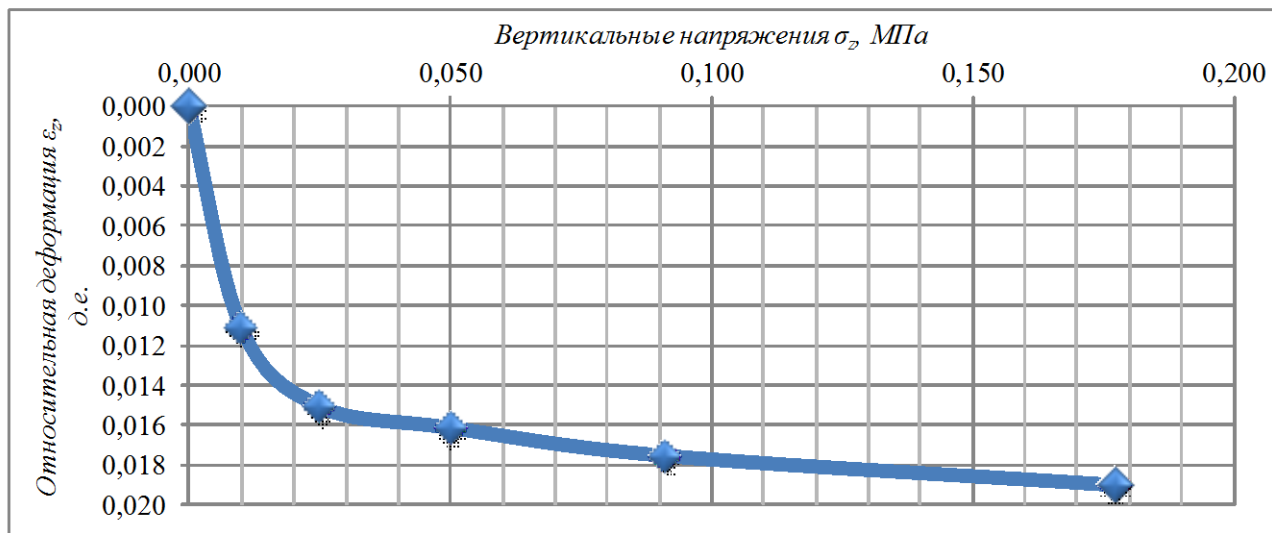
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	10.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,20
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1185

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

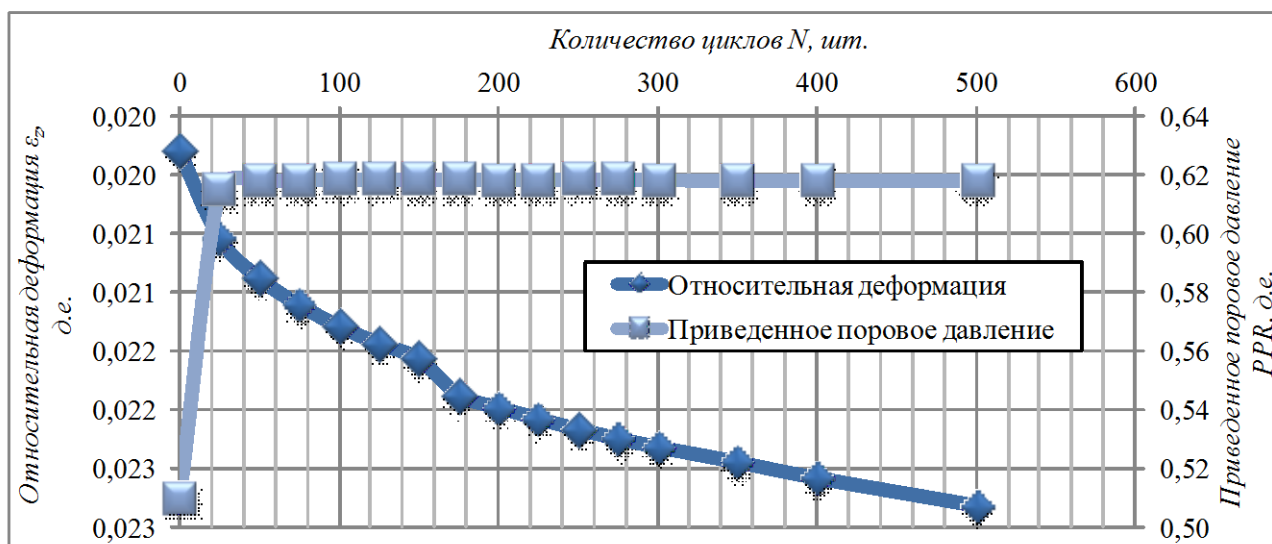
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>P</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>P</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Суглинок твердый
0,108	0,220	0,143	-0,455	0,077	2,20	1,99	2,66	0,25	0,34	0,85	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,010	0,010	0,000	1,547	0,011	0,000	0,010	0,000	
	0,025	0,025	0,000	2,105	0,015	0,000	0,025	0,000	
	0,050	0,050	0,000	2,254	0,016	0,000	0,050	0,000	
	0,091	0,091	0,000	2,451	0,018	0,000	0,091	0,000	
	0,177	0,144	0,000	2,656	0,019	0,017	0,155	0,000	
0	0,222	0,144	0,073	2,772	0,020	0,039	0,097	0,510	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,222	0,144	0,089	2,876	0,021	0,039	0,081	0,615	
50	0,222	0,144	0,089	2,923	0,021	0,039	0,081	0,618	
75	0,222	0,144	0,089	2,955	0,021	0,039	0,081	0,618	
100	0,222	0,144	0,089	2,980	0,021	0,039	0,081	0,619	
125	0,222	0,144	0,089	3,001	0,021	0,039	0,081	0,619	
150	0,222	0,144	0,089	3,019	0,022	0,039	0,081	0,618	
175	0,222	0,144	0,089	3,062	0,022	0,039	0,081	0,619	
200	0,222	0,144	0,089	3,077	0,022	0,039	0,081	0,618	
225	0,222	0,144	0,089	3,090	0,022	0,039	0,081	0,618	
250	0,222	0,144	0,089	3,103	0,022	0,039	0,081	0,619	
275	0,222	0,144	0,089	3,114	0,022	0,039	0,081	0,618	
300	0,222	0,144	0,089	3,124	0,022	0,039	0,081	0,618	
350	0,222	0,144	0,089	3,142	0,022	0,039	0,081	0,618	
400	0,222	0,144	0,089	3,161	0,023	0,039	0,081	0,618	
500	0,222	0,144	0,089	3,194	0,023	0,039	0,081	0,618	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброплучести	$K_{вп}$	0,86	-

№ Образца

Test\_17

Место отбора

Skv.53\_2,0-2,2m\_suglinok\_10.08.16

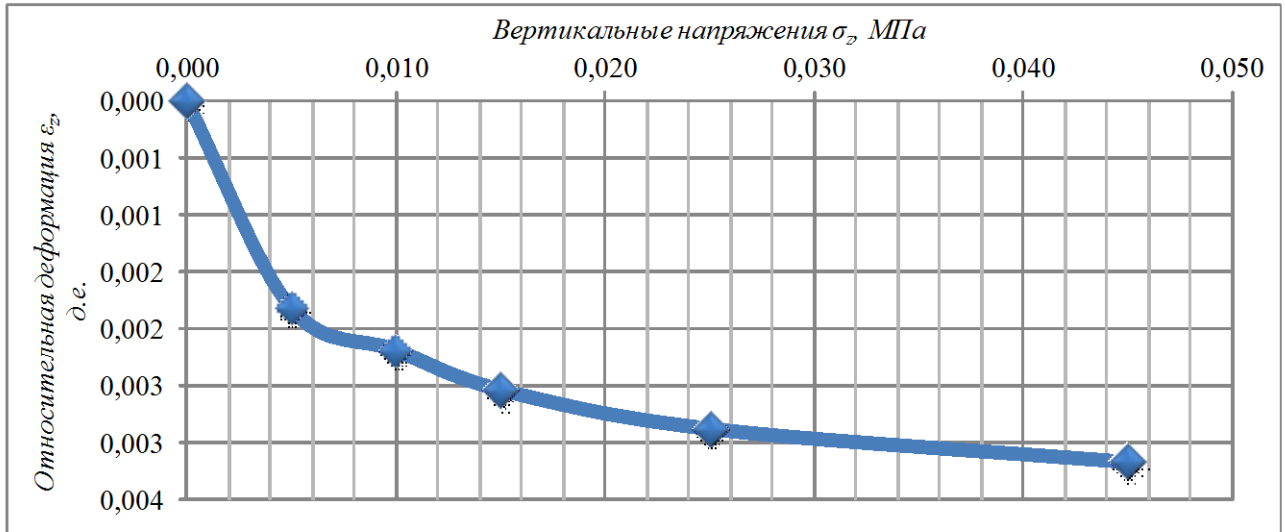
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	10.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,20
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1187

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

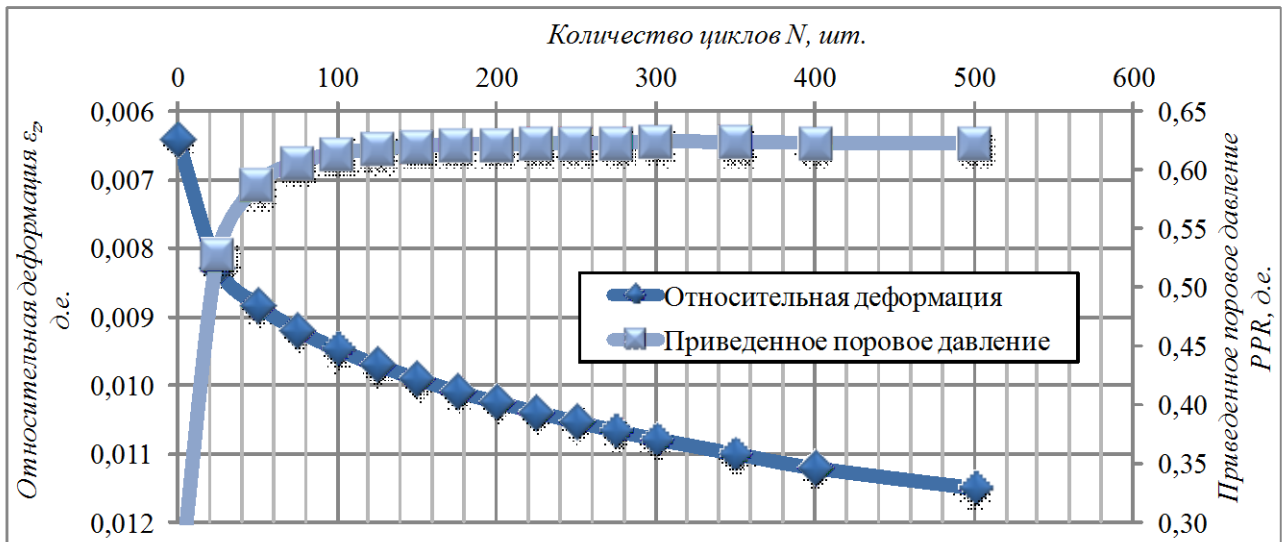
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>p</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Супесь твердая
0,106	0,183	0,112	-0,085	0,071	2,20	1,99	2,66	0,25	0,34	0,84	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>v</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,005	0,005	0,000	0,254	0,002	0,000	0,005	0,000	
	0,010	0,010	0,000	0,305	0,002	0,000	0,010	0,000	
	0,015	0,015	0,000	0,354	0,003	0,000	0,015	0,000	
	0,025	0,025	0,000	0,402	0,003	0,000	0,025	0,000	
	0,045	0,036	0,000	0,443	0,003	0,005	0,039	0,000	
0	0,091	0,036	0,008	0,899	0,006	0,028	0,046	0,231	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,091	0,036	0,019	1,159	0,008	0,028	0,035	0,529	
50	0,091	0,036	0,021	1,236	0,009	0,028	0,033	0,588	
75	0,091	0,036	0,022	1,287	0,009	0,028	0,033	0,606	
100	0,091	0,036	0,022	1,326	0,009	0,028	0,032	0,614	
125	0,091	0,036	0,022	1,358	0,010	0,028	0,032	0,618	
150	0,091	0,036	0,022	1,387	0,010	0,028	0,032	0,621	
175	0,091	0,036	0,022	1,412	0,010	0,028	0,032	0,622	
200	0,091	0,036	0,022	1,434	0,010	0,028	0,032	0,622	
225	0,091	0,036	0,022	1,454	0,010	0,028	0,032	0,622	
250	0,091	0,036	0,022	1,474	0,011	0,028	0,032	0,623	
275	0,091	0,036	0,022	1,492	0,011	0,028	0,032	0,623	
300	0,091	0,036	0,022	1,509	0,011	0,028	0,032	0,624	
350	0,091	0,036	0,022	1,539	0,011	0,028	0,032	0,624	
400	0,091	0,036	0,022	1,568	0,011	0,028	0,032	0,623	
500	0,091	0,036	0,022	1,609	0,011	0,028	0,032	0,623	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброплучести	$K_{вп}$	0,38	Динамически неустойчив

№ Образца

Test\_18

Место отбора

Skv.83\_5,0-5,2m\_suglinok\_10.08.16

Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	10.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,19
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1180

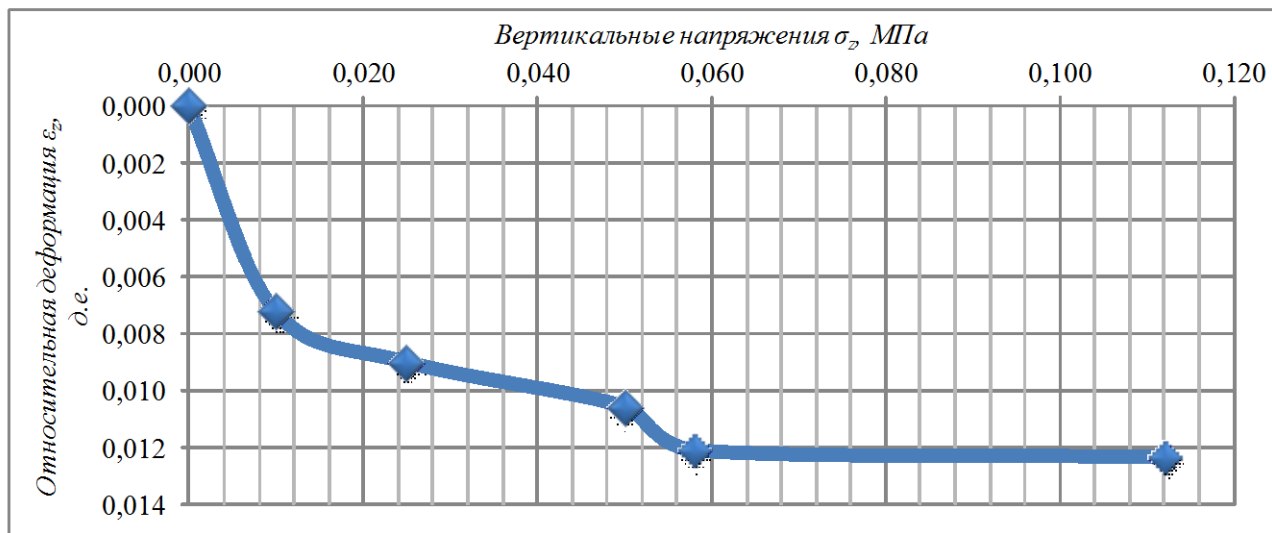
Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>P</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Суглинок твердый
0,124	0,221	0,146	-0,293	0,075	2,19	1,95	2,66	0,27	0,37	0,90	

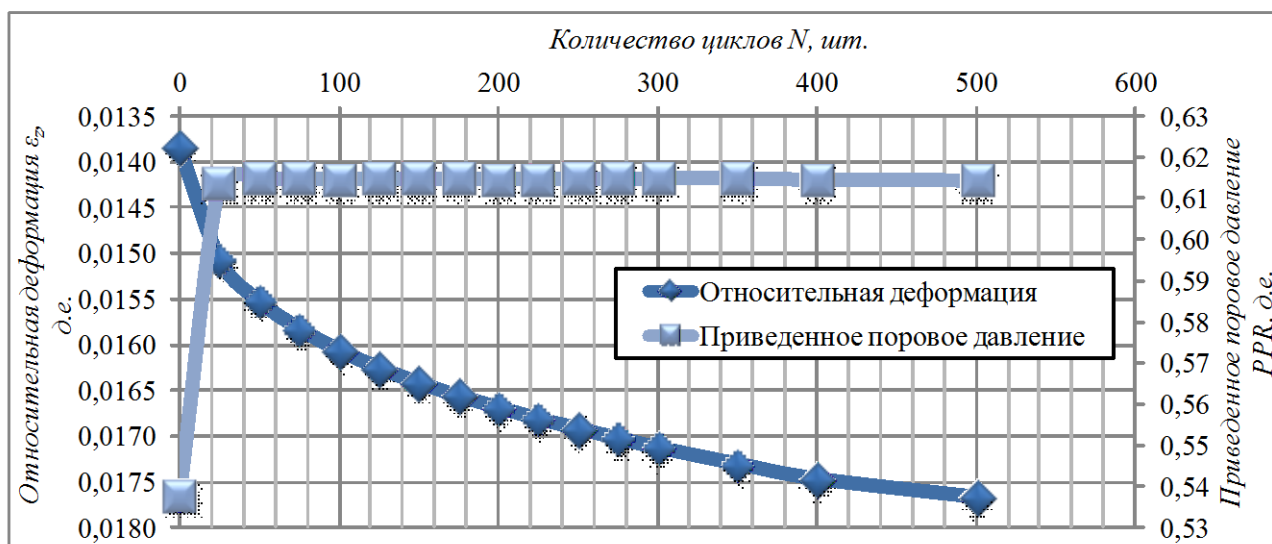
Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,010	0,010	0,000	1,010	0,007	0,000	0,010	0,000	
	0,025	0,025	0,000	1,258	0,009	0,000	0,025	0,000	
	0,050	0,050	0,000	1,475	0,011	0,000	0,050	0,000	
	0,058	0,058	0,000	1,689	0,012	0,000	0,058	0,000	
	0,112	0,091	0,000	1,724	0,012	0,011	0,098	0,000	
0	0,157	0,091	0,049	1,939	0,014	0,033	0,064	0,538	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,157	0,091	0,056	2,110	0,015	0,033	0,057	0,614	
50	0,157	0,091	0,056	2,174	0,016	0,033	0,057	0,615	
75	0,157	0,091	0,056	2,216	0,016	0,033	0,057	0,615	
100	0,157	0,091	0,056	2,249	0,016	0,033	0,057	0,615	
125	0,157	0,091	0,056	2,276	0,016	0,033	0,057	0,615	
150	0,157	0,091	0,056	2,299	0,016	0,033	0,057	0,615	
175	0,157	0,091	0,056	2,319	0,017	0,033	0,057	0,615	
200	0,157	0,091	0,056	2,337	0,017	0,033	0,057	0,615	
225	0,157	0,091	0,056	2,354	0,017	0,033	0,057	0,615	
250	0,157	0,091	0,056	2,369	0,017	0,033	0,057	0,615	
275	0,157	0,091	0,056	2,384	0,017	0,033	0,057	0,615	
300	0,157	0,091	0,056	2,398	0,017	0,033	0,057	0,615	
350	0,157	0,091	0,056	2,423	0,017	0,033	0,057	0,615	
400	0,157	0,091	0,056	2,446	0,017	0,033	0,057	0,615	
500	0,157	0,091	0,056	2,474	0,018	0,033	0,057	0,615	



Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,76	-

№ Образца

Test\_13

Место отбора

Skv.64\_2,6-2,8m\_supes\_08.08.16

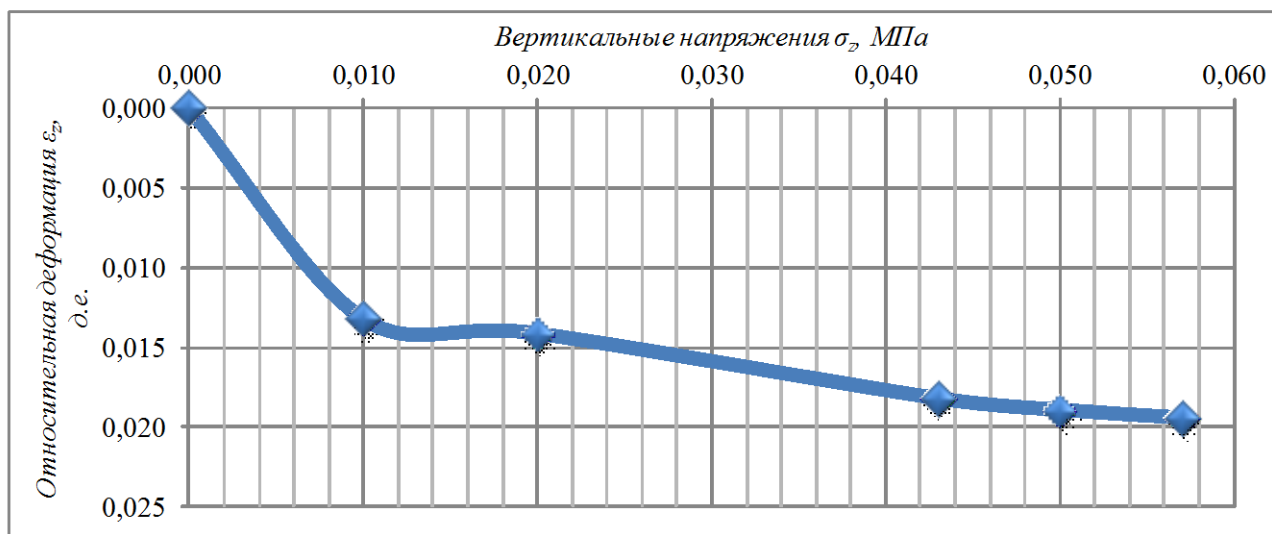
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	08.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,10
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1131

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

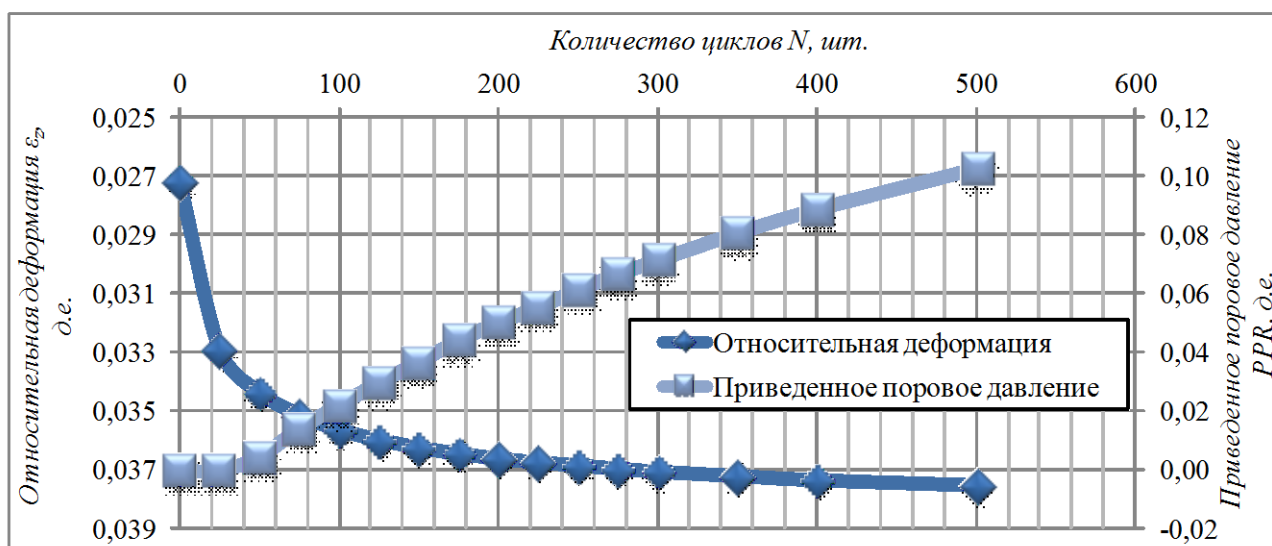
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>P</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>P</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Супесь пластичная
0,147	0,190	0,130	0,283	0,060	2,10	1,83	2,65	0,31	0,45	0,87	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,010	0,010	0,000	1,850	0,013	0,000	0,010	0,000	
	0,020	0,020	0,000	1,980	0,014	0,000	0,020	0,000	
	0,043	0,043	0,000	2,550	0,018	0,000	0,043	0,000	
	0,050	0,043	0,000	2,650	0,019	0,004	0,045	0,000	
	0,057	0,043	0,000	2,720	0,019	0,007	0,048	0,000	
0	0,103	0,032	0,000	3,809	0,027	0,036	0,056	0,000	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,103	0,032	0,000	4,603	0,033	0,036	0,056	0,000	
50	0,103	0,032	0,000	4,808	0,034	0,036	0,056	0,005	
75	0,103	0,032	0,000	4,916	0,035	0,036	0,055	0,014	
100	0,103	0,032	0,001	4,987	0,036	0,036	0,055	0,022	
125	0,103	0,032	0,001	5,035	0,036	0,036	0,055	0,030	
150	0,103	0,032	0,001	5,072	0,036	0,036	0,054	0,037	
175	0,103	0,032	0,001	5,100	0,036	0,036	0,054	0,044	
200	0,103	0,032	0,002	5,125	0,037	0,036	0,054	0,050	
225	0,103	0,032	0,002	5,142	0,037	0,036	0,054	0,055	
250	0,103	0,032	0,002	5,157	0,037	0,036	0,054	0,062	
275	0,103	0,032	0,002	5,172	0,037	0,036	0,054	0,067	
300	0,103	0,032	0,002	5,186	0,037	0,036	0,053	0,071	
350	0,103	0,032	0,003	5,207	0,037	0,036	0,053	0,081	
400	0,103	0,032	0,003	5,227	0,037	0,036	0,053	0,089	
500	0,103	0,032	0,003	5,252	0,038	0,036	0,052	0,103	

## Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



## Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{дл}$	0,65	-

№ Образца

Test\_14

Место отбора

Skv.65\_2,0-2,4m\_supes\_09.08.16

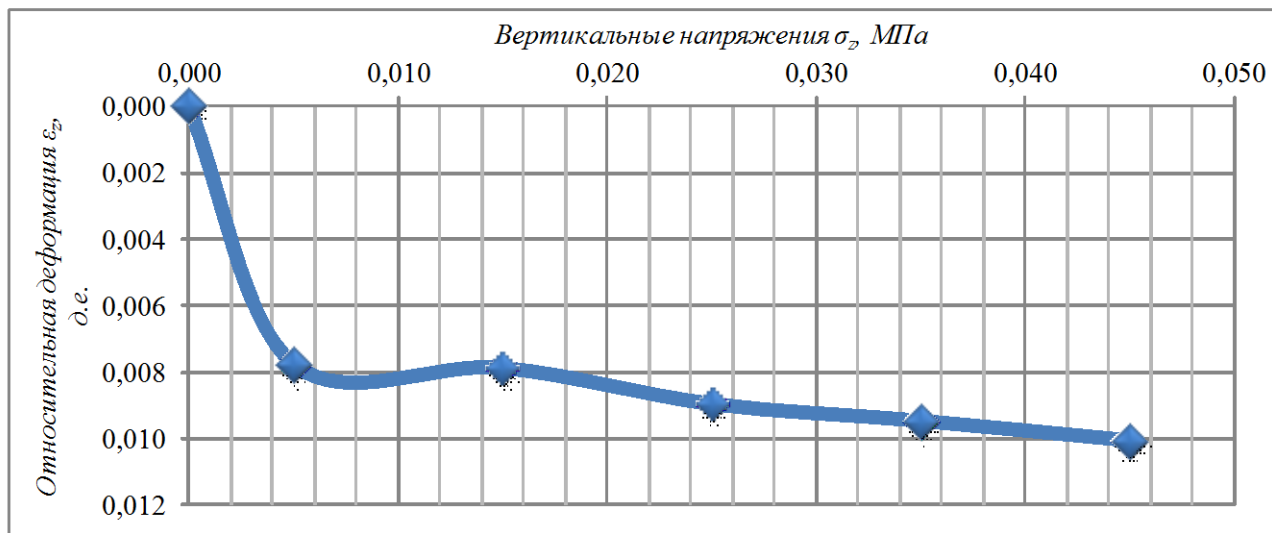
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	09.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,09
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1126

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

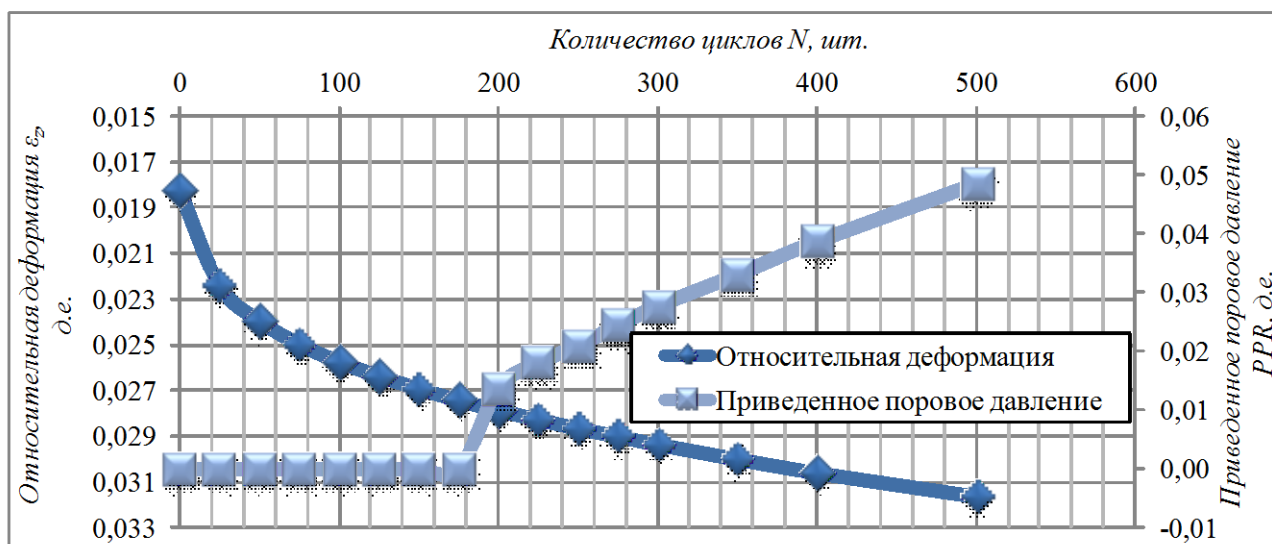
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>p</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	
0,138	0,184	0,125	0,220	0,059	2,09	1,84	2,65	0,31	0,44	0,83	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>v</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,005	0,005	0,000	1,085	0,008	0,000	0,005	0,000	
	0,015	0,015	0,000	1,102	0,008	0,000	0,015	0,000	
	0,025	0,025	0,000	1,254	0,009	0,000	0,025	0,000	
	0,035	0,035	0,000	1,325	0,009	0,000	0,035	0,000	
	0,045	0,039	0,000	1,408	0,010	0,003	0,041	0,000	
0	0,090	0,039	0,000	2,562	0,018	0,026	0,056	0,000	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,090	0,039	0,000	3,141	0,022	0,026	0,056	0,000	
50	0,090	0,039	0,000	3,356	0,024	0,026	0,056	0,000	
75	0,090	0,039	0,000	3,498	0,025	0,026	0,056	0,000	
100	0,090	0,039	0,000	3,605	0,026	0,026	0,056	0,000	
125	0,090	0,039	0,000	3,693	0,026	0,026	0,056	0,000	
150	0,090	0,039	0,000	3,770	0,027	0,026	0,056	0,000	
175	0,090	0,039	0,000	3,840	0,027	0,026	0,056	0,000	
200	0,090	0,039	0,001	3,901	0,028	0,026	0,055	0,014	
225	0,090	0,039	0,001	3,958	0,028	0,026	0,055	0,018	
250	0,090	0,039	0,001	4,011	0,029	0,026	0,055	0,021	
275	0,090	0,039	0,001	4,061	0,029	0,026	0,055	0,024	
300	0,090	0,039	0,001	4,109	0,029	0,026	0,055	0,028	
350	0,090	0,039	0,001	4,199	0,030	0,026	0,055	0,033	
400	0,090	0,039	0,002	4,282	0,031	0,026	0,054	0,039	
500	0,090	0,039	0,002	4,427	0,032	0,026	0,054	0,048	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,43	-

№ Образца

Test\_15

Место отбора

Skv.63\_1,2-1,4m\_supes\_09.08.16

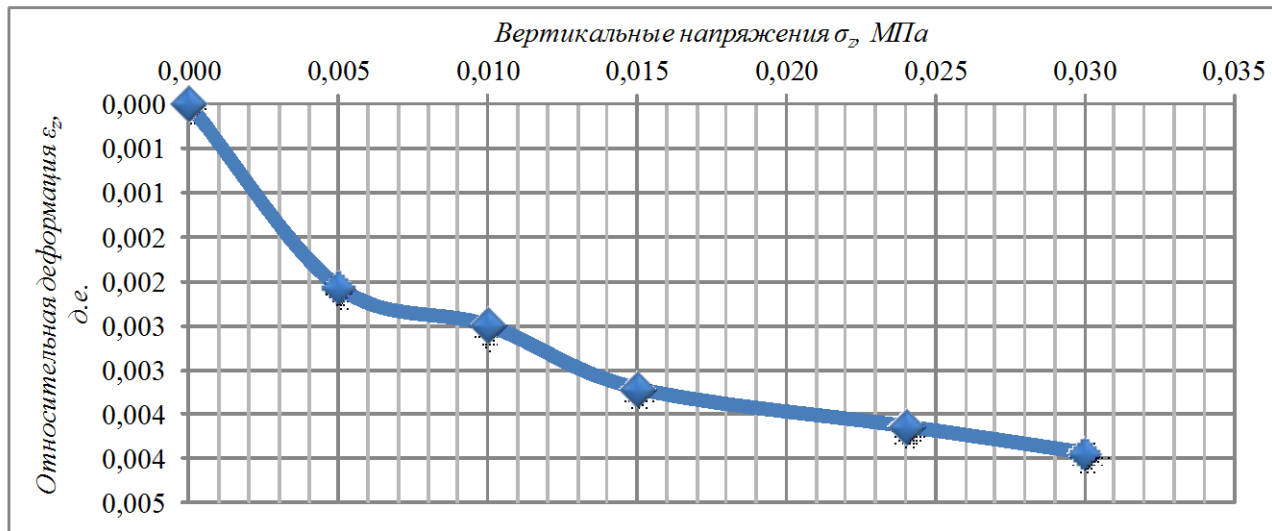
Данные об испытании		Данные об образце грунта	
Схема испытания	Динамическое трехосное сжатие	Высота образца, см	14,00
Схема фильтрации	Консолидированно-недренированное	Диаметр образца, см	7,00
Сведения о замачивании	Естественная влажность	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	38,49
Жидкость для замачивания	-	Объем образца, см <sup>3</sup>	538,80
Дата испытания	09.08.2016	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,10
Прибор	APS Wille LO70-SH0063-S2	Вес образца, г	1131

Показатели	Ситовой анализ							
	Фракции грунта, мм							
	Более 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1
Масса пробы грунта, г	-							
Масса фракции грунта, г	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание фракции, %	-	-	-	-	-	-	-	-

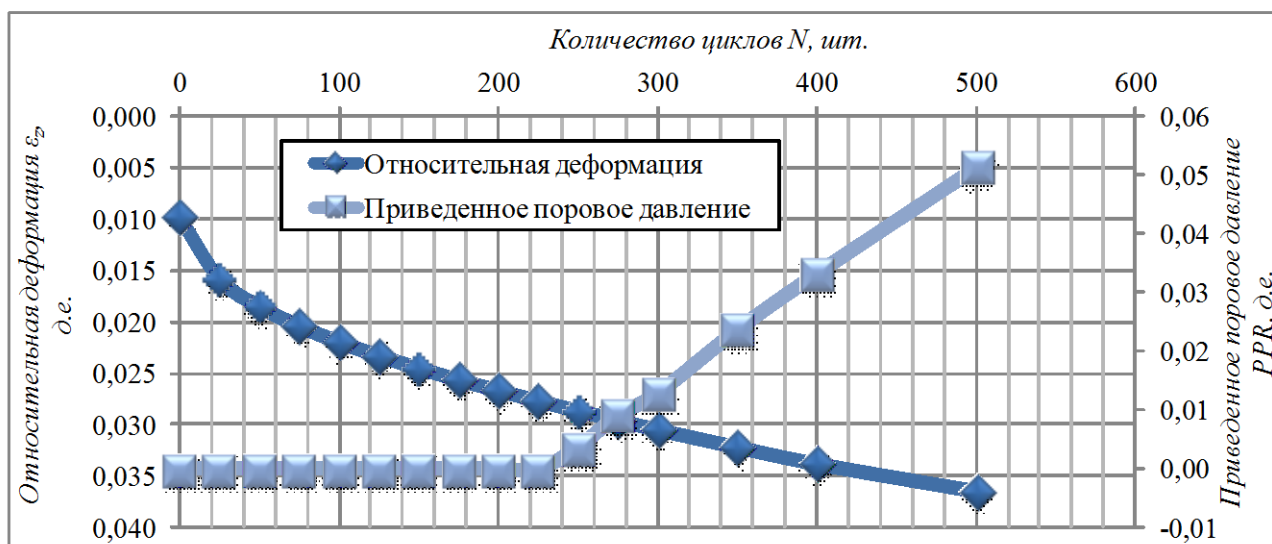
Физические характеристики песчаного грунта											Классификация по ГОСТ 25100
W <sub>e</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	W <sub>P</sub> , д.е.	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>P</sub> , д.е.	ρ, д.е.	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	n, д.е.	e, д.е.	S <sub>r</sub> , д.е.	Супесь пластичная
0,143	0,189	0,125	0,281	0,064	2,10	1,84	2,65	0,31	0,44	0,86	

Время/циклы	Вертикальное напряжение	Горизонтальное напряжение	Поровое давление	Вертикальная деформация	Относительная деформация	Максимальное касательное напряжение	Среднее эффективное напряжение	Приведенное поровое давление	Примечание
	σ <sub>1</sub> , МПа	σ <sub>3</sub> , МПа	u, МПа	Δh <sub>i</sub> , мм	ε, д.е.	q', МПа	p', МПа	PPR, д.е.	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Этап консолидации
	0,005	0,005	0,000	0,289	0,002	0,000	0,005	0,000	
	0,010	0,010	0,000	0,350	0,003	0,000	0,010	0,000	
	0,015	0,015	0,000	0,450	0,003	0,000	0,015	0,000	
	0,024	0,024	0,000	0,510	0,004	0,000	0,024	0,000	
	0,030	0,024	0,000	0,552	0,004	0,003	0,026	0,000	
0	0,075	0,024	0,000	1,372	0,010	0,026	0,041	0,000	Этап циклического нагружения (0,1 Гц)
25	0,075	0,024	0,000	2,212	0,016	0,026	0,041	0,000	
50	0,075	0,024	0,000	2,589	0,018	0,026	0,041	0,000	
75	0,075	0,024	0,000	2,852	0,020	0,026	0,041	0,000	
100	0,075	0,024	0,000	3,070	0,022	0,026	0,041	0,000	
125	0,075	0,024	0,000	3,257	0,023	0,026	0,041	0,000	
150	0,075	0,024	0,000	3,427	0,024	0,026	0,041	0,000	
175	0,075	0,024	0,000	3,584	0,026	0,026	0,041	0,000	
200	0,075	0,024	0,000	3,730	0,027	0,026	0,041	0,000	
225	0,075	0,024	0,000	3,870	0,028	0,026	0,041	0,000	
250	0,075	0,024	0,000	4,005	0,029	0,026	0,041	0,004	
275	0,075	0,024	0,000	4,134	0,030	0,026	0,041	0,009	
300	0,075	0,024	0,000	4,263	0,030	0,026	0,041	0,013	
350	0,075	0,024	0,001	4,501	0,032	0,026	0,040	0,024	
400	0,075	0,024	0,001	4,727	0,034	0,026	0,040	0,033	
500	0,075	0,024	0,001	5,102	0,036	0,026	0,040	0,051	

Зависимость относительных деформаций от вертикального напряжения



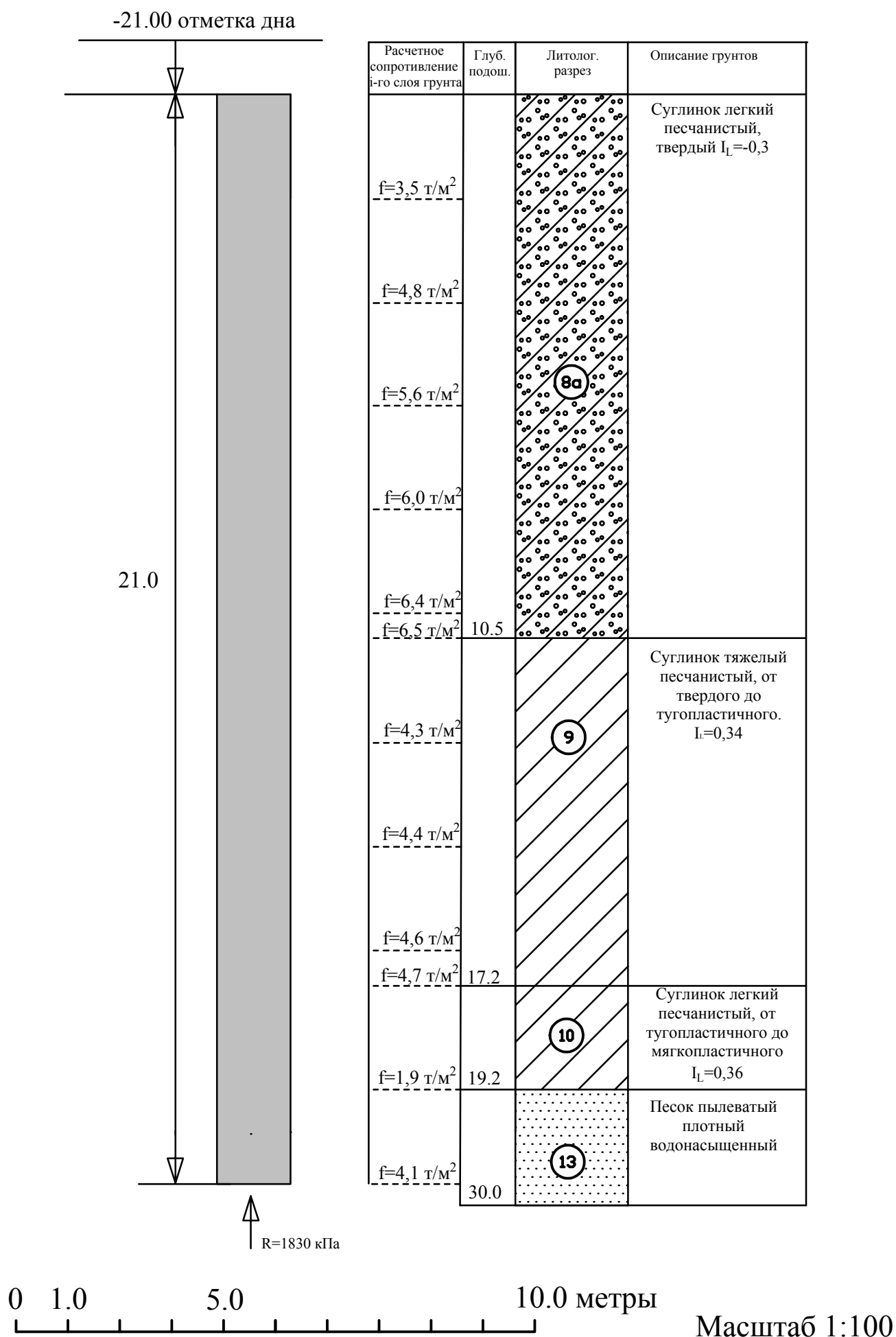
Зависимость относительных деформаций от количества циклов



Наименование характеристики	Обозначение	Значение, д.е.	Примечание
Коэффициент виброползучести	$K_{вп}$	0,13	Динамически неустойчив

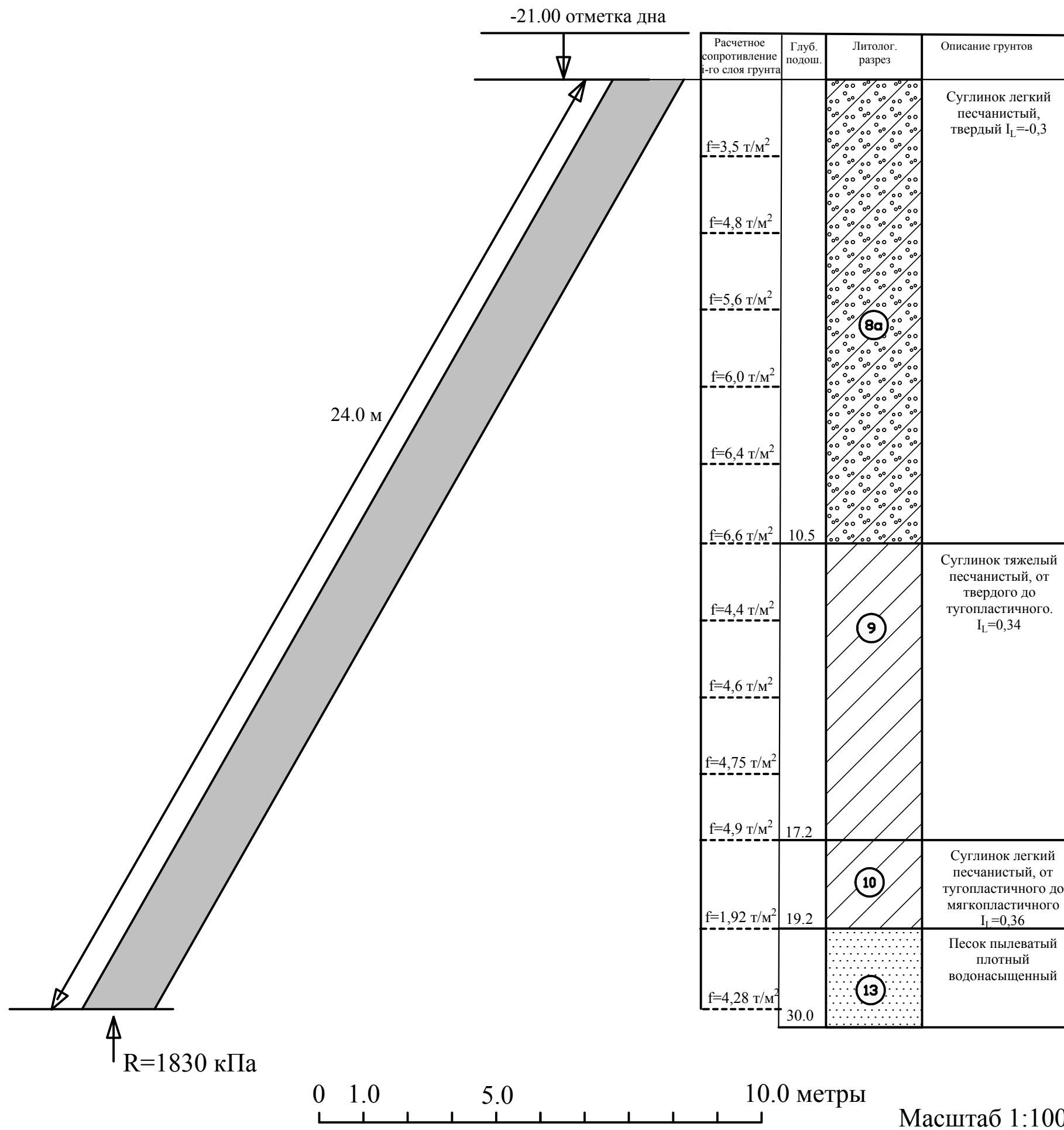
Приложение 4 Расчетная схема определения несущей способности одиночной  
висячей сваи-оболочки

Расчетная схема определения несущей способности вертикальной сваи

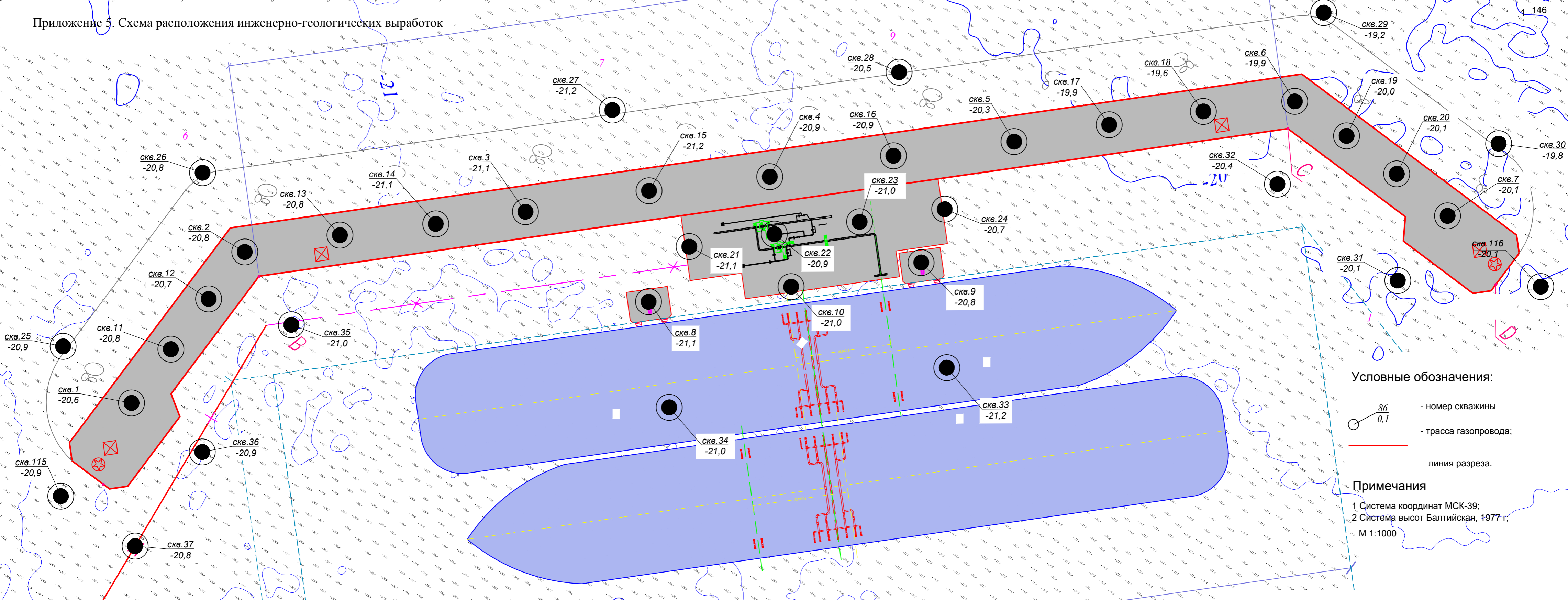




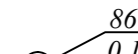


Расчетная схема определения несущей способности наклонной сваи



Приложение 5. Схема расположения инженерно-геологических выработок



Условные обозначения:

-  86  
0,1 - номер скважины
-  - трасса газопровода;
-  линия разреза.

Примечания

- 1 Система координат МСК-39;
  - 2 Система высот Балтийская, 1977 г.
- М 1:1000

## Приложение 6. Геолого- и тологическая колонка скважины

## Скважина 8

Отметка устья: -21,10 м

Дата: 04.06.2016 г.

М 1:200

Геолог. индекс	Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Отметка подошвы слоя, м	Литологический разрез скважины и глубина отбора проб	Описание пород	Появл. воды	Установ. уров. воды
gIII	10,50	10,50	-31,60		<p>Суглинок легкий песчанистый, твердый, на глубине от 0,0 до 0,3 м мягкопластичный, серый, с включениями гравия, дресвы и мелкого щебня от 10 до 15 %, с тонкими линзами и прослоями пылеватого песка, с глубины 2,5 м - с единичной галькой</p>		
					<p>Суглинок тяжелый песчанистый, зеленовато-серый, от полутвердого до тугопластичного, с тонкими линзами пылеватого песка, с прослоями тонкозернистого песчаника плитчатой структуры, низкой прочности, в кровле прослой песчаника, на глубине от 12,5 до 12,7 м - песчаник серый, слаботрециноватый</p>		
Ч	17,20	6,70	-38,30		<p>Суглинок легкий песчанистый, от тугопластичного до мягкопластичного, сетло-серый, с прослоями среднетрециноватого песчаника, низкой прочности, с единичными включениями окомелелостей фауны</p>		
					<p>Песок пылеватый, водонасыщенный, плотный, зеленовато-серый, с прослоями тугопластичного суглинка, с единичными включениями останков белемнитов</p>		