

Санкт-Петербургский государственный университет

Зубков Борис Борисович

Выпускная квалификационная работа

«Сопоставление данных, полученных при испытаниях методом релаксации напряжений и по ГОСТ 12248.4-2020»

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа *ВМ.5798.2022 «Гидрогеология и инженерная геология»*

Научный руководитель:

Доцент с возложенным исполнением
обязанностей заведующего кафедрой
гидрогеологии и инженерной
геологии, к. г.-м. наук

С. Б. Бурлуцкий

Рецензент:

начальник испытательной
грунтовой лаборатории
ОАО Трест ГРИИ

Семенова Лариса Константиновна

Санкт-Петербург

2024

Содержание

Введение	3
Глава 1 Теория и методология исследования	6
1.1. Современные проблемы проведения инженерно-геологических испытаний грунтов и способы их решений.....	6
1.2. Основные методики изучения физико-механических свойств грунтов.....	8
1.2.1 Методики изучения физических свойств грунтов	8
1.2.2. Методики изучения механических свойств грунтов	17
1.3 Методика ГОСТ 12248.4-2020	19
1.4 Методика СТО 60284311-003-2012.....	22
1.5 Технические особенности приборов, используемых при компрессионных испытаниях	23
Глава 2 Лабораторные исследования грунтов	24
2.1 Подготовка грунтов	24
2.2 Исследования грунтов по методу ГОСТ 12248.4-2020.....	27
2.3 Исследования грунтов по методу СТО 60284311-003-2012	30
2.4 Исследования грунтов по методикам ГОСТ 12248.4-2020 СТО 60284311-003-2012	33
Глава 3 Сравнительный анализ данных, полученных при лабораторных испытаниях.....	38
3.1 Метод сравнения	38
3.2 Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020	40
3.4 Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 и методу релаксации напряжений	43
Выводы	46
Список литературы.....	47
Приложение 1 Паспорта испытаний определения механических свойств грунтов	49

Введение

В настоящее время времени компрессионные испытания методом статического ступенчатого нагружения являются основным и наиболее распространенным видом лабораторных испытаний для определения деформационных свойств грунтов. Приборы компрессионного сжатия различных типов присутствуют в каждой лаборатории. В методике критерием выхода на стабилизированную точку является стабилизация деформации. Стабилизация деформации зависит от фильтрационных характеристик грунта, и может быть достаточно длительной, вплоть до нескольких недель.

Данную проблему может решить метод релаксации напряжений, предложенный к.т.н. Александром Николаевичем Труфановым (Научно-исследовательский, проектно-изыскательный и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова)).

Актуальность данной темы связана с рядом факторов. В связи с постоянным ростом темпов строительства в Российской Федерации, объемы инженерно-геологических исследований также постоянно растут, увеличивая нагрузку на инженерно-геологические лаборатории. Снижение данной нагрузки количественными методами (увеличение числа рабочих кадров, приобретение большего количества приборов и пр.) часто невозможно по ряду причин, в том числе и экономических. По этой причине необходимо применение качественных методов снижения нагрузки, а именно - улучшение уже имеющихся методик проведения испытаний или разработка новых методик, с учетом уже имеющегося в лаборатории оборудования, для повышения скорости проведения испытаний или увеличения показателей, снимаемых с одного испытания, без потери точности получаемых данных. Результаты данного исследования помогут решить проблемы работы инженерно-геологических лабораторий России, повысить их производительность без увеличения экономических или временных затрат.

Целью работы является изучение методик ГОСТ 12248.4-2020 и СТО 60284311-003-2012, выявление различий между данными методиками компрессионных испытаний, а также сравнение результатов, полученных при испытаниях грунтов Санкт-Петербурга и Ленинградской области по этим методикам.

Задачами данной работы являются:

- Изучение методик (ГОСТ 12248.4-2020 и СТО 60284311-003-2012).
- Выявление технических особенностей и требований к проведению испытаний по данным методикам.
- Проведение испытаний грунтов по ГОСТ 12248.4-2020.
- Проведение испытаний грунтов по СТО 60284311-003-2012.
- Анализ полученных данных.

Объектом исследований являются методики проведения компрессионных испытаний (ГОСТ 12248.4-2020 и СТО 60284311-003-2012).

Предметом работы будут данные, полученные при испытаниях грунтов данными методами.

Вопрос сравнения методов ГОСТ 12248.4-2020 и метода релаксации грунтов не сильно освещен в научных статьях и в основном заключается в сравнении двух испытаний образцов-близнецов по данным методикам. Такое сравнение встречается в статьях сотрудников Пермского национального исследовательского политехнического университета Колеговой Лианы Юрьевны и Офрихтер Вадима Григорьевича “Метод сокращения сроков компрессионных испытаний грунтов” (Колегова, Офрихтер, 2015а) и “Метод ускорения сроков компрессионных испытаний грунтов” (Колегова, Офрихтер, 2015б). Во введении СТО 60284311-003-2012 указано, что сопоставительные испытания проводились в НИИОСП им. Н. М. Герсевича, а также в МГУ им. М. Ю. Ломоносова и других организациях.

Метод релаксации грунтов подробно описан в статье доцента геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н., генерального директора ООО «Независимая геотехника» Мирного Анатолия Юрьевича и генерального директора ООО НПП «Геотек» Идрисова Ильи Хамитовича “Метод релаксации напряжений” (Мирный, Идрисов, 2020)

В статье директора по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек» Болдырева Геннадия Григорьевича “К определению параметров прочности и деформируемости в компрессионном приборе” (Болдырев, 2016) приведены общие сведения о методиках компрессионных испытаний и представлены разработанные в ООО НПП “Геотек” конструкции компрессионного прибора.

Как видно из обзора статей, в открытых источниках нет сравнения результатов испытаний по методикам ГОСТ 12248.4-2020 и СТО 60284311-003-2012 проведенных с представительной выборкой образцов. Новизна данной работы состоит в том, что было проведено сравнение статистически представительного количества образцов для трех разных слоев грунтов, распространенных в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Данная работа является лишь малой, но необходимой составляющей огромного объема практических и аналитических работ, посвященных поставленной проблеме и, в частности, вопросу модернизации компрессионных испытаний. В связи с этим автор работы выражает благодарность коллективу и генеральному директору Казаку Н.А. ООО "ЛенСтройГеология" за предоставление материально-технической базы и фондового материала; Семенову В.С. за предоставление общих сведений об объектах изучения и регулярные консультации по механике грунтов в ходе исследований; Лаздовской М.А. за предоставление теоретической базы для исследований и регулярные консультации по механике грунтов в ходе исследований; руководителю работы Бурлуцкому С.Б. за организацию проделанной работы.

Глава 1 Теория и методология исследования

1.1. Современные проблемы проведения инженерно-геологических испытаний грунтов и способы их решений

В связи с постоянным ростом темпов строительства в Российской Федерации, объемы инженерно-геологических исследований также постоянно растут, увеличивая нагрузку на инженерно-геологические лаборатории.

Снизить данную нагрузку можно несколькими способами, одним из способов является увеличение штата сотрудников и парка испытательного оборудования и приборов необходимых для проведения испытаний грунтов для определения их физико-механических свойств. Данный способ наиболее простой, так как не требует разработки новых методик и стандартов для увеличения скорости и эффективности проводимых испытаний, а может опираться на уже имеющуюся базу нормативных документов. При этом, необходимо понимать, что расширение штата лаборатории и её оснащения имеет массу негативных сторон для предпринимателя, таких как:

Отсутствие нужного количества готовых кадров и необходимость постоянного обучения уже имеющегося персонала. В современных вузах выделяется крайне малое количество учебных часов для того, чтобы студенты могли в полной мере освоить нормативную документацию и методики проведения лабораторных испытаний, а также последующей обработки полученных в ходе испытаний данных. Студентам хватает времени только для поверхностного ознакомления с методами лабораторных испытаний, что недостаточно для полноценной работы в испытательных лабораториях. Поэтому работодателям приходится дополнительно обучать новых сотрудников непосредственно на рабочем месте. Также работодателю необходимо посылать сотрудников на повышение квалификации не реже одного раза в три года, что также требует финансовых вложений и отрывает сотрудников от рабочего процесса на время прохождения курсов.

Дороговизна испытательных приборов, стоимость некоторых приборов может достигать нескольких миллионов рублей. Необходимо обслуживание и проверка большинства оборудования в испытательной лаборатории. При увеличении количества оборудования на балансе лаборатории, растет и цена на проведение поверок и калибровок, так как каждый прибор поверяется отдельно. Также большое количество оборудования ведет к большому количеству поломок и необходимости замены приборов или оборудования испытательной лаборатории.

Необходимость расширения занимаемых испытательной лабораторией помещений. При увеличении числа сотрудников и парка приборов необходимо будет увеличить площадь, которую занимает испытательная лаборатория, для того чтобы физически разместить новые приборы и рабочие места для новых сотрудников так, чтобы это не противоречило правилам безопасности труда, соответствовало нормам СанПиНа и другим требованиям установленным трудовым законодательством Российской Федерации, так же размещать новые приборы необходимо в соответствии с требованиями к их эксплуатации.

Увеличение количества приборов не ускорит проведение единичного испытания. Увеличение количества приборов позволит увеличить только количество одновременно запускаемых испытаний, при этом не увеличивая скорость проведения данного испытания.

Как итог – серьезное увеличение штата и количества приборов в лаборатории возможно только для больших организаций, готовых вкладывать в развитие своих лабораторий огромные финансовые средства, а также административные ресурсы. Для небольших организаций такой способ развития, очевидно, не подходит в связи с недостатком средств.

Второй способ снизить нагрузку с испытательных лабораторий, не прибегая к увеличению парка приборов и штата организации, это улучшение уже имеющихся методик проведения испытаний или разработка новых методик, с учетом уже имеющегося в лаборатории оборудования, для повышения скорости проведения испытаний или увеличения показателей, снимаемых с одного испытания, без потери точности получаемых данных. Плюсом данного способа является его малая финансовая затратность по сравнению с первым способом, но улучшить существующую методику или разработать новую методику испытаний крайне сложно по нижеследующим причинам:

Требует от персонала лаборатории высокого уровня теоретических научных знаний. Для улучшения методики специалист должен разбираться в теории данной методики и принципах работы оборудования, на котором производится испытание. Для разработки новой методики специалист должен не только прекрасно разбираться в старых методиках, но и иметь теоретическое обоснование для разрабатываемой методики и ее преимуществ относительно старых методик.

Невозможность ввести новую методику без длительных проверок ее состоятельности. Любое нововведение в нормативные документы, не говоря о только что разработанных методиках, всегда проходит длительный цикл обсуждений, тестовых

испытаний, прежде чем быть принятой. Это позволяет не допустить сомнительные методики к использованию в лабораториях, но данная процедура может длиться несколько лет и не факт, что в итоге методику введут.

В итоге можно сказать, что развитие нормативной документации, улучшение и ввод новых методик для увеличения скорости проведения испытаний, без потери точности получаемых данных финансово менее затратный и ведет к снижению нагрузки на испытательные лаборатории за счет ускорения проведения единичного испытания. Данный способ позволит при сравнительно небольшом бюджете увеличить количество проводимых испытаний.

Снижение нагрузки на лаборатории в данный момент актуальная тема для дискуссий и исследований в связи с тем, что в последнее время появляется множество новых методик и стандартов, которые нуждаются в проверке их пригодности к использованию, при постоянном повышении объемов работ. Данная работа проведена для проверки сходимости результатов компрессионных испытаний, полученных по СТО 60284311-003-2012, как нового метода компрессионных испытаний, и по ГОСТ 12228.4-2020, как эталонного метода испытаний грунтов.

1.2. Основные методики изучения физико-механических свойств грунтов

1.2.1 Методики изучения физических свойств грунтов

Проведение испытаний дисперсных глинистых и песчаных грунтов для определения их механических свойств в большинстве случаев требует предварительного определения физических свойств грунтов, как пример, назначение первой ступени нагрузки компрессионного испытания по ГОСТ 12248.4-2020 зависит от коэффициента пористости для песков, а для глинистых грунтов от показателя текучести.

Основным нормативным документом для прямого лабораторного определения физических свойств дисперсных глинистых и песчаных грунтов является ГОСТ 5180-2015, данный стандарт представляет собой перечисление методик и оборудования, необходимого для определения физических характеристик грунтов, рассмотрим часто применяющиеся методики.

Определение влажности (в т. ч. гигроскопической) грунта методом высушивания до постоянной массы

Из образца грунта отбирается проба массой 15-50 г. данная проба в бюксе помещается в сушильный шкаф при температуре 105°C, далее данная проба высушивается до постоянной массы. Загипсованные грунты высушивают при температуре 80°C. Для определения гигроскопической влажности пробу отбирают методом квартования из грунта в воздушно-сухом состоянии, просеянного через сито с сеткой 1 мм, массой 15-20 г.

Достижение постоянной массы определяют взвешиванием пробы грунта через определенное методикой время высушивания, с последующим повторным взвешиванием пробы также после высушивания, разница масс не должна превышать 0,02 г. между двумя последующими взвешиваниями. Для глинистых грунтов время первого высушивания – 5ч, последующие высушивания производят в течении 2 часов, для песчаных грунтов время первого высушивания – 3ч, последующие высушивания производят в течении 1 часа.

Влажность грунта рассчитывается как отношение массы воды к массе сухого грунта по формуле (1):

$$w = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \% \quad (1)$$

где,

m_1 - масса влажного грунта с бюксом, г;

m_0 - масса высушенного грунта с бюксом, г;

m - масса пустого бюкса, г.

(ГОСТ 5180-2015, 2019)

Определение верхнего предела пластичности — влажности грунта на границе текучести методом балансного конуса

Для определения верхнего предела пластичности из образца грунта подготавливается грунтовая паста путем перемешивания грунта шпателем с добавлением дистиллированной воды до получения однородной густой пасты. Включения более 1 мм удаляются путем пропускания пасты через сито с сеткой 1мм. Далее пасту необходимо выдержать не менее двух часов в стеклянном сосуде, после чего еще раз перемешать пасту

и заполнить ей цилиндрическую чашку, загладив поверхность пасты вровень с краями чашки.

Определение верхнего предела пластичности происходит погружением балансировочного конуса в пасту под собственным весом в течении 5 с на глубину 10 мм. В зависимости от исходного состояния пасты ее либо увлажняют добавлением дистиллированной воды, если конус за 5 с не достиг погружения на 10 мм, либо высушивают путем перемешивания шпателем в фарфоровой чашке, если за 5 с конус погрузился глубже чем на 10 мм.

Влажность грунта на границе текучести определяется по методу “Определение влажности (в т. ч. гигроскопической) грунта методом высушивания до постоянной массы”. (ГОСТ 5180-2015, 2019)

Определение нижнего предела пластичности — влажности грунта на границе раскатывания

Для данной методики необходимо подготовить грунтовую пасту тем же способом, что описан в методике “Определение верхнего предела пластичности – влажности грунта на границе текучести методом балансного конуса”.

Данную пасту необходимо раскатать в жгут, который будет начинать распадаться на кусочки длиной 3-10 мм, диаметром около 3 мм. Раскатывание производится либо на пластмассовой пластинке, либо между пальцами одной руки и ладонью другой руки. Получившиеся жгуты помещают в бюксы, масса грунта, необходимая для определения влажности на границе раскатывания, 10-15 г.

Влажность грунта на границе раскатывания определяется по методу “Определение влажности (в т. ч. гигроскопической) грунта методом высушивания до постоянной массы”. (ГОСТ 5180-2015, 2019)

Определение плотности грунта (в т. ч. мерзлого) методом режущего кольца

В зависимости от состояния и наименования грунта подбираются соответствующие размеры кольца-пробоотборника, данные размеры указаны в методике. После выбора кольца, подходящего по параметрам, необходимо вычислить его объем, замерив его характеристики штангенциркулем.

Для определения плотности грунта кольцо-пробоотборник устанавливается на образец и затем вырезается проба грунта постепенно вдавливая кольцо и обрезая излишки грунта, торцы пробы зачищаются вровень с краями кольца и закрываются пластинками.

Плотность грунта вычисляется как отношение массы грунта к внутреннему объему кольца-пробоотборника по формуле (2):

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2)/V, \text{ г/см}^3 \quad (2)$$

где,

m_1 – масса грунта с кольцом и пластинками, г;

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

(ГОСТ 5180-2015, 2019)

Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

Для данного метода необходимо подготовить образец грунта округлой формы объемом не менее 50 см³. Данный образец взвешивают, затем обвязывают ниткой и на несколько секунд погружают в нагретый парафин, повторяя погружение несколько раз до образования плотной парафиновой пленки на образце. Образец в парафине взвешивают на воздухе, а затем взвешивают в сосуде с водой. Для проверки герметичности парафиновой оболочки грунт после взвешивания в воде повторно взвешивают на воздухе, предварительно высушив от воды, если разница между взвешиваниями на воздухе более 0,02 г, то данный образец отбраковывается.

Плотность грунта вычисляют по формуле (3):

$$\rho = \frac{m \rho_p \rho_w}{\rho_p (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m)}, \text{ г/см}^3 \quad (3)$$

где,

m – масса образца грунта до парафинирования, г;

m_1 – масса парафинированного образца грунта, г;

m_2 – результат взвешивания образца в воде – разность масс парафинированного образца и вытесненной им воды, г;

ρ – плотность парафина, принимаемая равной 0,9 г/см³;

ρ_w – плотность воды при температуре испытаний, г/см³.

(ГОСТ 5180-2015, 2019)

Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом

Из образца грунта в воздушно-сухом состоянии отбирается навеска 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра, предварительно грунт просеивают через сито 2 мм, далее навеску высушивают до постоянной массы также как и в методе «Определение влажности (в т. ч. гигроскопической) грунта методом высушивания до постоянной массы», это необходимо для удаления гигроскопической влаги из навески, допускается использовать навеску в воздушно-сухом состоянии для грунта с уже определенной гигроскопической влажностью. После высушивания до постоянной массы навеску взвешивают и помещают в пикнометр заполненный на 1/3 дистиллированной водой. Пикнометр доводят до кипения на песчаной бане и кипятят, в зависимости от грунта, для песков – 30 мин., для суглинков или глин – 1 час. Далее пикнометр заполняют дистиллированной водой и дают остыть до комнатной температуры. После остывания пикнометра в него, при необходимости, добавляется вода до мерной риски, пикнометр взвешивается. Пикнометр освобождается от пробы с водой, моется, далее необходимо заполнить пикнометр дистиллированной водой, и выдержать в ванне с водой при комнатной температуре, затем пикнометр с водой взвешивается.

Плотность частиц грунта вычисляют по формуле (4):

$$\rho_s = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \text{ г/см}^3 \quad (4)$$

где,

m_0 – масса сухого грунта, г;

m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 – масса пикнометра с водой при той же температуре, г;

ρ_w – плотность воды при той же температуре, г/см³

(ГОСТ 5180-2015, 2019)

В общих положениях ГОСТ 5180-2015 указано, что физические характеристики следует определять не менее чем для двух параллельных проб на один образец грунта чтобы избежать ошибок в определении характеристик, для этого в приложении А ГОСТ 5180-2015 указана допустимая разница результатов параллельных определений для представленных выше методик (Таблица 1). При этом значение характеристик вычисляют как среднеарифметическое результатов параллельных испытаний.

Таблица 1. Допустимая разница r результатов параллельных определений

	Влажность грунта w , %				
	до 5	> 5	> 10	> 50	> 100
r , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0
	Влажность грунта на границе текучести w_L , %				
	до 80			80 и более	
r , %	2,0			4,0	
	Влажность грунта на границе раскатывания w_p , %				
	до 40			40 и более	
r , %	2,0			4,0	
	Плотность грунта ρ , г/см ³				
	Песчаные грунты			Глинистые грунты	
r , г/см ³	0,04			0,03	
	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³				
	До 2,75			2,75 и более	
r , г/см ³	0,02			0,03	

Также к прямым методам лабораторных испытаний относится определение гранулометрического (зернового) состава по методике ГОСТ 12536-2014. В данном ГОСТе основными методами определения являются ситовой метод для песков и ареометрический метод для глинистых грунтов.

Определение гранулометрического (зернового) состава грунтов ситовым методом

Перед началом испытания из грунта в воздушно-сухом состоянии методом квартования отбирается проба массой от 50 г до 2000 г в зависимости от вида грунта. Для глинистых песков (с крупностью частиц от 10 до 0,1 мм) применяется ситовой метод с промывкой водой, для грунтов с крупностью частиц от 10 до 0,5 мм применяется ситовой метод без промывки водой.

Для ситового метода необходима ситовая колонна с отверстиями диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм, ситовая колона также включает в себя поддон и крышку. Через колонну, собранную от поддона по мере увеличения размера отверстий, просеивают пробу грунта, взвешивая грунт с каждого сита. При ситовом методе с промывкой водой пробу грунта частями переносят на сито 0,1 мм и промывают до момента, когда вода перестанет быть мутной, далее пробу высушивают в шкафу или на песчаной бане. После того как проба высохнет ее взвешивают, разница масс до промывки и после промывки пробы будет являться массой частиц грунта менее 0,1 мм, далее проба просеивается через ситовую колонну.

Содержание каждой фракции рассчитывается как отношение массы данной фракции грунта к общей массе просеянной пробы грунта и вычисляется по формуле (5):

$$A = \frac{g_{\Phi}}{g_1} \cdot 100, \quad \%, \quad (5)$$

где,

g_{Φ} – масса данной фракции грунта, г;

g_1 – масса средней пробы грунта, взятой для анализа, г

(ГОСТ 12536, 2015)

Определение гранулометрического (зернового) состава грунтов ареометрическим методом

Подготовка пробы для данного метода происходит также как и для ситового метода без промывки водой, для начала пробу просеивают через сита 10; 5; 2; 1 мм, взвешивают грунт с каждого сита и поддона, из грунта, прошедшего через сито 1мм, отбирают навеску около 30г, эту навеску помещают в колбу, добавляют 200 мл дистиллированной воды и добавляют 1 см³ 25%-го раствора аммиака. Колбу с получившейся суспензией кипятят на песчаной бане 30 минут для песчаных грунтов, 1 час для глин и суглинков. Через сито 0,1 мм охлажденную суспензию переливают в цилиндр вместимостью 1 литр. Грунт, оставшийся на сите 0,1 мм, перемещают в фарфоровую чашку и высушивают, далее его просеивают через сита 0,5; 0,25; 0,1 мм, взвешивая грунт с каждого сита, весь грунт, прошедший через сито 0,1 мм перемещают в цилиндр. Чтобы грунт в цилиндре не коагулировал, в суспензию добавляют 5 см³ 4 % пиррофосфорнокислого натрия в качестве стабилизатора. Цилиндр полностью заполняется.

После подготовки цилиндра с суспензией необходимо взболтать суспензию в течении минуты, далее для определения фракций зерен грунта диаметром менее 0,05 мм, более 0,01 мм и более 0,002 мм измеряют плотность суспензии ареометром через 1 минуту, 30 минут, 11 часов после окончания взбалтывания суспензии соответственно. При каждом замере ареометром производится замер температуры суспензии для внесения поправки к отсчету ареометра.

Фракции, размером более 0,5; 0,25; 0,1 мм, рассчитываются по формуле (6):

$$X = \frac{g_n}{g_0} (100 - K)$$

, % (6)

где,

g_n – масса данной фракции грунта, высушенной до постоянной массы, г;

g_0 – масса абсолютно сухой средней пробы грунта (взятой для ареометра), г;

K – суммарное содержание фракции грунта размером более 1,0 мм, %.

Фракции, размером менее 0,05 мм, более 0,01 мм и более 0,002 мм, рассчитываются по формуле (7):

$$X = \frac{\rho_s \cdot R_{\Pi}}{(\rho_s - \rho_w) \cdot \rho_0} (100 - K) \quad , \% \quad (7)$$

где,

R_{Π} – показания ареометра с поправками;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_w – плотность воды, равная 1 г/см³;

g_0 – масса абсолютно сухой средней пробы грунта, г;

K – суммарное содержание фракции грунта размером более 1,0 мм, %. (ГОСТ 12536, 2015)

Помимо прямых лабораторных методов определения физических свойств грунтов также применяются расчетные методы определения физических характеристик грунтов. ГОСТ 5180-2015 помимо прямых методик, упомянутых в данной работе ранее, содержит важную расчетную методику, а именно «Определение плотности скелета (сухого) грунта расчетным методом».

Плотность сухого грунта вычисляют по формуле (8):

$$\rho_d = \rho / (1 + 0.01w), \text{ г/см}^3 \quad (8)$$

где,

ρ – плотность грунта, г/см³;

w – влажность грунта, %.

(ГОСТ 5180-2015, 2019)

Также, в ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» в приложении А «Основные показатели состава и свойств грунтов» указаны формулы для расчета характеристик, необходимых для проведения механических испытаний.

1.2.2. Методики изучения механических свойств грунтов

Методики изучения механических свойств грунтов позволяют получить прочностные и деформационные характеристики грунтов.

Одной из самых распространенных методик изучения прочностных характеристик является методика ГОСТ 12248.1-2020 «Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза». Данным методика позволяет определять эффективные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления.

Для проведения консолидированно-дренированного испытания образец грунта необходимо предварительно уплотнить при нормальном давлении, равному нормальному давлению при проведении испытания, также необходимо привести образец в водонасыщенное состояние.

После уплотнения грунта его помещают в срезной прибор и подают на него ту же нормальную нагрузку, что и при уплотнении, в течении определенного времени, в зависимости от типа грунта, образец выдерживается под данной нагрузкой. После на образец в приборе создается горизонтальное сдвигающие нагрузка, постоянно увеличиваясь. Во время подачи горизонтальной нагрузки постоянно фиксируется горизонтальная нагрузки и деформации среза

Как сказано в п.8.20 ГОСТ 12248.1-2020 «При проведении одноплоскостного среза в кинематическом режиме за окончание испытаний принимают момент, когда срезающая нагрузка достигнет максимального значения, после чего наблюдается некоторое ее снижение или установление постоянного значения, или относительная деформация образца превысит 10 % (в зависимости от того, что наступит раньше).» (ГОСТ 12248.1, 2020)

По полученным значениям строят график зависимости $\tau=f(\sigma)$

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C определяют как параметры линейной зависимости $\tau=\sigma\text{tg}\varphi+C$.

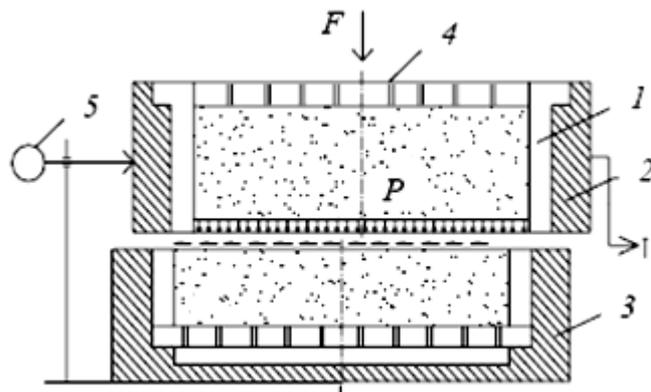


Схема срезного прибора (Рис.1)

Рис. 1. Схема сдвигового прибора:

1 – рабочее кольцо сдвигового прибора; 2 – подвижная обойма прибора; 3 – неподвижная обойма сдвигового прибора; 4 – перфорированный штамп; 5 – индикатор.

Для получения деформационных характеристик самым распространенной методикой является ГОСТ 12248.4-2020 «Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия». Результаты, полученные по данной методике, будут статистически сравниваться с результатами испытаний по методу релаксации напряжений.

Ниже представлено краткое описание методик.

1.3 Методика ГОСТ 12248.4-2020

ГОСТ 12248.4-2020 был принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 31 августа 2020 г., введен в действие с 1 июня 2021г. в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2020 г. ГОСТ 12248.4-2020 был разработан научно-исследовательским, проектно-изыскательским и конструкторско-технологическим институтом оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова) АО «НИЦ «Строительство». ГОСТ 12248.4-2020 был принят взамен подраздела 5.4 ГОСТ 12248-2010.

В основе данного метода лежит принцип стабилизации грунта под статичной нагрузкой, подаваемой ступенями.

Давление первой ступени нагрузки определяется по коэффициенту пористости для песков и по показателю текучести для глинистых грунтов, Табл. 1, Табл. 2 ГОСТ 12248.4-2020 (рис. 2), последующие ступени назначаются путем удвоения значения нагрузки предыдущей ступени, либо, согласно п.9.3 ГОСТ 12248-2020, давление ступеней нагрузки образца определяется заданием. Значение последней ступени рассчитывается как сумма эффективного напряжения от собственного веса грунта и проектируемой нагрузки от сооружения.

Таблица 1 — Значение первой ступени давления в зависимости от коэффициента пористости

Коэффициент пористости e	$e \geq 1,0$	$1,0 > e \geq 0,75$	$0,75 > e > 0,6$	$e \leq 0,6$
Первая ступень давления σ_1 , МПа	0,005	0,0125	0,025	0,05

Таблица 2 — Значение первой ступени давления в зависимости от показателя текучести

Показатель текучести I_L	$I_L \geq 1,0$	$1,0 > I_L \geq 0,75$	$0,75 > I_L > 0,5$	$0,5 > I_L > 0,25$	$I_L < 0,25$
Первая ступень давления σ_1 , МПа	0,005	0,0125	0,025	0,05	0,1

Рис. 2 Таблицы значений первой ступени для песков и глинистых грунтов.

В зависимости от типа грунта стабилизация грунта под нагрузкой на одну ступень может занять длительное время, от нескольких десятков минут у песков, до недели у глинистых грунтов с высоким содержанием органической составляющей (например, заторфованные суглинки), из-за низких фильтрационных характеристик самих глинистых грунтов и высокой влагоемкости органического вещества. Под стабилизацией грунта понимают время завершения 100%-ной фильтрационной консолидации.

Также для водонасыщенных грунтов за критерий условной стабилизации деформации водонасыщенных грунтов допускается принимать приращение деформации образца, не превышающее 0.05 % за время, указанное в таблице 3 ГОСТа 12248-2020 (рис.3).

Таблица 3 — Время условной стабилизации деформации образца

Грунты	Время условной стабилизации деформации образца, ч
Пески	0,5
Глинистые:	
- супеси	3
- суглинки с $I_p < 12 \%$	6
- суглинки с $I_p \geq 12 \%$	12
- глины с $I_p < 22 \%$	12
- глины с $I_p \geq 22 \%$	18
Органоминеральные и органические	24
Примечание — Время условной стабилизации деформации образцов крупнообломочных грунтов принимается по составу заполнителя.	

Рис. 3 Время условной стабилизации деформации образца

В результате испытания, строится график зависимости относительной вертикальной деформации образца от вертикального напряжения (давления на образец). Далее в заданном интервале давлений определяют одометрический модуль деформации.

В п.6, ГОСТ 12248-2020, приведен список необходимого оборудования для проведения испытания.

«В состав установки для испытания грунта методом компрессионного сжатия должны входить:

- компрессионный прибор (одометр), включающий рабочее кольцо, корпус, перфорированный
- вкладыш, перфорированный штамп и поддон для сбора, отвода и подачи воды;
- механизм для вертикального нагружения образца грунта;
- устройство для измерения вертикальных деформаций образца грунта.

В компрессионном приборе дополнительно может быть предусмотрена возможность измерения порового давления с одного из торцов образца и бокового давления грунта на стенки рабочего кольца.

Конструкция компрессионного прибора должна обеспечивать:

- герметичность деталей прибора;
- центрированную передачу нагрузки на штамп;
- первоначальную нагрузку на образец от штампа и закрепленных на нем измерительных приборов не более 0,0025 МПа;
- перфорация вкладыша и штампа должна обеспечивать свободный отток отжимаемой воды из образца.

Погрешности измерений (усилий, давлений, перемещений) для всех измерительных устройств принимаются в соответствии с требованиями ГОСТ 30416. Воздействия на образец (усилия, давления, перемещения) должны создаваться с точностью не менее 5 % от требуемой величины воздействия.

Измерительные устройства (приборы) должны обеспечивать измерения с дискретностью (ценой деления для механических, разрешающей способностью для электронных) не менее:

- при измерении вертикальной нагрузки на образец – 2 % от максимальной нагрузки при испытании;
- при измерении вертикальной деформации – не более 0,05 % от начальной высоты образца.

Компрессионные приборы тарируют на сжатие с помощью металлического вкладыша, снабженного такими же фильтрами, как и при основных испытаниях. Максимальное давление при тарировке принимают в зависимости от конструкции прибора и предельных нагрузок при испытаниях, но не менее 1,0 МПа, нагружение проводят ступенями по 0,05 МПа на первых двух ступенях и далее по 0,1 МПа с выдержкой по 2 мин.

Допускается проведение тарировки ступенями нагрузок, заданными программой испытания.» (ГОСТ 12248.4, 2020).

1.4 Методика СТО 60284311-003-2012

ГОСТ 12248.4-2020 в п.8.1 позволяет проводить компрессионные испытания грунтов в режимах задаваемых перемещений (метод релаксации напряжений).

«Суть метода релаксации напряжений (МРН) состоит в том, что в отличие от метода компрессионных испытаний по ГОСТ 12228.4-2020 при ступенчатом нагружении поддерживается постоянная величина деформации, а не постоянная величина давления на образец. Поддерживая постоянную величину деформации, можно наблюдать релаксацию напряжений. Релаксация напряжений — это процесс постепенного снижения напряжений при постоянном значении деформаций.» (Мирный, Идрисов, 2020).

При достижении определенной величины деформации происходит принудительное деформирование образца – частички грунта смещаются между собой и уплотняются. В то же время увеличивается давление в поровой жидкости – возникает избыточное напряжение. Поровая жидкость отжимается из грунта, и вместе с ней рассеивается поровое давление, изменяется (уменьшается) напряжение. Достижение постоянной скорости снижения напряжений (окончания релаксации) соответствует переходу от фильтрационной релаксации (за счет изменения порового давления) к релаксации ползучести (за счет перестроения скелета грунта). Данная точка может считаться принадлежащей компрессионной кривой. Испытание проводится несколькими ступенями, в результате получается массив точек принадлежащей компрессионной кривой, в дальнейшем обработка которых выполняется любым стандартным способом (рис. 4).

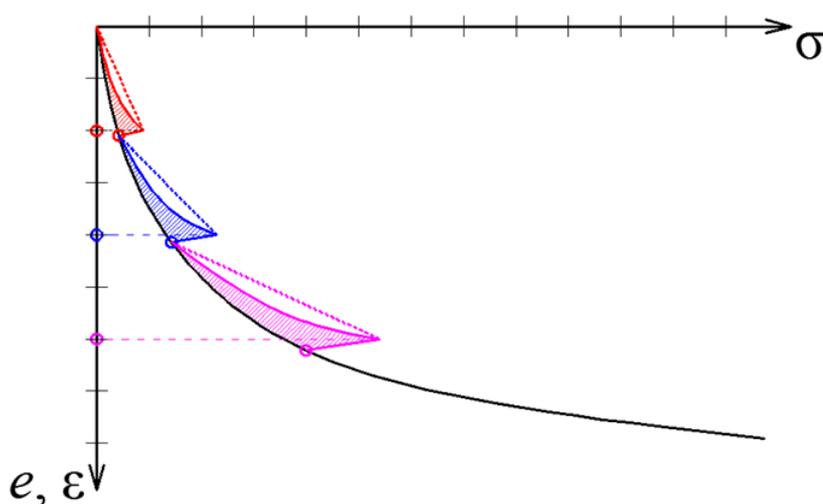


Рис. 4. Пример аппроксимации результатов испытания по методу релаксации напряжений в компрессионную кривую на графике зависимости относительной вертикальной деформации (ϵ) от напряжения (σ) (Мирный, Идрисов, 2020)

1.5 Технические особенности приборов, используемых при компрессионных испытаниях

По сравнению с классическим методом компрессионных испытаний, работа методом релаксации напряжений накладывает определенные требования к приборам.

Прибор компрессионного сжатия должен иметь возможность деформировать образец с постоянной скоростью (кинематический режим испытаний). Большинство приборов, произведенных более 15 лет назад, использовали пневматический привод. Более ранние приборы используют подобный пневматическому грузорычажный способ создания давления. Ни пневматический, ни тем более грузорычажный привод не могут задать нам определенную деформацию. Только определенное усилие.

Также рама прибора должна обладать высокой жесткостью конструкции: при принудительной деформации образца также деформируются элементы рамы и динамометр (элемент измерения давления).

Следует отметить, что на момент написания данной работы методика проведения испытания в режиме релаксации напряжений, в том числе значения ступеней деформирования и скорость условной стабилизации напряжений для разных типов пород, описана только СТО 60284311-003-2012. Доступ к данному нормативному документу возможен только после приобретения лицензии у правообладателя.

Глава 2 Лабораторные исследования грунтов

2.1 Подготовка грунтов

Для проведения испытаний грунта методиками ГОСТ 12248.4-2020 и методом релаксации грунта были выбраны три характерных для Санкт-Петербурга и Ленинградской области слоя, а именно:

Верхневендские отложения – V_{2kt}

Отложения представлены дислоцированными глинами твердой консистенции, с щебнем и дресвой песчаника.

Образцы отобраны на глубине от 29 м до 36 м.

Среднечетвертичные ледниковые отложения – g Q II

Представлены пылеватыми супесями твердой консистенции, с включениями гравия, гальки и валунов, с гнездами и прослоями песков

Образцы отобраны на глубине от 13 м до 28 м.

Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения – lg Q III

Отложения представлены текучими, текучепластичными ленточными и слоистыми тяжелыми и легкими суглинками, пластичными пылеватыми супесями, песками пылеватыми плотными. Глинистые грунты - тиксотропные, с прослоями песков. В супесях встречается редкий гравий, галька.

Образцы отобраны до глубины 12 м.

Подготовка образцов для обеих методик проводится в соответствии с п.5.1.1-5.1.8 ГОСТа 30416-2020

«Для изготовления образца грунта применяют следующие оборудование и материалы:

- кольцо режущее (цилиндрическая форма с режущим краем, рабочее кольцо прибора для испытаний);
- пластинки гладкие (стекло, металл и т.п.);
- пресс винтовой, или пневматический, или др.;
- насадка для вдавливания колец;

- выталкиватель для извлечения образца из кольца;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- лопатка плоская;
- нож с прямым лезвием;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104, технические с точностью взвешивания не менее 0,01 г.

Размеры режущего кольца выбирают в зависимости от метода испытаний и применяемого оборудования. Режущее кольцо перед употреблением должно быть проверено: при помещении кольца торцами на гладкую пластинку не должно быть видимых зазоров между краем кольца и пластинкой.

Образец грунта изготавливают в следующем порядке:

- режущее кольцо смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки;
- кольцо ставят режущим краем на выровненную и зачищенную горизонтальную поверхность монолита грунта и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавливают в грунт, обозначая границу образца для испытаний;
- грунт снаружи кольца обрезают на глубину от 5 до 10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1-2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта, легким нажимом надвигают кольцо на столбик грунта, не допуская перекоса, до полного заполнения кольца. Образование зазоров между грунтом и рабочим кольцом не допускается. В грунт (сыпучий или пластичный), из которого не удастся вырезать столбик, кольцо вдавливают и удаляют грунт вокруг кольца;
- верхний торец образца зачищают ножом вровень с краем кольца и накрывают пластинкой;
- подрезают столбик грунта на 10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его. При вдавливании кольца подхватывают его снизу плоской лопаткой;
- переворачивают кольцо, зачищают другой торец образца вровень с краем кольца и также накрывают пластинкой.

При необходимости образец извлекают из кольца с помощью выталкивателя, измеряют диаметр образца в трех поперечных сечениях и высоту не менее чем по трем образующим. За начальную высоту и диаметр образца принимают их среднеарифметические значения. Образец взвешивают.

При изготовлении образцов мерзлого грунта ненарушенного сложения предварительно выпиливают из монолита заготовки в виде призм, размеры основания и высота которых должны превышать требуемые размеры образцов. Нарезанные заготовки подбирают в группы с идентичной криогенной текстурой. Все операции по изготовлению образцов мерзлого грунта необходимо проводить в утепленных перчатках. Подготовленные образцы мерзлого грунта герметизируют (например, полиэтиленовой пленкой) и помещают в эксикатор, находящийся в помещении с отрицательной температурой воздуха. Дно эксикатора должно быть покрыто льдом или снегом. Подготовленные образцы мерзлого грунта допускается хранить не более 30 сут. при условии обеспечения контроля сохранения массы образца перед испытанием. Подготовленные к испытаниям образцы мерзлых грунтов следует хранить при температуре, не превышающей температуры испытаний. Подготовленные образцы, потерявшие за время хранения более 0,1% массы, до испытаний не допускаются. Непосредственно перед испытанием образцы мерзлого грунта выдерживают не менее 12 ч в установке для испытаний при температуре испытания. Образцы мерзлого грунта массой более 1 кг выдерживают перед испытанием при температуре испытания не менее 24 ч.» (ГОСТ 30416, 2021).

Расчет секущего модуля деформации (E_{oed}) произведен в интервале 0,1-0,2 МПа, в соответствии с п. 5.3.7 СП 22.13330.2016.

«Для окончательных расчетов оснований сооружений пониженного уровня ответственности допускается определять значения модуля деформации E грунтов сжимаемой толщи по результатам компрессионных испытаний на основе зависимости (формула 9):

$$E = m_{oed} E_{oed} \quad (9)$$

Где,

E_{oed} – значение одометрического модуля деформации, определяемое в соответствии с ГОСТ 12248.4 в интервале давлений 0,1-0,2 МПа;

m_{oed} – повышающий коэффициент, принимаемый для четвертичных глинистых грунтов с показателем текучести $0 < I_L \leq 1$ » (СП 22.13330, 2016)

Все испытания были проведены автором в период 2022-2024 годов на технико-материальной базе испытательного лабораторного центра ООО «ЛенСтройГеология».

2.2 Исследования грунтов по методу ГОСТ 12248.4-2020

Результаты испытаний грунтов по методу ГОСТ 12248.4-2020 представлены на сводных графиках 1, 2, 3, расчеты в соответствии с ГОСТ 12248.4-2020 представлены в таблицах 2, 3, 4

График 1. Сводный график компрессионных кривых слоя V_{2kt_2} по методике ГОСТ 12248.4-2020

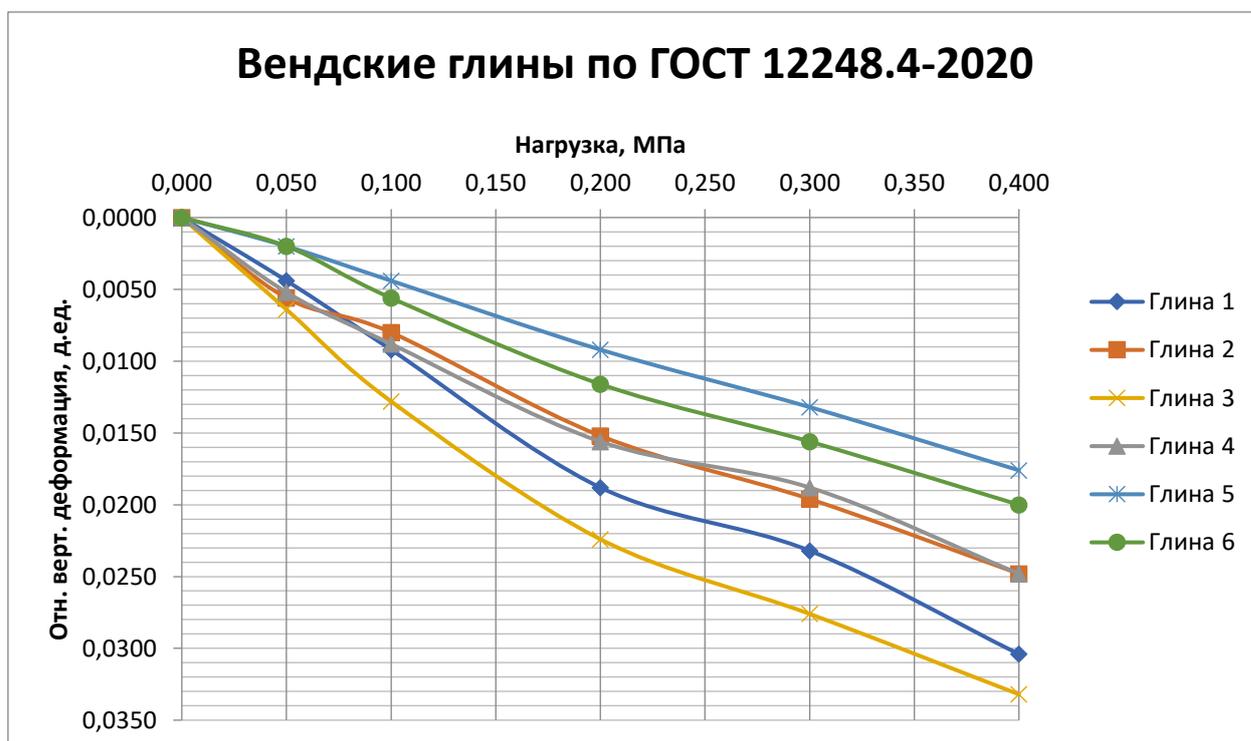


График 2. Сводный график компрессионных кривых слоя g Q II по методике ГОСТ 12248.4-2020

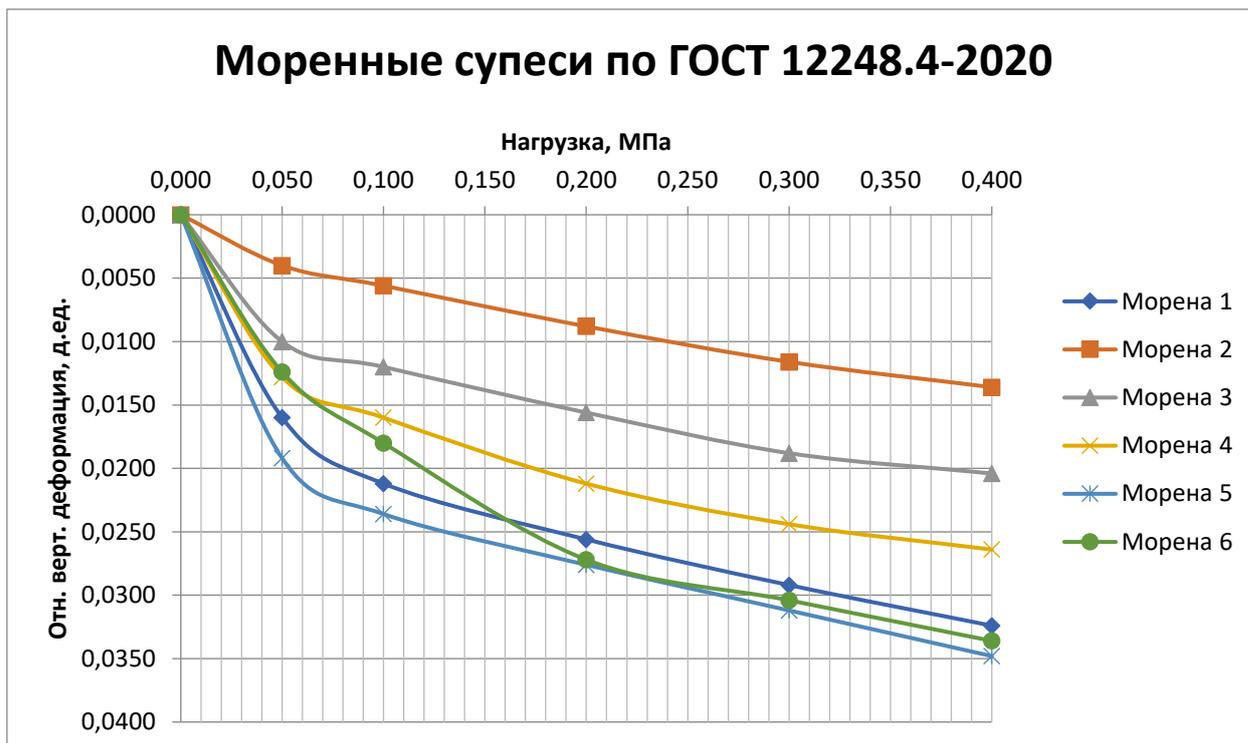
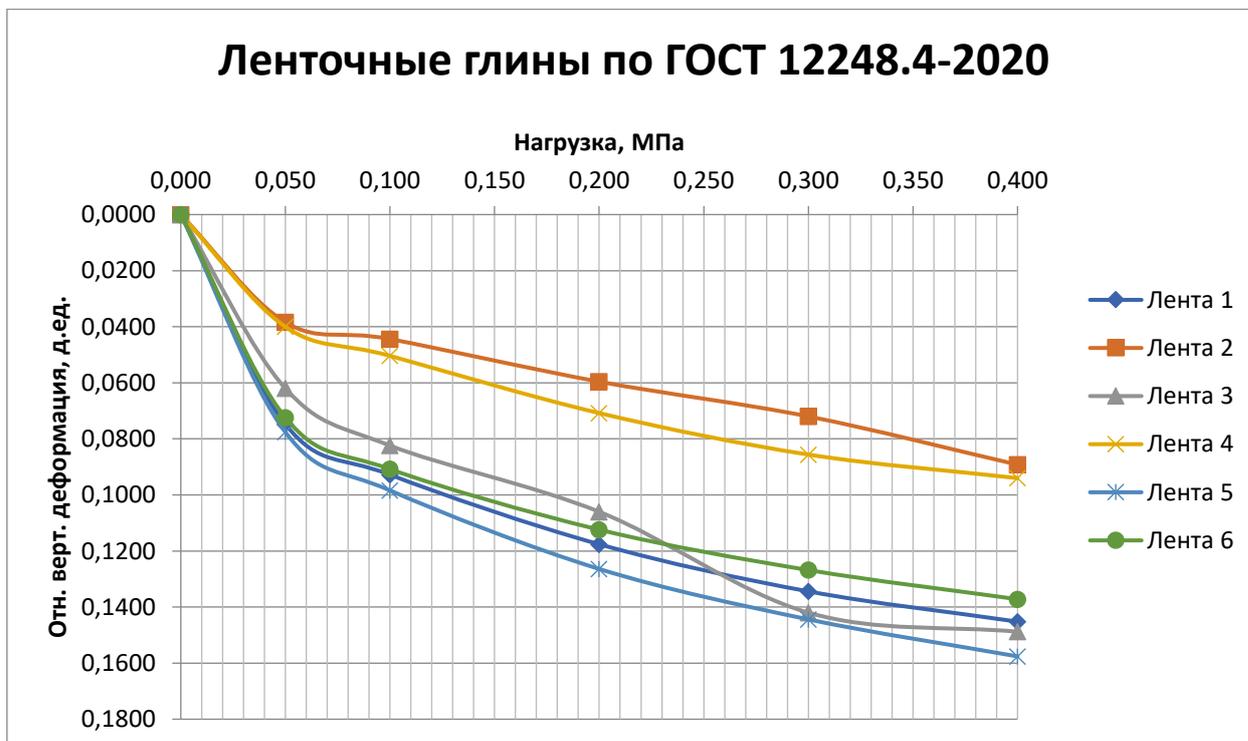


График 3. Сводный график компрессионных кривых слоя lg Q III по методике ГОСТ 12248.4-2020



Секущий модуль деформации E_{oed} рассчитан в соответствии с п.10.4 ГОСТ 12248.4-2020, E_{oed} рассмотрен в интервале 0,1-0,2 МПа, данный интервал выбран в соответствии с п. 5.3.7 СП 22.13330.2016.

Таблица 2. Сводная таблица результатов испытаний слоя V_2kt_2 по методике ГОСТ 12248.4-2020

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
V_2kt_2	Глина 1	10,4
	Глина 2	13,9
	Глина 3	10,4
	Глина 4	14,7
	Глина 5	20,8
	Глина 6	16,7

Таблица 3. Сводная таблица результатов испытаний слоя g Q II по методике ГОСТ 12248.4-2020

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
g Q II	Морена 1	22,7
	Морена 2	31,3
	Морена 3	27,8
	Морена 4	19,2
	Морена 5	25,0
	Морена 6	10,9

Таблица 4. Сводная таблица результатов испытаний слоя lg Q III по методике ГОСТ 12248.4-2020

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
lg Q III	Лента 1	4,0
	Лента 2	6,6
	Лента 3	4,2
	Лента 4	4,9
	Лента 5	3,6
	Лента 6	4,6

2.3 Исследования грунтов по методу СТО 60284311-003-2012

Результаты испытаний грунтов по методике СТО 60284311-003-2012 представлены на сводных графиках 4, 5, 6, расчеты в соответствии с ГОСТ 12248.4-2020 представлены в таблицах 5, 6, 7

График 4. Сводный график компрессионных кривых слоя V_{2kt_2} по методике СТО 60284311-003-2012

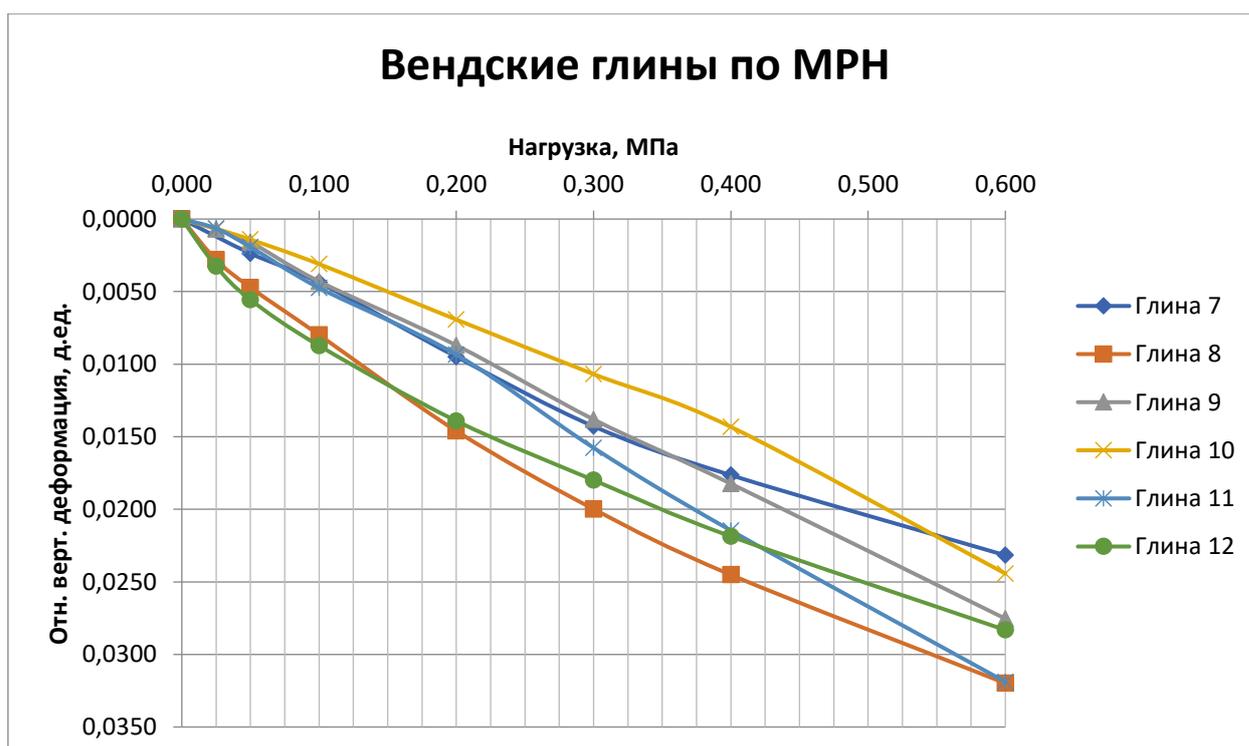


График 5. Сводный график компрессионных кривых слоя g Q II по методике СТО 60284311-003-2012

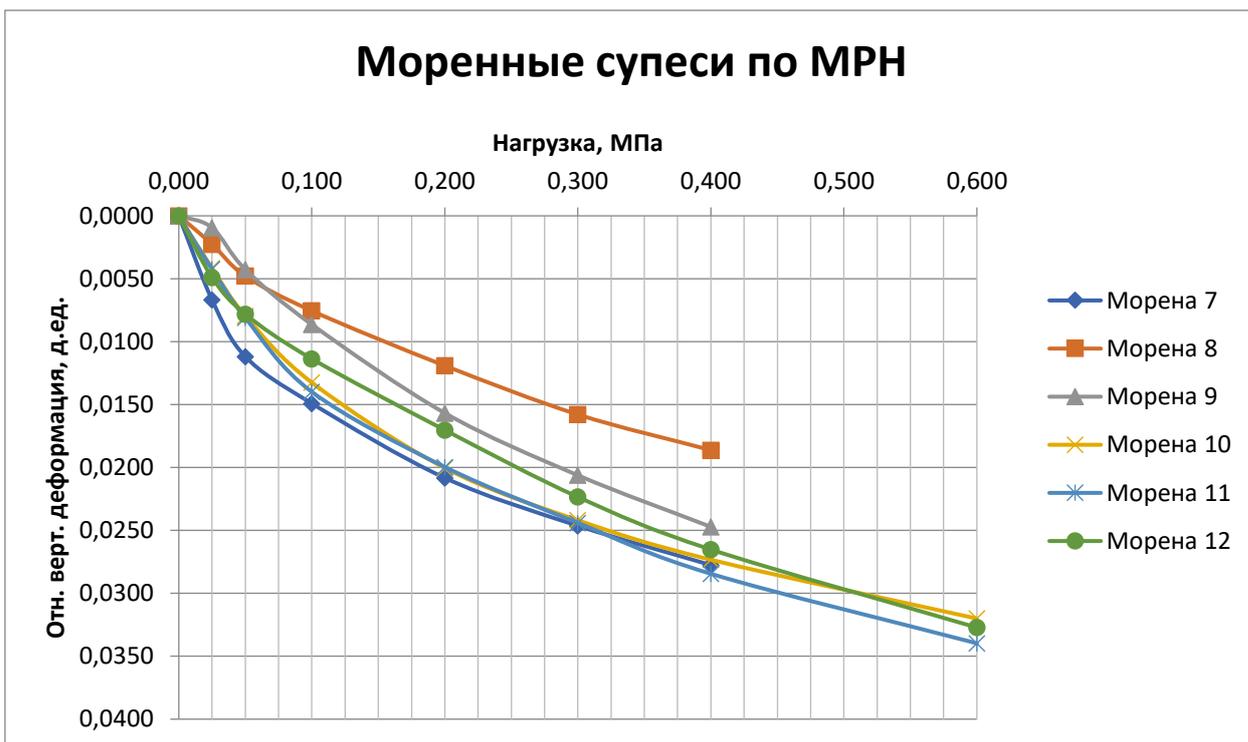
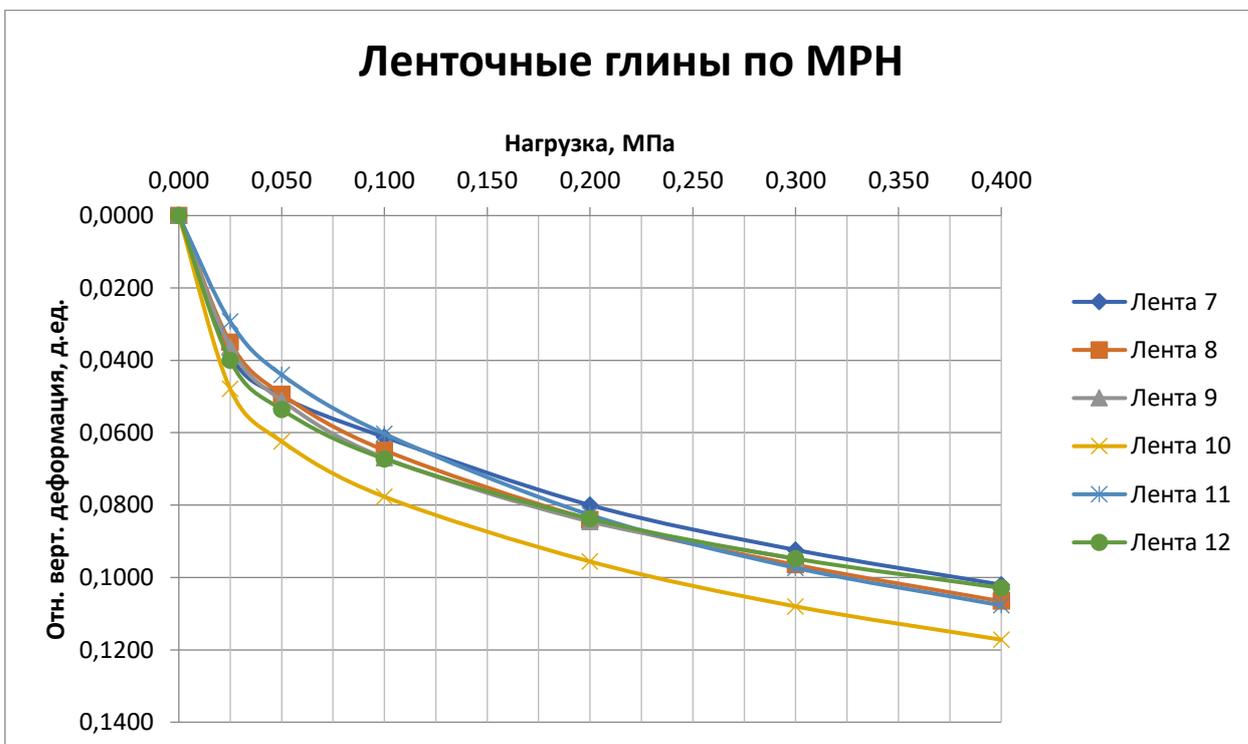


График 6. Сводный график компрессионных кривых слоя lg Q III по методике СТО 60284311-003-2012



Секущий модуль деформации E_{oed} рассчитан в соответствии с п.10.4 ГОСТ 12248.4-2020, E_{oed} рассмотрен в интервале 0,1-0,2 МПа, данный интервал выбран в соответствии с п. 5.3.7 СП 22.13330.2016.

Таблица 5. Сводная таблица результатов испытаний слоя V_2kt_2 по методике СТО 60284311-003-2012

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
V_2kt_2	Глина 7	19,6
	Глина 8	15,1
	Глина 9	22,7
	Глина 10	26,1
	Глина 11	21,8
	Глина 12	19,3

Таблица 6. Сводная таблица результатов испытаний слоя $g Q II$ по методике СТО 60284311-003-2012

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
$g Q II$	Морена 7	16,9
	Морена 8	22,9
	Морена 9	14,2
	Морена 10	14,7
	Морена 11	16,8
	Морена 12	17,7

Таблица 7. Сводная таблица результатов испытаний слоя lg Q III по методике СТО 60284311-003-2012

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
lg Q III	Лента 7	5,3
	Лента 8	5,2
	Лента 9	5,7
	Лента 10	5,6
	Лента 11	4,5
	Лента 12	6,1

2.4 Исследования грунтов по методикам ГОСТ 12248.4-2020 СТО 60284311-003-2012

Сводные результаты испытаний грунтов по методике ГОСТ 12248.4-2020 и СТО 60284311-003-2012 представлены на сводных графиках 7, 8, 9, расчеты в соответствии с ГОСТ 12248.4-2020 представлены в таблицах 8, 9, 10

График 7. Сводный график компрессионных кривых слоя V₂kt₂ по двум методикам

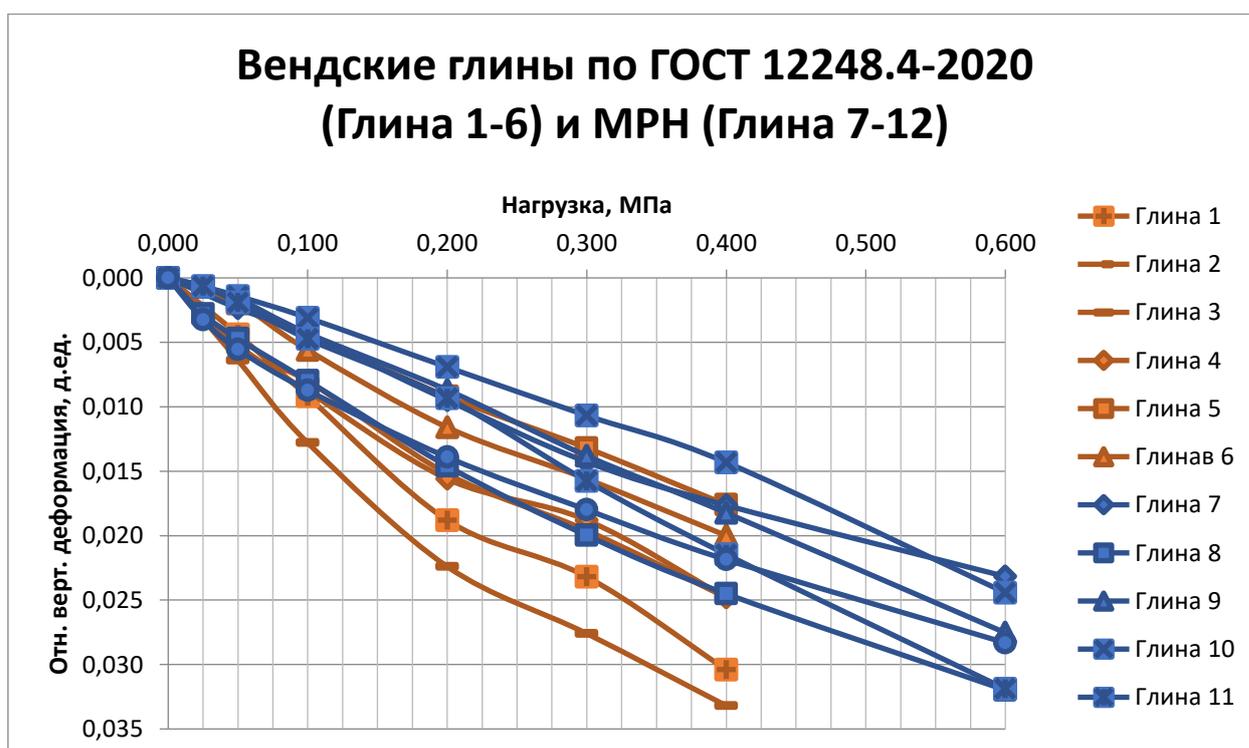


График 8. Сводный график компрессионных кривых слоя g Q II по двум методикам

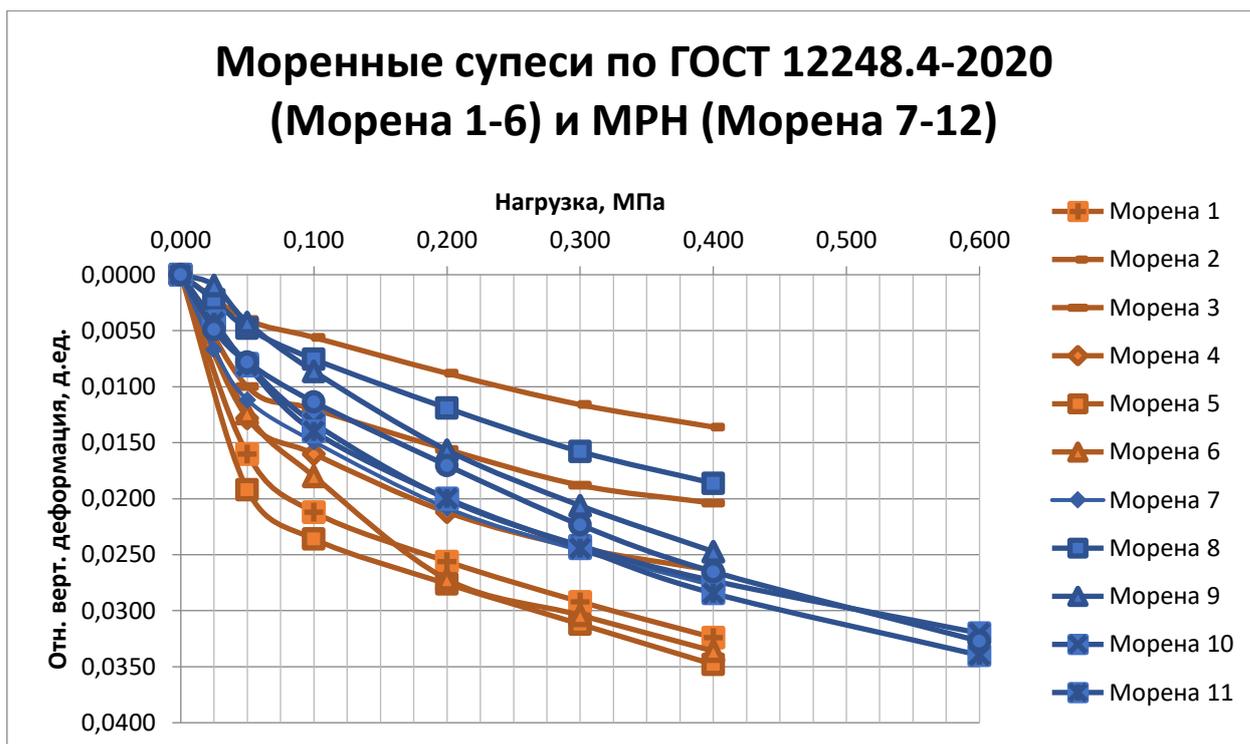
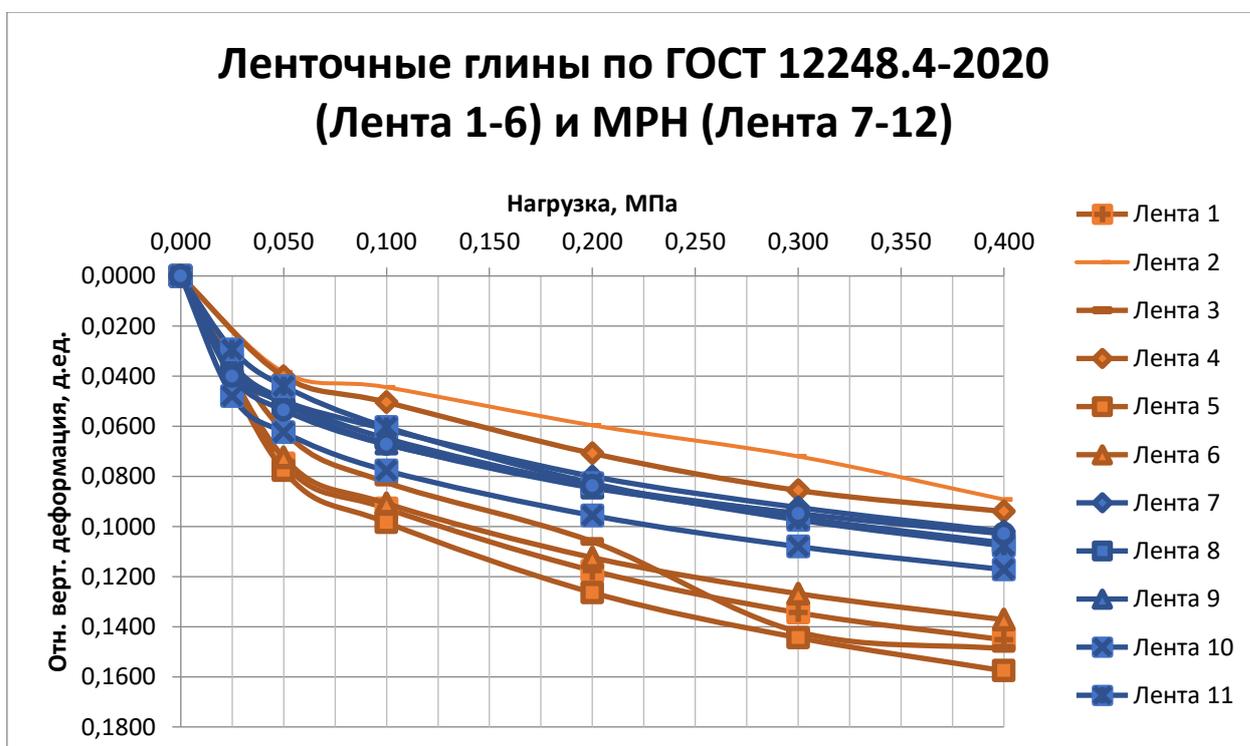


График 9. Сводный график компрессионных кривых слоя lg Q III по двум методикам



Секущий модуль деформации E_{oed} рассчитан в соответствии с п.10.4 ГОСТ 12248.4-2020, E_{oed} рассмотрен в интервале 0,1-0,2 МПа, данный интервал выбран в соответствии с п. 5.3.7 СП 22.13330.2016.

Таблица 8. Сводная таблица результатов испытаний слоя V_2kt_2 по двум методикам

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
V_2kt_2	Глина 1	10,4
	Глина 2	13,9
	Глина 3	10,4
	Глина 4	14,7
	Глина 5	20,8
	Глина 6	16,7
	Глина 7	19,6
	Глина 8	15,1
	Глина 9	22,7
	Глина 10	26,1
	Глина 11	21,8
	Глина 12	19,3

Таблица 9. Сводная таблица результатов испытаний слоя g Q II по двум методикам

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
g Q II	Морена 1	22,7
	Морена 2	31,3
	Морена 3	27,8
	Морена 4	19,2
	Морена 5	25,0
	Морена 6	10,9
	Морена 7	16,9
	Морена 8	22,9
	Морена 9	14,2
	Морена 10	14,7
	Морена 11	16,8
	Морена 12	17,7

Таблица 10. Сводная таблица результатов испытаний слоя lg Q III по двум методикам

Слой	Номер образца	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа
lg Q III	Лента 1	4,0
	Лента 2	6,6
	Лента 3	4,2
	Лента 4	4,9
	Лента 5	3,6
	Лента 6	4,6
	Лента 7	5,3
	Лента 8	5,2
	Лента 9	5,7
	Лента 10	5,6
	Лента 11	4,5
	Лента 12	6,1

Глава 3 Сравнительный анализ данных, полученных при лабораторных испытаниях

3.1 Метод сравнения

Для сравнения серии результатов испытаний по каждому методу мною была выбрана методика выделения инженерно-геологического элемента (ИГЭ) по межгосударственному стандарту ГОСТ 20255-2012.

Инженерно-геологический элемент – некоторый объем грунта одного номенклатурного вида, однородного по свойствам и состоянию. Отсюда, если при однородности физических свойств данного слоя будут выполнены условия однородности свойств механических, то будет позволительно пользоваться данной методикой испытаний при инженерно-геологических изысканиях.

По ГОСТ 20255-2012 за ИГЭ принимают «некоторый объем грунта одного и того же происхождения, подвида и/или разновидности при выполнении одного из условий: значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно), значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента закономерно, однако наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь.» (ГОСТ 20255, 2019) При наличии закономерного изменения характеристик грунтов в каком-либо направлении следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ. или наоборот, разделять ИГЭ нет необходимости.

Выделение массива образцов в один ИГЭ проводят, если выполняется условие по формуле (10):

$$V < V_{\text{доп}} \quad \text{Формула (10)}$$

где,

V – коэффициент вариации;

$V_{\text{доп}}$ – допустимое значение, принимаемое равным для физических характеристик 0,15; для механических 0,30.

Если коэффициенты вариации превышают указанные значения, дальнейшее разделение ИГЭ проводят так, чтобы для вновь выделенных ИГЭ выполнялось это условие.

Вычисляют коэффициент вариации V по формуле (11):

$$V = \frac{S}{X_n} \quad \text{Формула (11)}$$

где,

S – среднеквадратическое отклонение характеристики;

X_n – нормативное значение всех физических и механических характеристик грунтов.

Среднеквадратическое отклонение S вычисляется по формуле (12):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2} \quad \text{Формула (12)}$$

где,

n – количество проведенных испытаний;

X_i – частные значения характеристики, получаемые по результатам отдельных опытов.

Нормативное значение X_n всех физических и механических характеристик грунтов принимают равным среднеарифметическому значению и вычисляют по формуле (13):

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{Формула (13)}$$

3.2 Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020

Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 представлена в таблицах 11, 12, 13 для каждого исследуемого слоя соответственно

Таблица 11. Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 на образцы V₂kt₂

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E _{oed} , МПа	X _n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Глина 1	10,4	14,48	3,62	0,25	0,25<0,30
Глина 2	13,9				
Глина 3	10,4				
Глина 4	14,7				
Глина 5	20,8				
Глина 6	16,7				

Таблица 12. Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 на образцы g Q II

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E _{oed} , МПа	X _n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Морена 1	22,7	22,82	6,54	0,29	0,29<0,30
Морена 2	31,3				
Морена 3	27,8				
Морена 4	19,2				
Морена 5	25,0				
Морена 6	10,9				

Таблица 13. Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 на образцы lg Q III

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Лента 1	4,0	4,65	0,97	0,21	0,21<0,30
Лента 2	6,6				
Лента 3	4,2				
Лента 4	4,9				
Лента 5	3,6				
Лента 6	4,6				

Коэффициент вариации всех трех слоев испытанных грунтов по ГОСТ 12248.4-2020 позволяет их выделить в соответственные ИГЭ.

3.3 Статистическая обработка результатов испытаний по методу релаксации напряжений

Статистическая обработка результатов испытаний по методу релаксации напряжений представлена в таблицах 14, 15, 16 для каждого исследуемого слоя соответственно.

Таблица 14. Статистическая обработка результатов испытаний по методу МРН на образцы V₂kt₂

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Глина 7	19,6	20,77	3,39	0,16	0,16<0,30
Глина 8	15,1				
Глина 9	22,7				
Глина 10	26,1				
Глина 11	21,8				
Глина 12	19,3				

Таблица 15. Статистическая обработка результатов испытаний по методу МРН на образцы g Q II

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Морена 7	16,9	17,2	2,84	0,17	0,17<0,30
Морена 8	22,9				
Морена 9	14,2				
Морена 10	14,7				
Морена 11	16,8				
Морена 12	17,7				

Таблица 16. Статистическая обработка результатов испытаний по методу МРН на образцы lg Q III

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Лента 7	5,3	5,40	0,50	0,09	0,09<0,30
Лента 8	5,2				
Лента 9	5,7				
Лента 10	5,6				
Лента 11	4,5				
Лента 12	6,1				

Коэффициент вариации всех трех слоев испытанных грунтов по методу релаксации напряжений так же, как и предыдущий метод, позволяет их выделить в соответствующие ИГЭ.

3.4 Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 и методу релаксации напряжений

В работе важно проанализировать сходимость результатов испытаний на компрессионное сжатие на один ИГЭ разными методами. Это позволит сделать вывод о взаимодополнении и о взаимозаменяемости методик.

Для этого мы проведем тот же сравнительный анализ коэффициента вариации, описанный в ГОСТ 20522-2012, но для каждого слоя будем использовать объединенные результаты обеих методик.

Статистическая обработка результатов испытаний по ГОСТ 12248.4-2020 и методу релаксации напряжений представлена в таблицах 17, 18, 19 для каждого исследуемого слоя соответственно.

Таблица 17. Статистическая обработка сводных данных испытаний по двум методам на образцы V_{2kt}

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E _{oed} , МПа	X _n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Глина 1	10,4	17,63	4,71	0,27	0,27<0,30
Глина 2	13,9				
Глина 3	10,4				
Глина 4	14,7				
Глина 5	20,8				
Глина 6	16,7				
Глина 7	19,6				
Глина 8	15,1				
Глина 9	22,7				
Глина 10	26,1				
Глина 11	21,8				
Глина 12	19,3				

Таблица 18. Статистическая обработка сводных данных испытаний по двум методам на образцы g Q II

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Морена 1	22,7	20,01	5,77	0,29	0,29<0,30
Морена 2	31,3				
Морена 3	27,8				
Морена 4	19,2				
Морена 5	25,0				
Морена 6	10,9				
Морена 7	16,9				
Морена 8	22,9				
Морена 9	14,2				
Морена 10	14,7				
Морена 11	16,8				
Морена 12	17,7				

Таблица 19. Статистическая обработка сводных результатов данных по двум методам на образцы lg Q III

Лаб. №	Одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	X_n , МПа	Среднее квадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V	Результат
Лента 1	4,0	5,03	0,85	0,17	0,17<0,30
Лента 2	6,6				
Лента 3	4,2				
Лента 4	4,9				
Лента 5	3,6				
Лента 6	4,6				
Лента 7	5,3				
Лента 8	5,2				
Лента 9	5,7				
Лента 10	5,6				
Лента 11	4,5				
Лента 12	6,1				

Коэффициент вариации объединенных результатов испытаний образцов по двум методикам позволяет их выделить в один ИГЭ на каждый слой.

Выводы

1. Исходя из полученных данных видно, что коэффициент вариации не превышает допустимые значения по ГОСТ 20522-2012 для трех выбранных слоев грунта. Сходимость испытаний как отдельно по методикам, так и совместно, удовлетворительна, что позволяет выделить образцы из каждого слоя в инженерно-геологические элементы, соответствующие данным слоям.

2. Результаты статистического анализа данных показали, что использование метода релаксации напряжений для представленных в работе типов грунта не уступает по надежности результатам, полученным по методике ГОСТ 12228.4-2020. В то же время, для грунтов различного генезиса и физических свойств следует экспериментально подбирать оптимальные скорости нагружения.

3. Согласно полученным данным, метод релаксации напряжений является более эффективным по сравнению с методом ГОСТ 12228.4-2020 из-за меньшего количества времени, необходимого для проведения испытания.

Список литературы

Фондовые материалы, нормативная документация и электронные ресурсы.

1. Технический архив ООО "ЛенСтройГеология" за 2022-2024 годы
2. ГОСТ 25100-2020 Грунты «Классификация», Москва, Стандартинформ, 2020
3. ГОСТ 30416-2020 Грунты «Лабораторные испытания. Общие положения», Москва, Российский институт стандартизации, 2021
4. ГОСТ 5180-2015 Грунты «Методы лабораторного определения физических характеристик», Москва, Стандартинформ, 2019
5. ГОСТ 12536-2014 Грунты «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава», Москва, Стандартинформ, 2015
6. ГОСТ 12248.1-2020 Грунты «Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза», Москва, Стандартинформ, 2020
7. ГОСТ 12248.4-2020 Грунты «Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия», Москва, Стандартинформ, 2020
8. ГОСТ 20522-2012 Грунты. «Методы статистической обработки результатов испытаний», Москва, Стандартинформ, 2019
9. СТО 60284311-003-2012. Грунты. «Метод компрессионных испытаний грунтов в режиме релаксации напряжений». Краснодар: НП «КубаньСтройИзыскания», 2012
10. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3)
11. Мирный А.Ю., Идрисов И. Х. «Метод релаксации напряжений», 2020
[Электронный ресурс] // <https://geoinfo.ru/product/mirnyj-anatolij-yurevich/metod-relaksacii-napryazhenij-43234.shtml/>
12. Болдырев Г. Г. «К определению параметров прочности и деформируемости в компрессионном приборе», 2016 [Электронный ресурс] // <https://geoinfo.ru/product/ooo-npp-geotek/k-opredeleniyu-parametrov-prochnosti-i-deformiruемости-v-kompressionnom-pribore-34929.shtml/>

13. Колегова Л. Ю., Офрихтер В. Г. «Метод сокращения сроков компрессионных испытаний грунтов», 2015 [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-sokrascheniya-srokov-kompressionnyh-ispytaniy-gruntov/>
14. Колегова Л. Ю., Офрихтер В. Г. «Метод ускорения сроков компрессионных испытаний грунтов», 2015 [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-uskoreniya-srokov-kompressionnyh-ispytaniy-gruntov/>

Приложение 1

Паспорта испытаний определения механических свойств грунтов

	Лаб. № образца: <u>Глина 1</u>
	Наименование грунта: <u>Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнездами пыли</u>
	Структура: <u>не нарушена</u>

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскаты, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_s	Части грунта, ρ_c			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44

Нагрузка, Р, кгс/см ²	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.ед.	Коэффициент сжимаемости, m_v , МПа
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,477	0,110	0,0044	0,131
0,100	0,470	0,230	0,0092	0,142
0,200	0,456	0,470	0,0188	0,142
0,300	0,449	0,580	0,0232	0,065
0,400	0,439	0,760	0,0304	0,107
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{ved(1-2)}$		10,4	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:	Зубков Б.Б.
Составил:	Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 2

Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнездами пыли

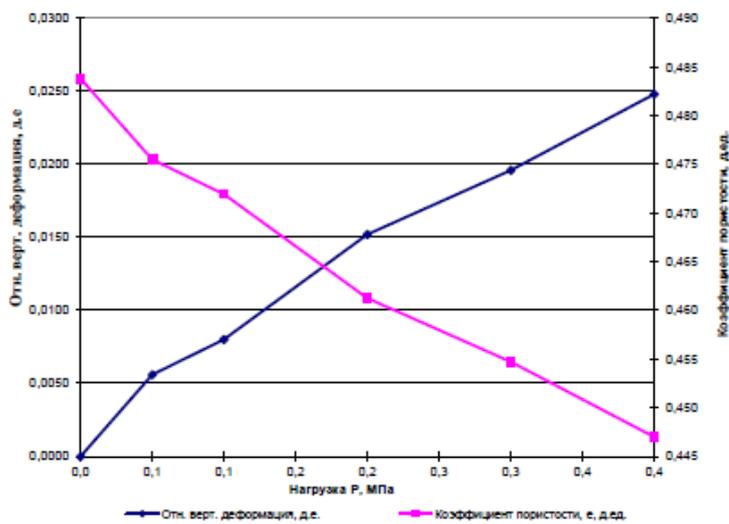
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W_p , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент волоконсации, S_v , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв. W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, P , кгс/см ²	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, σ_v , МПа
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,475	0,140	0,0056	0,166
0,100	0,472	0,200	0,0080	0,071
0,200	0,461	0,380	0,0152	0,107
0,300	0,455	0,490	0,0196	0,065
0,400	0,447	0,620	0,0248	0,077
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{oed(1-2)} =$		13,9	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:
Составил:

Зубков Б.Б.
Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 3

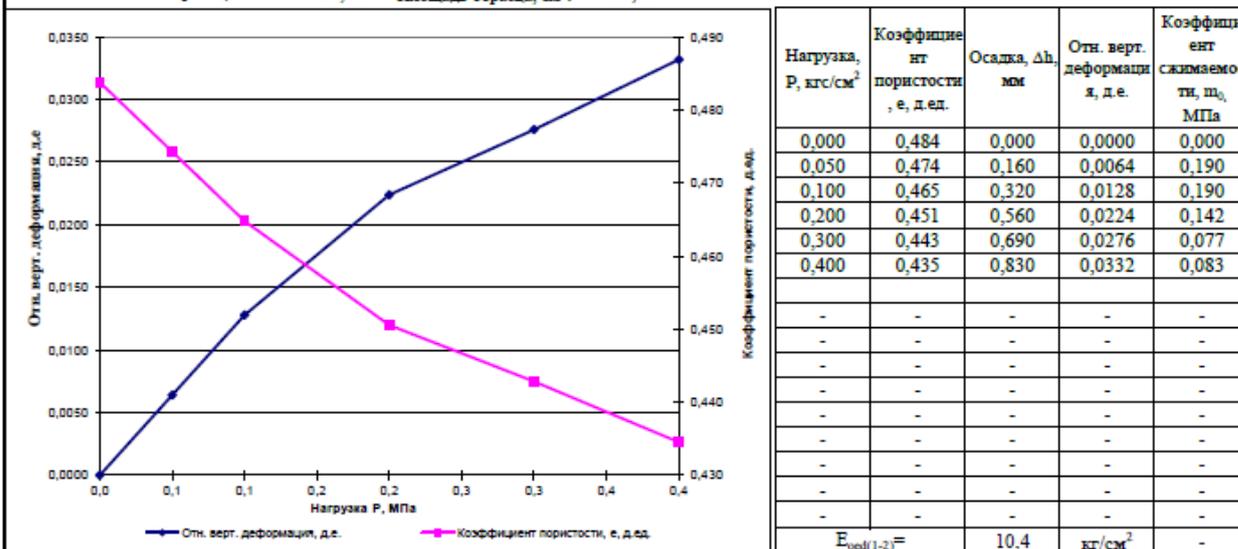
Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнейздами пыли
 Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, $\rho/\text{см}^3$			Пористость, ν , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см^2 : 59,44



Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 4

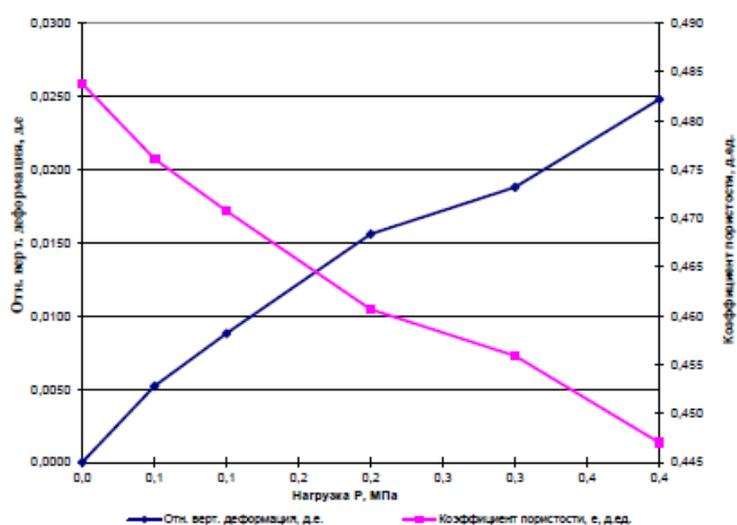
Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гnezдами пыли
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W, д.ед.	Влажность		Число пластиности, P, д.ед	Консистенция, I _p , д.ед	Плотность, г/см ³			Пористость, n, д.ед.	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S _r , д.ед.
	на границе текущей, W _L , д.ед.	на границе раскатыв. W _p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ _d	Частиц грунта, ρ _s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, P, кгс/см ²	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Осадка, Δh, мм	Отн. верт. деформация, де	Коэффициент сжимаемости, m _v , МПа
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,476	0,130	0,0052	0,154
0,100	0,471	0,220	0,0088	0,107
0,200	0,461	0,390	0,0156	0,101
0,300	0,456	0,470	0,0188	0,047
0,400	0,447	0,620	0,0248	0,089
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{\text{сод}(1-2)}$		14,7	кг/см ²	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина б

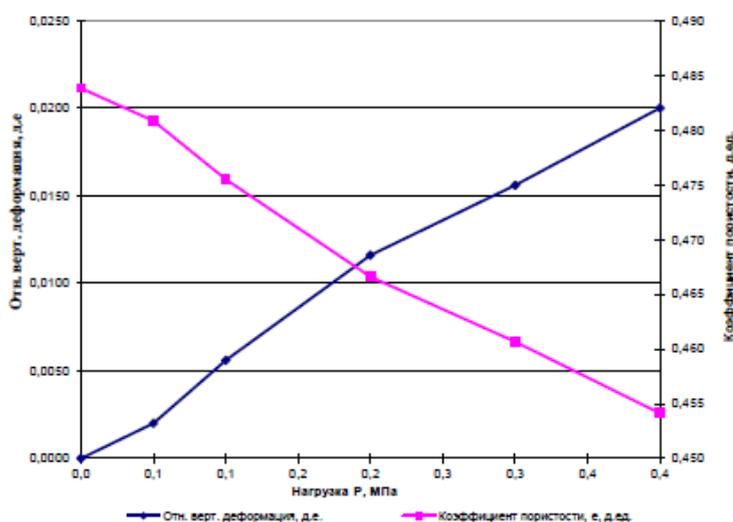
Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнездами пыли
 Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, Р, кгс/см ²	Коэффициент пористости, е, д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, σ_v , МПа
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,481	0,050	0,0020	0,059
0,100	0,475	0,140	0,0056	0,107
0,200	0,467	0,290	0,0116	0,089
0,300	0,461	0,390	0,0156	0,059
0,400	0,454	0,500	0,0200	0,065
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{vel(1-2)}$		16,7	кг/см ²	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

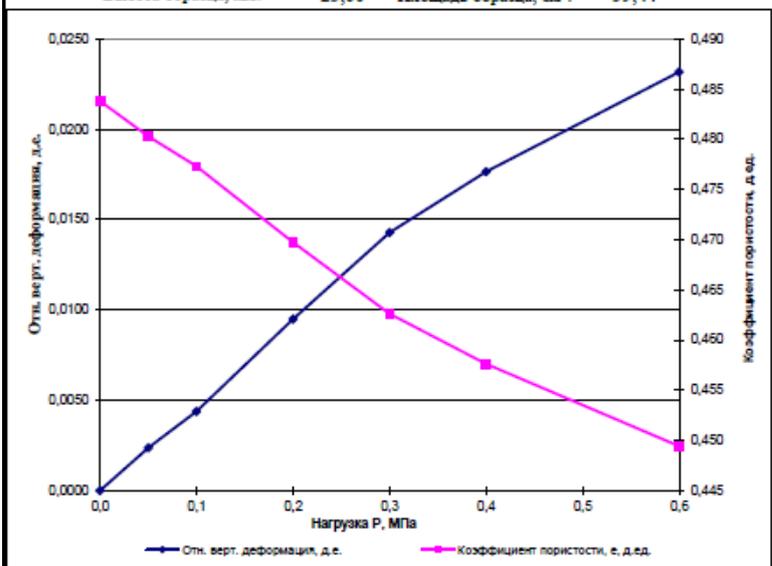
Лаб. № образца: Глина 7

Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнездами пыли
 Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8
Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, $\rho/\text{см}^3$			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см^2 : 59,44



Нагрузка, P , Мпа	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, m_v , Мпа ⁻¹
0,00	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,480	0,059	0,0024	0,070
0,100	0,477	0,110	0,0044	0,060
0,200	0,470	0,237	0,0095	0,076
0,300	0,463	0,357	0,0143	0,071
0,400	0,458	0,441	0,0176	0,050
0,600	0,449	0,579	0,0232	0,041
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{сод(1-2)}$		19,6	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 8

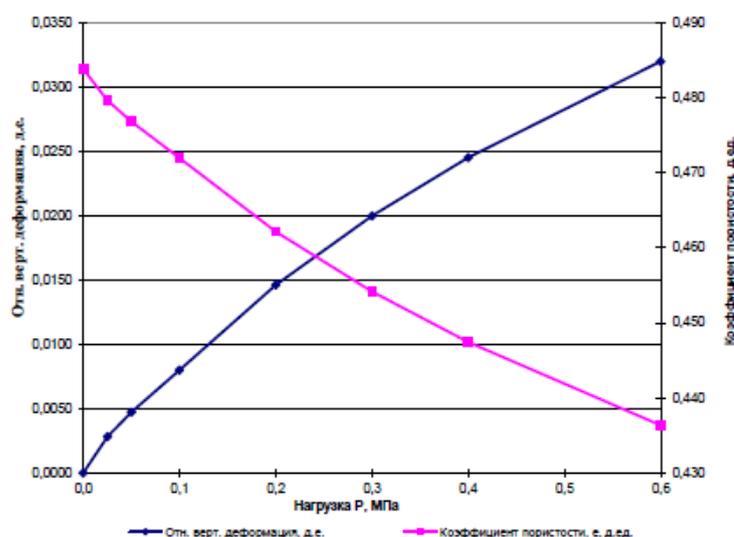
Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленоваго-серая с гвездами пыли

Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8
Природная влажность, W, д.ед.	Влажность		Число пластичности, Ip, д.ед.	Консистенция, I _с д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, п, д.ед.	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S _r , д.ед.
	на границе текучести, W _L , д.ед.	на границе расккапав. W _p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ _d	Частиц грунта, ρ _s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, P, МПа	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Осадка, Δh, мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, ш ₀ , МПа ⁻¹
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,025	0,480	0,070	0,0028	0,167
0,050	0,477	0,118	0,0047	0,113
0,100	0,472	0,200	0,0080	0,097
0,200	0,465	0,365	0,0146	0,098
0,300	0,454	0,500	0,0200	0,080
0,400	0,447	0,613	0,0245	0,067
0,600	0,436	0,800	0,0320	0,055
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
E _{сод(1-2)}		15,1	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 9

Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гvezдами пыли

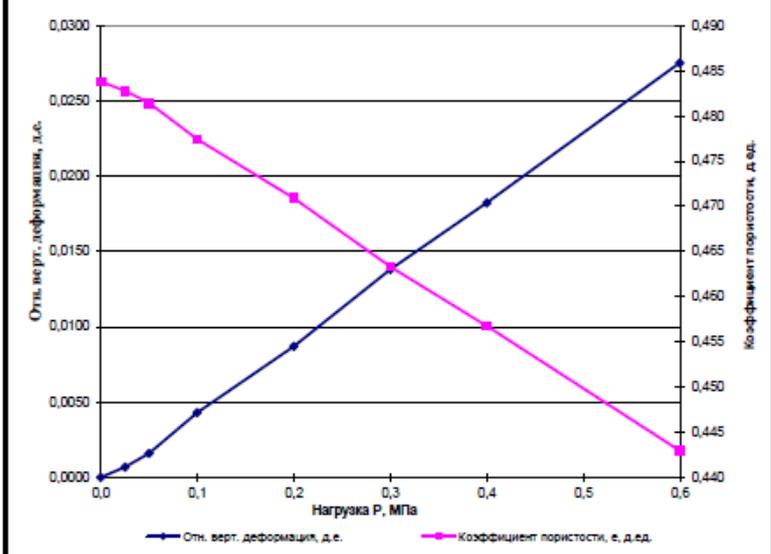
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W, д.ед.	Влажность		Число пластичности, Ip, д.ед.	Консистенция, I _c , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, n, д.ед.	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, Sr, д.ед.
	на границе текучести, W _L , д.ед.	на границе расквашивания, W _p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ _d	Частиц грунта, ρ _s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, P, Мпа	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Осадка, Δh, мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, m _v , Мпа ⁻¹
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,025	0,483	0,017	0,0007	0,041
0,050	0,481	0,040	0,0016	0,054
0,100	0,477	0,107	0,0043	0,080
0,200	0,471	0,217	0,0087	0,065
0,300	0,463	0,345	0,0138	0,076
0,400	0,457	0,456	0,0182	0,066
0,600	0,443	0,688	0,0275	0,069
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{вед(1-2)}$		22,7	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 10

Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленовато-серая с гнездами пыли

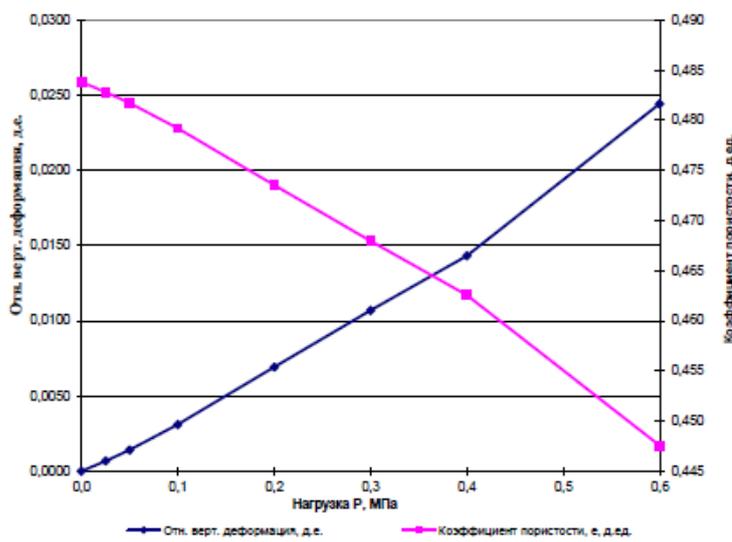
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, $\rho/\text{см}^3$			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см^2 : 59,44



Нагрузка, P , Мпа	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.ед.	Коэффициент сжимаемости, μ_0 , Мпа ⁻¹
0,000	0,484	0,000	0,0000	0,000
0,025	0,483	0,017	0,0007	0,040
0,050	0,482	0,035	0,0014	0,044
0,100	0,479	0,077	0,0031	0,050
0,200	0,474	0,173	0,0069	0,057
0,300	0,468	0,267	0,0107	0,056
0,400	0,463	0,358	0,0143	0,054
0,600	0,448	0,611	0,0244	0,075
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{\text{соед(1-2)}}$		26,1	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Глина 11

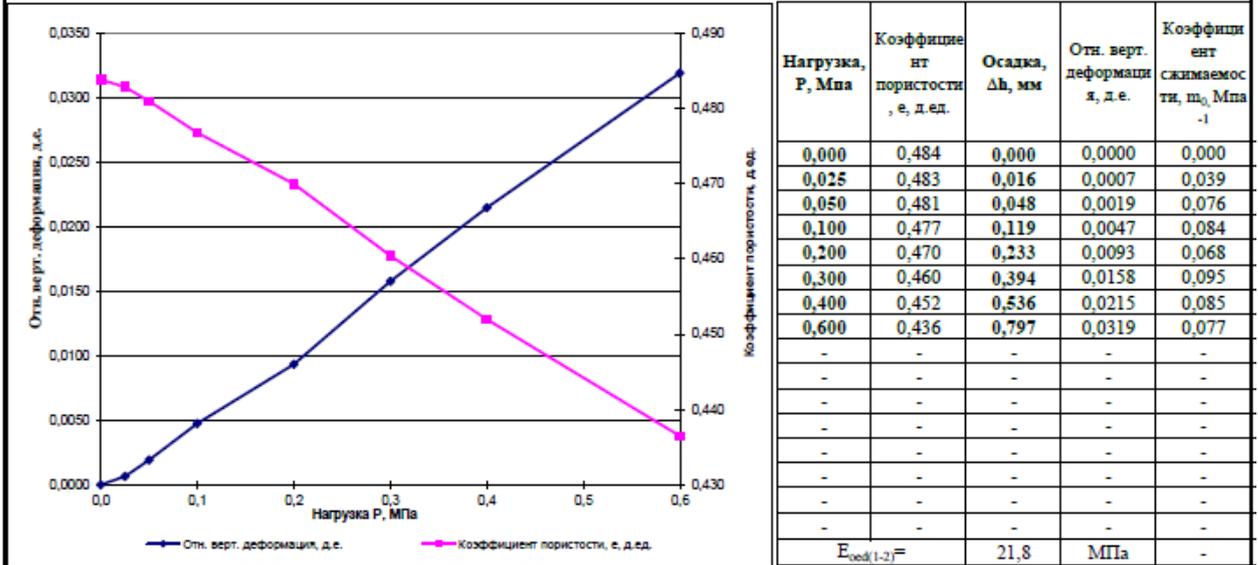
Наименование грунта: Глина легк. пыл., Тв, зеленоваго-серая с гнейдами пыли

Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	28,1	35,9	32,8
Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_s , д.ед.	Плотность, $\rho/\text{см}^3$			Пористость, ρ , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Сжелега, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,174	0,352	0,212	0,140	-0,27	2,16	1,84	2,73	0,326	0,484	0,98

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см^2 : 59,44



Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Морена 1

Наименование грунта: Супесь песч., Тв, серая, с вкл гравия и гальки

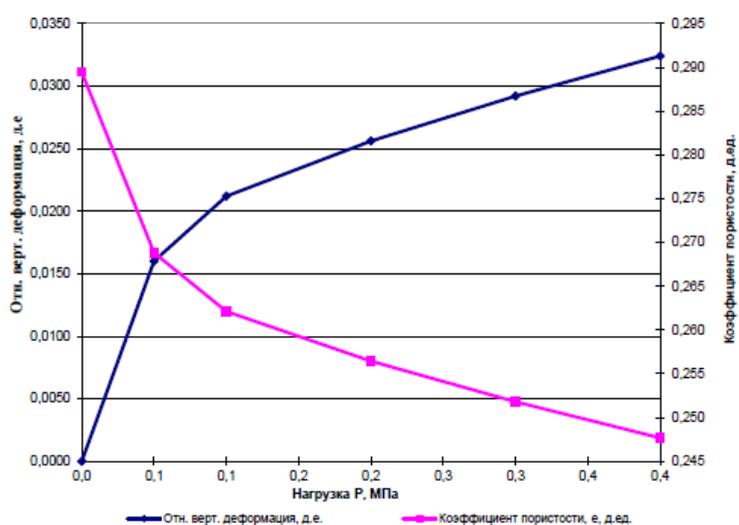
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
3,3	2,2	2,9	4,2	6,0	12,6	20,0	10,6	13,2	12,7	12,3

Природная влажность, W, д.ед.	Влажность		Число пластичности, Ip, д.ед.	Консистенция, I _c , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, n, д.ед.	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, Sr, д.ед.
	на границе текучести, W _L , д.ед.	на границе раскатыва, W _p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ _d	Частиц грунта, ρ _s			
0,097	0,124	0,099	0,025	-0,08	2,28	2,08	2,68	0,224	0,289	0,90

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Нагрузка, P, кгс/см ²	Коэффициент пористости, е, д.ед.	Осадка, Δh, мм	Отн. верт. деформация, д.е.	Коэффициент сжимаемости, m ₀ , МПа
0,000	0,289	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,269	0,400	0,0160	0,413
0,100	0,262	0,530	0,0212	0,134
0,200	0,256	0,640	0,0256	0,057
0,300	0,252	0,730	0,0292	0,046
0,400	0,248	0,810	0,0324	0,041
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
E _{oed(1-2)}}	-	22,7	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Морена 3

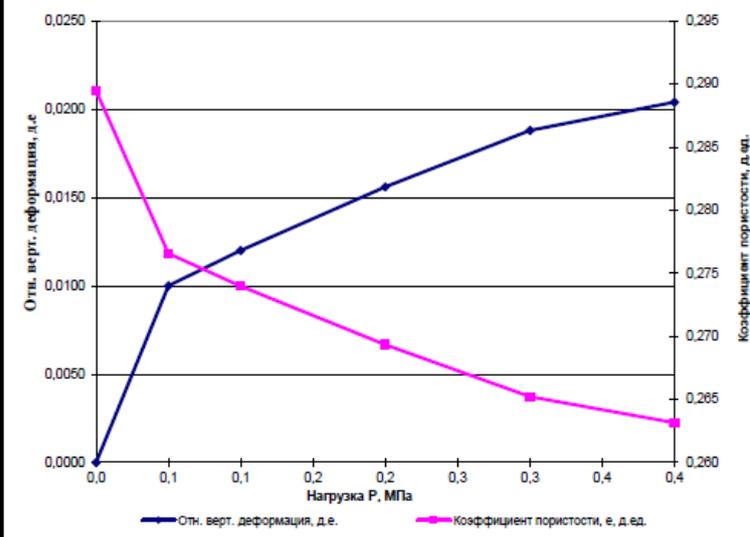
Наименование грунта: Супесь песч., Тв, серая, с вкл гравия и гальки
 Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
3,3	2,2	2,9	4,2	6,0	12,6	20,0	10,6	13,2	12,7	12,3

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластичности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, g/cm^3			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв. W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,097	0,124	0,099	0,025	-0,08	2,28	2,08	2,68	0,224	0,289	0,90

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, cm^2 : 59,44



Нагрузка, P , kg/cm^2	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, ϵ , д.е.	Коэффициент сжимаемости, σ_0 , МПа
0,000	0,289	0,000	0,0000	0,000
0,050	0,277	0,250	0,0100	0,258
0,100	0,274	0,300	0,0120	0,052
0,200	0,269	0,390	0,0156	0,046
0,300	0,265	0,470	0,0188	0,041
0,400	0,263	0,510	0,0204	0,021
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{oes(1-2)}$		27,8	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Морена 5

Наименование грунта: Супесь песч., Тв, серая, с вкл гравия и гальки

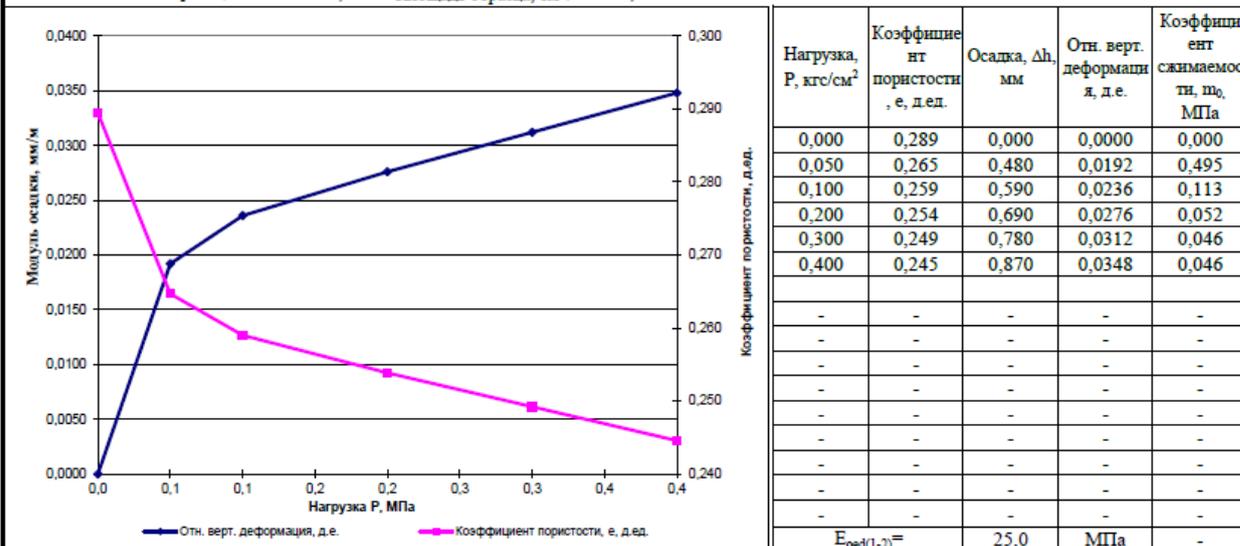
Структура: не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
3,3	2,2	2,9	4,2	6,0	12,6	20,0	10,6	13,2	12,7	12,3

Природная влажность, W, д.ед.	Влажность		Число пластиности, I _p , д.ед.	Консистенция, I _L , д.ед.	Плотность, г/см ³			Пористость, п, д.ед.	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S _r , д.ед.
	на границе текучести, W _L , д.ед.	на границе раскатыв, W _p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ _d	Частиц грунта, ρ _s			
0,097	0,124	0,099	0,025	-0,08	2,28	2,08	2,68	0,224	0,289	0,90

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см²: 59,44



Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

Лаб. № образца: Лента 9

Наименование

Суглинки тяжелые пылеватые серовато-коричневые ленточные тиксотропные с прослоями глины текучие

грунта:

Структура:

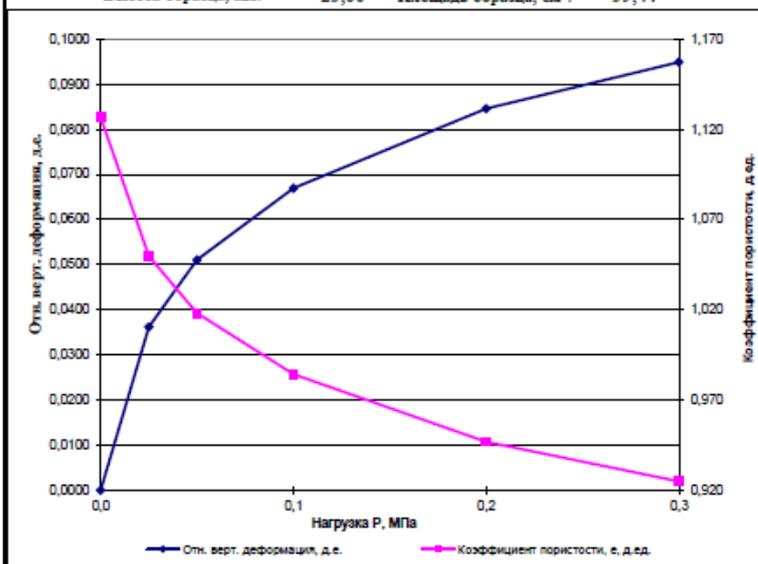
не нарушена

> 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	25,6	37,6	34,5

Природная влажность, W , д.ед.	Влажность		Число пластиности, I_p , д.ед.	Консистенция, I_c , д.ед.	Плотность, $\rho/\text{см}^3$			Пористость, n , д.ед.	Коэффициент пористости, e , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S_r , д.ед.
	на границе текучести, W_L , д.ед.	на границе раскатыв, W_p , д.ед.			Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ_d	Частиц грунта, ρ_s			
0,410	0,407	0,264	0,143	1,02	1,81	1,28	2,73	0,530	1,127	0,99

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020

Высота образца, мм: 25,00 Площадь образца, см^2 : 59,44



Нагрузка, P, МПа	Коэффициент пористости, e, д.ед.	Осадка, Δh , мм	Отн. верт. деформация, д.ед.	Коэффициент сжимаемости, m_v , МПа ⁻¹
0,000	1,127	0,000	0,0000	0,000
0,025	1,050	0,905	0,0362	3,080
0,050	1,018	1,276	0,0510	1,261
0,100	0,984	1,674	0,0669	0,677
0,200	0,947	2,114	0,0846	0,375
0,300	0,925	2,372	0,0949	0,220
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
$E_{\text{сод}1-2}$		5,7	МПа	-

Подпись сотрудника, проводившего испытания:

Зубков Б.Б.

Составил:

Зубков Б.Б.

