

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский государственный университет  
Факультет географии и геоинформатики  
Кафедра региональной геологии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ О. В. Лукашёв

«18» октября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

\_\_\_\_\_ Е. Г. Кольмакова

«26» октября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель

Учебно-методической комиссии факультета

\_\_\_\_\_ Е. Г. Кольмакова

«22» ноября 2022 г.

Механика грунтов, основания и фундаменты

Электронный учебно-методический комплекс  
для специальности: 1-51 80 04 «Геология»

Регистрационный № 2.4.2-20/302

Составитель:

Жидкова Т.А., кандидат географических наук, доцент.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ  
29.11.2022 г., протокол № 2.

Минск 2022

УДК 624.131(075.8)  
М 55

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ  
Протокол № 2 от 29.11.2022 г.

Решение о депонировании вынес:  
Совет факультета географии и геоинформатики  
Протокол № 3 от 26.10.2022 г.

С о с т а в и т е л ь:

Жидкова Татьяна Александровна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики БГУ.

Рецензенты:

начальник отдела геологии и минерагении платформенного чехла филиала «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ геологии», канд. геогр. наук, Н.Ю. Денисова;

ведущий специалист отдела НИР УП Проектный институт «Белгипрозем», канд. геогр. наук, И.П. Самсоненко.

Механика грунтов, основания и фундаменты : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-51 80 04 «Геология» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. региональной геологии ; сост. Т. А. Жидкова. – Минск : БГУ, 2022. – 39 с. : ил. – Библиогр.: с. 38–39.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для магистрантов, обучающихся по специальности 1-51 80 04 «Геология». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой магистрантов по освоению учебной дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

## Содержание

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
1.1. Введение.....	6
1.2. Современное состояние науки и место в ряду геологических наук.....	6
1.3. Физическая природа грунтов.....	7
1.4. Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями.....	9
1.5. Физические свойства грунтов.....	12
1.6. Механические свойства грунтов.....	14
1.7. Определение напряжений в массиве грунта.....	22
1.8. Оценка несущей способности грунтов оснований.....	23
1.9. Устойчивость откосов.....	26
1.10. Деформация основания и расчет осадок фундаментов.....	27
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	30
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	33
3.1. Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине.....	33
3.2. Организация самостоятельной работы.....	35
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	36
4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине.....	36
4.2. Рекомендуемая литература.....	38
4.3. Электронные ресурсы.....	39

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Механика грунтов, основания и фундаменты» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательного стандарта и учебного по специальности 1-51 80 04 «Геология». Его наличие обеспечивает стабильность качества образовательного процесса и является методической основой для обеспечения эффективной самостоятельной работы студентов.

ЭУМК по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» создан на научно-методическом и программно-техническом уровнях, соответствующих современным информационно-коммуникационным технологиям и призван обеспечить реализацию учебных целей и задач на всех этапах образовательного процесса по данной дисциплине.

Назначение – реализация требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты».

Цель ЭУМК – повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой магистрантов по освоению учебной дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

Область применения – при дистанционном обучении, проведении занятий по предмету «Механика грунтов, основания и фундаменты», в ходе самостоятельной подготовки к аудиторным занятиям, текущему и итоговому контролю знаний по разделам дисциплины, ориентация в выполнении управляемой самостоятельной работы.

Функциональные возможности ЭУМК – средство ориентации в содержании дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты» и порядке изучения учебного материала, освоение теоретического и практического материала, подготовка к контролю знаний. Весь материал ЭУМК структурирован по разделам таким образом, чтобы знаниями по указанному предмету магистрант мог овладеть самостоятельно. ЭУМК по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций для теоретического изучения учебной дисциплины, на основе конспекта лекций по курсу «Механика грунтов, основания и фундаменты» [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 14.10.2022.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы к контролю знаний и к аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной

деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта и учебно-программной документации по специальности. Данный раздел включает: варианты контрольных заданий, вопросы к зачету, перечень заданий и контрольных мероприятий управляемой самостоятельной работы.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит: учебную программу по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/210059> – Дата доступа: 14.10.2022.

ЭУМК по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» предназначен для преподавателей, студентов, аспирантов, магистрантов, изучающих науки геологического профиля.

ЭУМК дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» раскрывает методологические и методические основы организации геологоразведочных работ, получения полевых материалов и их камеральной обработки.

В предмете «Механика грунтов, основания и фундаменты» раскрываются методологические основы и общая теория процессов поведения грунтов под нагрузкой, а также способы передачи нагрузок от сооружений на грунтовое основание.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1. Введение

Механика грунтов – научная дисциплина, в которой изучаются напряженно-деформированное состояние грунтов и грунтовых массивов, условия прочности грунтов, давление на ограждения, устойчивость грунтовых массивов против сползания и разрушения, взаимодействие грунтовых массивов с сооружениями и ряд других вопросов.

Поведение грунтов под нагрузками сопровождается сложными процессами, т.к. нарушается их начальное состояние, и в грунтах возникают новые процессы, осложняющие эксплуатацию сооружений. Ошибочная оценка грунтов основания часто бывает причиной аварий сооружений, поэтому будущим инженерам-геологам необходимо уметь не только правильно оценить прочностные и деформационные свойства грунтов, но и в ряде случаев разработать способы улучшения строительных свойств грунтов основания.

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы к лекционным занятиям.

## 1.2. Современное состояние науки и место в ряду геологических наук

Механика грунтов – научная дисциплина, в которой изучаются напряженно-деформированное состояние грунтов и грунтовых массивов, условия прочности грунтов, давление на ограждения, устойчивость грунтовых массивов против сползания и разрушения, взаимодействие грунтовых массивов с сооружениями и ряд других вопросов.

Поведение грунтов под нагрузками сопровождается сложными процессами, т.к. нарушается их начальное состояние, и в грунтах возникают новые процессы, осложняющие эксплуатацию сооружений. Ошибочная оценка грунтов основания часто бывает причиной аварий сооружений, поэтому необходимо не только правильно оценить прочностные и деформационные свойства грунтов, но и в ряде случаев разработать способы улучшения строительных свойств грунтов основания.

Механика грунтов опирается на результаты научных исследований в области механики сплошных сред (сопротивление материалов, теория упругости, теория пластичности), инженерной геологии, инженерной гидрогеологии, гидравлики и гидромеханики, а также других инженерных дисциплин (рисунок 1).

Результаты механики грунтов используются в каких областях строительства, как:

- промышленном и гражданском;
- гидротехническом;

– транспортном (возведение автодорог и железных дорог);



Рисунок 1 – Механика грунтов в системе наук

- мостов;
- аэродромов;
- подземном;
- военных объектов и объектов специального назначения;
- сельскохозяйственном;
- линейных объектов – линий электропередач, трубопроводов;
- объектов энергетического хозяйства.

Основные задачи, которые ставятся в «механике грунтов» – это задачи прогноза механического поведения грунтов и грунтовых массивов.

### 1.3. Физическая природа грунтов

Грунтами называют любые горные породы, почвы и антропогенные (техногенные) геологические образования, залегающие в верхней части земной коры и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Массивы грунтов используются как основания сооружений, как среда, вмещающая подземные сооружения, и как материал для постройки земляных сооружений. Состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются генезисом, возрастом отложений и характером постгенетических процессов.

По происхождению и условиям образования грунты подразделяют на:

1. магматические (образовались в результате остывания магмы, а также в результате горнообразовательных процессов);
2. метаморфические (образовались под действием больших температур и давления);
3. осадочные (образовались в результате разрушения и выветривания горных пород с помощью воды и воздуха).

Образование грунтов (генезис). Группа осадочных грунтов включает следующие подгруппы:

- крупнообломочные – несцементированные грунты, содержащие более 50% массы обломков кристаллических или осадочных горных пород с размером частиц более 2 мм.
- песчаные – сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50% массы частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности.

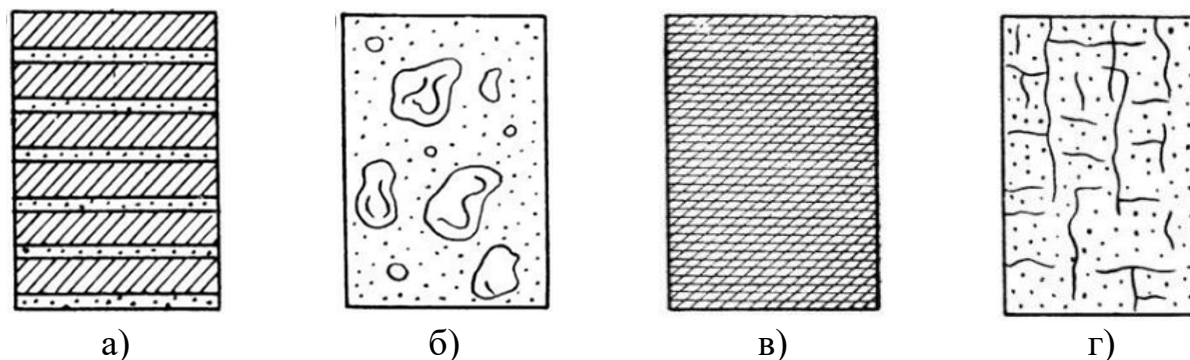
- пылевато-глинистые – связанные грунты, для которых число пластичности  $J_p > 0,01$

- биогенные – грунты с относительным содержанием органического вещества  $J_{om} > 0,01$ .

Свойствами «грунтов» обладают и некоторые магматические изверженные породы (вулканические пеплы).

В составе грунтов различают твердую, жидкую и газообразную фазы.

Изучая строение грунтов, рассматриваются их структурно-текстурные признаки (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Строение грунтов (текстуры):**  
а) слоистая; б) порфировая; в) однородная; г) ячеистая

По строительным свойствам (сжимаемость, прочность и др.) грунты делят на скальные, полускальные, дисперсные, техногенные.

*Грунт скальный* – грунт, состоящий из кристаллитов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи кристаллизационного типа. Встречаются они в виде сплошного массива или отдельных трещиноватых пластов. Обладают большой плотностью, следовательно, водостойчивостью. Являются прочным основанием для любого вида сооружений.

*Грунт полускальный* – грунт, состоящий из одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа. При прочном цементе могут приближаться к скальным. Подавляющая часть относится к размягчаемым грунтам. Плотность 2%, пористость 25-40%, водопроницаемость – до нескольких метров в сутки.

*Грунт дисперсный* – грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабосвязанных друг с другом (глина, торф, пески). Образуется в результате выветривания скальных грунтов с последующей транспортировкой продуктов выветривания водным или эоловым путем и их отложением. Характеризуется малой прочностью и большой сжимаемостью под нагрузкой

*Грунт мерзлый* – грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями.



*Грунт техногенный* – обобщенное наименование искусственных грунтов, образовавшихся в результате человеческой деятельности.

#### **1.4. Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями**

*Структурно-неустойчивыми* называют такие грунты, которые обладают способностью изменять свои структурные свойства под влиянием внешних воздействий с развитием значительных осадок, протекающих, как правило, с большой скоростью.

Структурно-неустойчивым грунтам свойственна общая особенность: резкое снижение прочности структурных связей между частицами при увлажнении лёссовых, глинистых грунтов; вибрационном воздействии на плывуны и т.д., нагревании мерзлых и вечномёрзлых грунтов. Это, в свою очередь, приводит также к резкому уменьшению прочности и несущей способности оснований, развитию недопустимых для сооружения деформаций.

*Лёссовые грунты* по своей структуре и составу значительно отличаются от других видов грунтов. У лёссовых грунтов размер пор значительно превышает размер твердых частиц, такие грунты называют макропористыми. Размер макропор 1–3 мм – можно увидеть невооруженным глазом.

В естественном состоянии лёссовые грунты могут держать откосы высотой до 10 метров (рисунок 3). Угол естественного откоса лёссов – это предельный угол свободного отсыпания породы. При увлажнении лёссовых грунтов цементационные связи нарушаются, что приводит к разрушению макропористой структуры. Разрушения связи сопровождаются потерей прочности грунта и возникающей просадкой.



**Рисунок 3 – Лёссовые грунты**

К *набухающим грунтам* относят глинистые грунты с большим содержанием гидрофильных минералов (рисунок 4). Это грунты, которые при

замачивании значительно увеличиваются в объеме. При высыхании набухающие грунты уменьшаются в объеме, т.е. дают усадку.



**Рисунок 4 – Набухающие грунты**

По условиям залегания набухающие грунты в отличие от лессовых пород могут занимать не только покровное положение, но и располагаться на значительной глубине от поверхности земли.

Мощность набухающих грунтов колеблется от нескольких метров до нескольких 10 метров.

Наибольшим набуханием, а следовательно, и наибольшей опасностью при строительстве, обладают переуплотненные слабосцементированные глины, формирующиеся в условиях засушливого климата в мелководных бассейнах и содержащие в своем составе монтмориллонит – глинистый минерал с подвижной кристаллической решеткой.

К *слабым водонасыщенным грунтам* относят илы, ленточные глины и другие виды глинистых грунтов, характерными особенностями которых являются их высокая пористость в природном состоянии, насыщенность водой, малая прочность и высокая деформированность (рисунок 5).

Засоленными называются грунты, в которых содержится более 5% среднерастворимых солей или более 0,3% легкорастворимых солей от веса сухого грунта (рисунок 6). К легкорастворимым солям относятся хлористые соли натрия  $\text{NaCl}$ , калия  $\text{KCl}$  кальция  $\text{CaCl}_2$  и магния  $\text{MgCl}_2$ , бикарбонаты натрия  $\text{NaHCO}_3$  сульфаты натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и магния  $\text{MgSO}_4$ . К среднерастворимым солям относятся гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрит  $\text{CaSO}_4$ .

Торф – это грунт, содержащий в своем составе > 50% органических веществ, образуется в толще болот в результате длительного естественного отмирания болотной растительности (рисунок 7). Песчаные пылеватые



глинистые грунты, состоящие из 10–50 % болотных остатков, называются заторфованными.



**Рисунок 5 – Слабые водонасыщенные грунты (ленточные глины)**



**Рисунок 6 – Засоленные грунты**



## Рисунок 7 – Торф и заторфованные грунты (выторфовка)

### 1.5. Физические свойства грунтов

Точность прогнозов в механике грунтов в большой степени определяется тем, с какой полнотой в уравнениях состояния отражаются особенности деформирования грунтов. При этом в практике проектирования для конкретных случаев используются расчетные модели грунта разной сложности. Такой подход обусловил возможность использования наиболее простых расчетных моделей грунтов.

*Теория линейного деформирования грунта* (рисунок 8) базируется на предположении, что при однократном нагружении (или разгрузке) зависимость между напряжениями и деформациями в грунтах линейна.

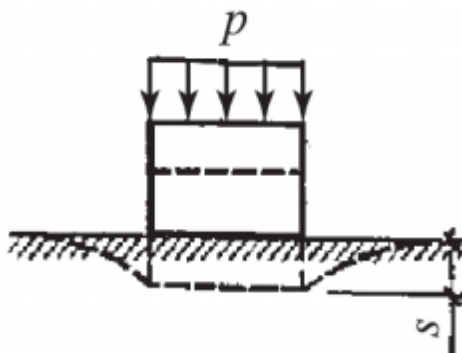


Рисунок 8 – Теория линейного деформирования грунта

*Теории нелинейного деформирования грунтов* (рисунок 9) применяются для расчетов напряженно-деформированного состояния и оценки прочности оснований и грунтовых сооружений, когда связь между напряжениями и деформациями существенно нелинейна, поэтому они часто называются теориями пластичности грунтов. Значительное распространение в инженерной практике получила деформационная теория пластичности.

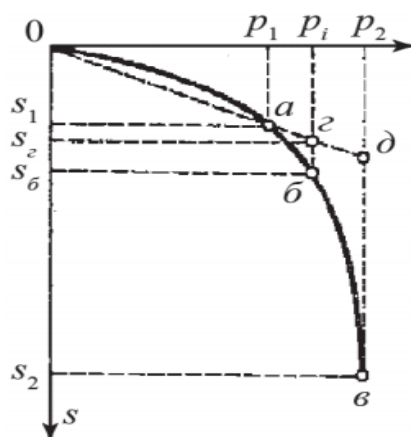


Рисунок 9 – Теория нелинейного деформирования грунта

*Теория фильтрационной консолидации грунта* применяется для расчетов развития осадок во времени. *Теория предельного напряженного состояния грунта* применяется для расчетов несущей способности, прочности, устойчивости и давления грунта на ограждения.

Воздействия на структуру грунта делят на физические и механические.

Физические – это изменение количества воды, замораживание, оттаивание, нагрев грунта. Физические свойства грунтов характеризуют их физическое состояние в условиях природного (ненарушенного) залегания. Ряд физических характеристик грунтов может быть получен, исходя из представления грунта как многокомпонентной среды, в общем случае состоящей из твердых частиц, жидкости (воды) и газа (рисунк 10).

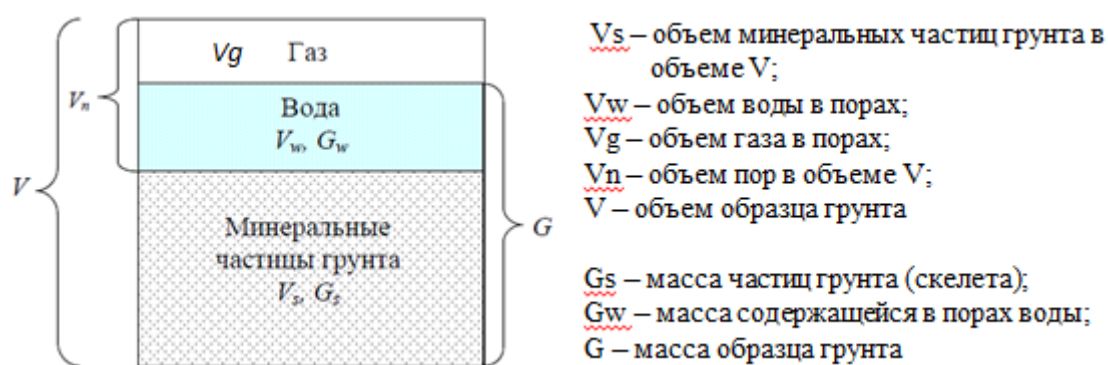


Рисунок 10 – Модель грунта

Грунтовые основания характеризуются большим количеством физических характеристик. Поэтому последние сводят в особые группы, которым дают соответствующие наименования.

Различают характеристики плотности, влажности и пористости грунта, характеристики консистенции глинистых грунтов, иные характеристики грунта. Первая группа характеристик определяются опытным путем (плотность, влажность). Вторая группа характеристик – расчетные.

*Плотность* является важной характеристикой грунта и используется при расчётах несущей способности основания, природного давления грунта, давления грунта на подпорные стенки, устойчивости оползневых склонов и откосов.

*Влажность* – содержание в грунте того или иного количества воды (отношение массы воды к массе твёрдых частиц, выражается в процентах)

*Пористость* – суммарный объем всех пор в единице объема грунта, независимо от их величины, заполнения и характера взаимосвязи.

*Пластичность* – способность породы изменять под действием внешних сил свою форму и сохранять ее, когда действие внешней силы прекратилось. Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется верхним пределом пластичности, или границей текучести.



Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называется нижним пределом пластичности, или границей раскатывания

При устройстве искусственно улучшенных оснований, засыпке грунтом пазух фундаментов, возведении насыпей при планировке территории или прокладке дорог приходится уплотнять грунт. Это нужно для расчета таких характеристик, как максимальная плотность и оптимальная влажность грунта.

## 1.6. Механические свойства грунтов

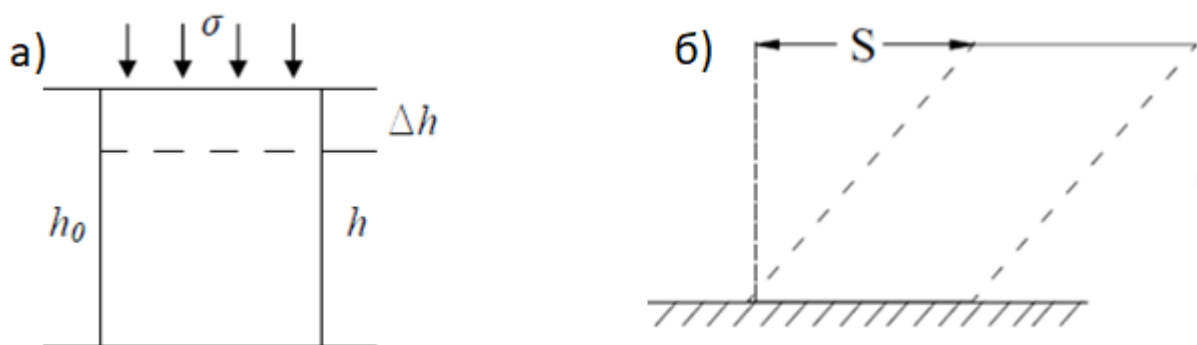
*Механическими* называются те свойства грунтов, которые характеризуют их поведение под нагрузкой.

Механические свойства оцениваются деформационными характеристиками.

*Деформационные свойства грунта* характеризуют способность грунта изменять объем и форму по мере передачи на него давления. Деформационные свойства характеризуют поведение грунта под нагрузками, не превышающими критические. Эти нагрузки не приводят к разрушению грунтов. При малых изменениях давления зависимость между деформациями и напряжениями может приниматься линейно.

Деформации грунтов под нагрузкой сопровождаются сложными процессами, в зависимости от протекания которых все виды деформации могут быть распределены на 2 группы:

- деформация и сжатие, при которых частицы сближаются, укладываясь более плотно;
- деформация сдвига сопровождается смещением частиц, изменением их взаиморасположения (рисунок 11).



**Рисунок 11 – Виды деформаций в грунтах:**  
а) деформационное сжатие, б) деформационный сдвиг

Деформационные свойства грунтов: сжимаемость. Под сжимаемостью понимается способность грунтов уменьшаться в объеме (давать осадку) под воздействием внешнего давления (нормальных напряжений). Сжимаемость зависит от пористости грунтов, гранулометрического и минералогического состава, природы внутренних структурных связей и характера нагрузки.

Деформационными характеристиками сжимаемости являются: коэффициент сжимаемости  $m_0$ ,  $\text{МПа}^{-1}$ ; коэффициент относительной сжимаемости  $m_v$ ,  $\text{МПа}^{-1}$ ; модуль общей деформации  $E_0$ ,  $\text{МПа}$  и структурная прочность грунта  $P_{\text{стр}}$ ,  $\text{МПа}$ .

Одним из способов определения характеристик сжимаемости в лабораторных условиях являются компрессионные испытания. Это испытания грунта в условиях одноосного сжатия без возможности бокового расширения. Компрессионное сжатие моделирует процесс уплотнения грунта под центром фундамента (рисунок 12).

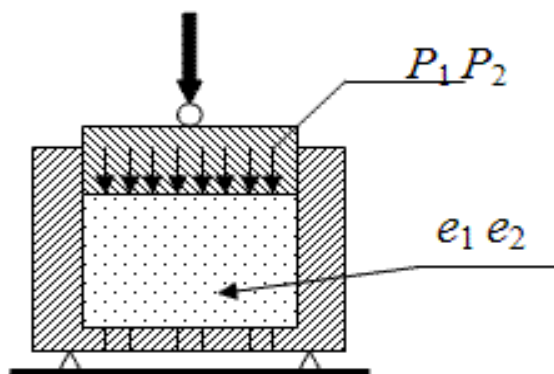


Рисунок 12 – Компрессионные испытания грунтов

При сжатии грунта в компрессионном приборе диаметр образца не меняется. Поэтому относительная вертикальная деформация грунта равна относительному изменению объема. Уплотнение грунта происходит главным образом вследствие уменьшения объема пор.

Зная коэффициенты пористости грунта при соответствующих ступенях нагрузки, можно построить компрессионную кривую (рисунок 13). Если после уплотнения образца внешним давлением произвести его разгрузку, то деформации восстановятся тем полнее, чем выше упругие свойства грунта.

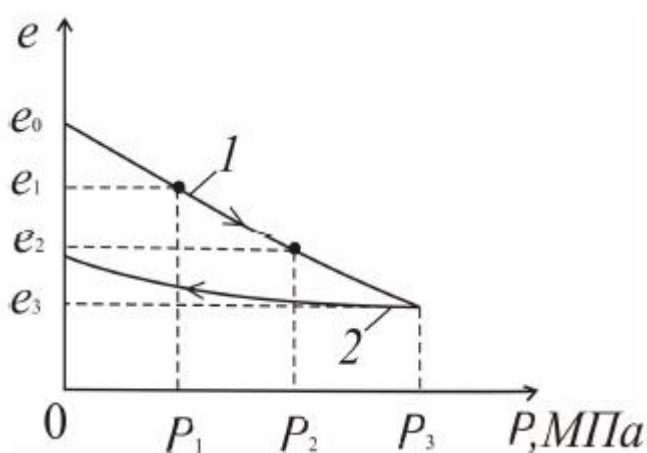


Рисунок 13 – Компрессионная кривая  
1 – ветвь нагрузки, 2 – ветвь разгрузки.

*Прочностные свойства грунта* – характеризуют силы сопротивления грунта сдвигу при действии на него внешних силовых воздействий. Прочностные свойства грунтов характеризуют поведение грунта под нагрузками, равными или превышающими критические, и определяются только при разрушении грунта. Потеря прочности материала осуществляется, как правило, путем его разрыва и (или) сдвига.

Прочность на сдвиг – это соотношение сжимающего вертикального ( $\sigma$ ) и сдвигающего горизонтального, или касательного ( $\tau$ ) напряжений. Их воздействие на грунт в двух плоскостях ведет к тому, что частицы перемещаются относительно друг друга. Возникают деформации, которые в определенный момент ведут к разрушению грунта. Чем больше нагрузка сжатия, тем сильнее должен быть сдвиг, чтобы грунт потерял свою целостность.

Параметры прочности чаще определяют в лабораторных условиях на одноплоскостных приборах прямого среза. Также сопротивление грунта сдвигу (предельное) может быть установлено испытанием его образцов на прямой сдвиг (срез) путем трехосного сжатия.

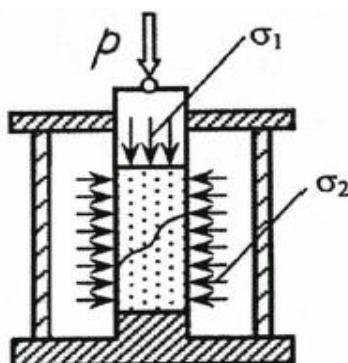
Метод одноплоскостного среза имеет две схемы:

1) Медленного среза (консолидировано-дренированного) – не учитывает водонасыщение.

2) Быстрого среза (неконсолидированного) – для глинистых грунтов и плодородных почв с текучестью менее 0,5 и для просадочных разновидностей, полностью насыщенных водой.

В опытах используют образцы с природным сложением либо заданной плотностью и пористостью (при изъятии из предварительно уплотненных массивов). Глинистые грунты и песок берут в состоянии естественной влажности, а просадочные – полностью насыщенные влагой.

Сопротивление грунта сдвигу (предельное) может быть установлено испытанием его образцов на прямой сдвиг (срез) путем трехосного сжатия (рисунок 14).



**Рисунок 14 – Схема испытания грунта в приборе трехосного сжатия (стабилометре)**

Испытание проводится в камере, где материал имеет возможность расширяться в стороны. Его сдавливают в горизонтальной и вертикальной



плоскости ( $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ), по соотношению разнонаправленных нагрузок определяют прочность.

Испытания производят на приборе стабилометре. Образец грунта цилиндрической формы заключают в водонепроницаемую резиновую оболочку и вначале подвергают его всестороннему гидравлическому давлению, а затем к образцу ступенями прикладывают вертикальное давление, доводя образец до разрушения.

На сцепление и сопротивление сдвигу скальных грунтов влияют такие факторы:

1) Тип и прочность структурных связей. Грунты с кристаллическими решетками (магматические и метаморфические) намного прочнее, чем осадочные. В последних преобладают цементационные связи, образованные глинистыми минералами (слюдой, каолином), кремнистыми и железистыми соединениями, известняком.

2) Зернистость. Грунты, состоящие из мелких зерен (граниты, диориты), лучше сопротивляются сдвигу, чем крупнозернистые и крупнокристаллические (габбро). Это связано с большим количеством связей между отдельными элементами.

3) Однородность структуры. В скальных грунтах встречаются включения более слабых пород. Если их много, структура становится неоднородной, и прочность на сдвиг падает.

4) Текстура. Эта характеристика влияет на сопротивляемость сдвигу слоистых грунтов. Прочность на сдвиг повышается, если напряжение направлено поперек слоев, и, наоборот, резко падает при направлении давления параллельно слоям.

5) Пористость и трещиноватость. Эти признаки в грунте появляются вследствие выветривания и ведут к снижению всех видов прочности.

6) Количество и состав поровой жидкости. Сопротивление сдвигу снижается при повышении влажности, насыщении воды солями двухвалентных металлов (магния или кальция). Наиболее ярко эта тенденция выражена в частично

*Сопротивление сдвигу несвязных дисперсных грунтов.* Прочность при сдвиге несвязных грунтов довольно низкая. Их зерна контактируют между собой только посредством трения. Такая физическая связь быстро разрывается под воздействием касательных напряжений. Сопротивление горизонтальным нагрузкам будет зависеть от угла откоса и угла внутреннего трения.

*Сопротивление сдвигу у скальных грунтов.* Прочность на сдвиг у скальных грунтов намного выше, чем у дисперсных. Это связано с высоким показателем сцепления. Сопротивление сдвигу особенно высокое у монолитных пород с минимальными признаками выветривания.

Прочность на сдвиг определяют:

- перед возведением зданий любого уровня; растворимых осадочных грунтах (гипсе, доломите, меле).

- при прокладке дорог всех классов;

- при возведении насыпей;
- при строительстве дамб и плотин;
- при разработке карьеров (для расчета крутизны стенок);
- при разработке способов крепления шахт и подземных выработок;
- для прогнозирования оползней в горной местности и укрепления склонов;
- при разработке плана укрепления речных берегов.

*Фильтрационные свойства грунта* – характеризуют движение свободной воды в порах грунта в условиях, когда поток воды почти полностью заполняет поры грунта, т. е. содержится относительно небольшое количество газа, заземленного в скелете грунта.

Изучение воды в грунте, ее свойств, условий распространения и законов движения – одна из важнейших задач механики грунтов. Это обуславливается влиянием влажности грунта на его механические свойства и тем, что процесс уплотнения грунта может происходить только при отжати избыточной влаги из пор грунта деформируемого основания.

В практике строительства существует большое количество задач, связанных с движением воды через грунт. К примеру, определение изменения уровня грунтовых вод при осушении или при подтоплении территории; расчет притока воды в котлован или траншею; расчет дренажных систем, расчет фильтрации берегов в результате строительства плотин и др.

В общем случае вода может совершать движение через грунт под действием:

- разности давлений водяного пара;
- сил поверхностного натяжения;
- разности осмотического давления связанной воды;
- разности гидростатических напоров.

*Разность давлений водяного пара.* Как известно давление водяного пара зависит от температуры воздуха. Если в какой-либо воздухосодержащей среде возникает температурный градиент, водяной пар начинает перемещаться в направлении понижения температуры. Грунтовая среда обладает высокой парапроницаемостью и при сезонном колебании температуры у дневной поверхности под действием разности давления водяного пара влага в грунте совершает движение из более глубоких слоев основания к поверхности (к примеру в зимнее время).

*Силы поверхностного натяжения* (капиллярное движение воды). Поры грунта можно рассматривать как тонкие капилляры, которые, как правило, не замкнуты и соединяются друг с другом. Так как грунт хорошо смачивается водой, действие сил поверхностного натяжения, приводит к движению воды через поры грунта и к поднятию общего уровня грунтовых вод.

*Разность осмотического давления связанной воды* возникает в случае, если толщины пленок связанной воды у смежных частиц грунта не одинаковые. Происходит перетекание воды от одной частицы к другой до тех пор, пока толщины плёнок не выровняются.

*Действие разности гидростатических напоров* выражается согласно принципа сообщающихся сосудов: при разном уровне водяного столба (напоров) в сообщающихся объемах, возникает движение воды, продолжающееся до выравнивания уровней.

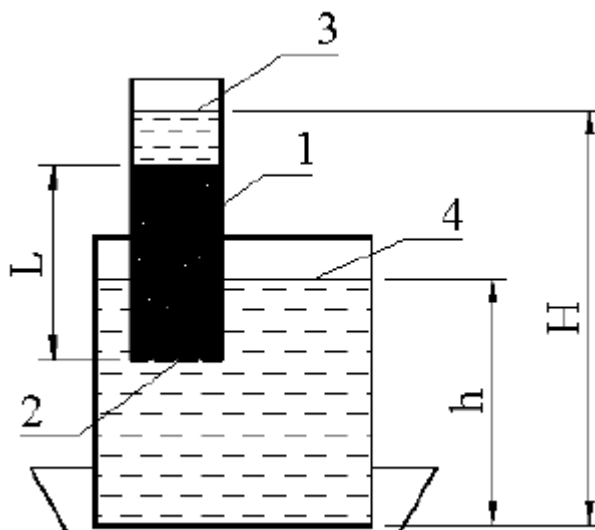
Аналогичное движение воды возникает в грунтовой среде при выполнении следующих условий:

- в порах грунта имеется определенный объем воды в свободном состоянии;
- вода в грунте гидравлически непрерывна;
- разный уровень гидростатических напоров.

Движение воды под действием гидростатических напоров представляет наибольший практический интерес.

*Закон ламинарной фильтрации Дарси.*

Впервые опыты по фильтрации грунта были проведены французским учёным Дарси. Дарси измерял расход воды при фильтрации ее через цилиндр с песком площадью поперечного сечения (рисунок 15).



**Рисунок 15 – фильтрации поровой воды в приборе Дарси:  
1 – песок; 2 – сетка; 3, 4 – уровни воды на входе и выходе**

Закон ламинарной фильтрации Дарси гласит: Скорость фильтрации поровой воды прямо пропорциональна градиенту гидравлического напора.

*Реологические свойства* характеризуют поведение грунта под нагрузками во времени.

Практически все грунты испытывают во времени те или иные напряжения под действием которых они уплотняются, разуплотняются, сдвигаются, разрушаются, меняют объем и форму.

Реологические свойства грунтов проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений, снижения прочности при длительном воздействии нагрузок.

Ползучестью называется процесс возникновения (изменения) деформаций ( $\epsilon$ ) во времени ( $t$ ) при действии на грунт постоянного напряжения ( $\sigma = \text{const}$ ).

Развитие ползучести во времени происходит в одну или несколько стадий (рисунок 16).

Первый сценарий – когда скорость деформирования затухает и с течением времени падает до нуля (отрезок ОА). Этот вид ползучести называют затухающей (ограниченной). В стадии затухающей ползучести возникают микротрещины, но одновременно образуется значительно большее число новых связей и увеличивается сопротивление разрушению существующих связей вследствие развивающихся деформаций.

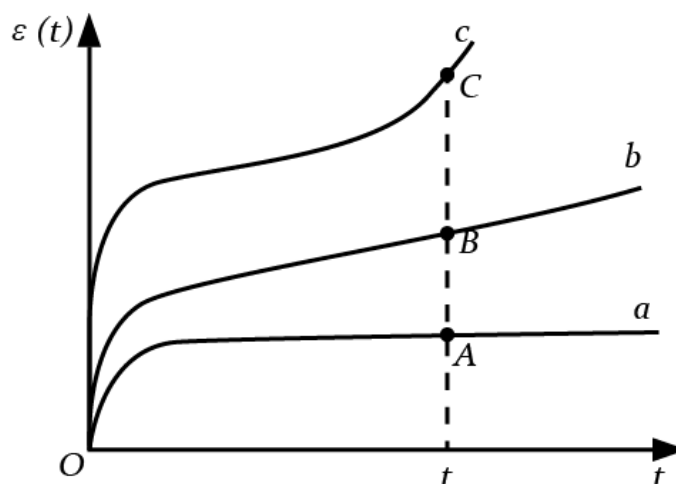


Рисунок 16 – Стадии ползучести на кривых деформации во времени  
 $a$  – затухающая,  $b$  – установившаяся,  $c$  – прогрессирующего течения

Второй сценарий – когда ползучесть происходит на значительном интервале времени с постоянной скоростью деформирования (отрезок ОВ). Данный вид ползучести называют установившейся.

В стадии установившейся ползучести наблюдается равновесие между прочностью грунта, теряемой в результате разрушения связей, и прочностью, приобретаемой грунтом вследствие возникновения водно-коллоидных и молекулярно-контактных связей. Данными факторами обуславливается пластично-вязкое течение деформаций.

Третий сценарий – когда скорость деформирования грунта резко возрастает (отрезок ОС). При этом количество дефектов в связях увеличивается, соответственно возникновение новых связей зачастую уменьшается. Такой вид ползучести называют *прогрессирующей* (неограниченной). Прогрессирующее течение деформации при неизменном напряженном состоянии всегда заканчивается разрушением образца грунта.

Все виды ползучести определяются величиной нормальных напряжений. При напряжениях, превышающих порог ползучести в грунтах протекает прогрессирующая ползучесть. И наоборот, при напряжениях меньше порога ползучести, для грунта характерна затухающая ползучесть.

Низкие параметры ползучести характерны для глинистых грунтов, которые в наибольшей степени подвержены течению даже при незначительных напряжениях сдвига. Ползучесть при сдвиге вдоль слоистости (или вдоль

ориентации частиц) всегда характеризуется более низкими параметрами и большей скоростью течения, чем поперек слоистости. В песчано-глинистых грунтах параметры сдвиговой ползучести зависят от гранулометрического состава, в частности от содержания глинистой фракции. С уменьшением содержания глинистой фракции при прочих одинаковых условиях снижаются предельные напряжения сдвига ( $\tau_1, \tau_2$ ), падает вязкость и сужается область развития пластических деформаций.

Параметры ползучести при сдвиге зависят от плотности и влажности грунтов: чем плотнее грунт, тем меньше его влажность, тем выше все параметры ползучести и меньше ее скорость.

Ползучесть глинистых грунтов зависит от консистенции: грунты твердой консистенции имеют довольно высокие параметры ползучести, у пластичных грунтов они снижаются, а у грунтов текучей консистенции они самые низкие. Большое влияние на ползучесть при сдвиге оказывает температура. Повышение температуры (и в области отрицательных и в области положительных температур) приводит к снижению всех параметров ползучести и увеличению скорости сдвига.

*Объемной ползучестью* называется развитие во времени объемных деформаций ( $\epsilon_v$ ) грунта, возникающих в общем случае под действием постоянных средних эффективных напряжений (рисунок 17). Деформация объемной ползучести являются затухающими и нелинейными, а развивающимися в скелете грунта во времени вследствие вязкого сопротивления межчастичных связей.

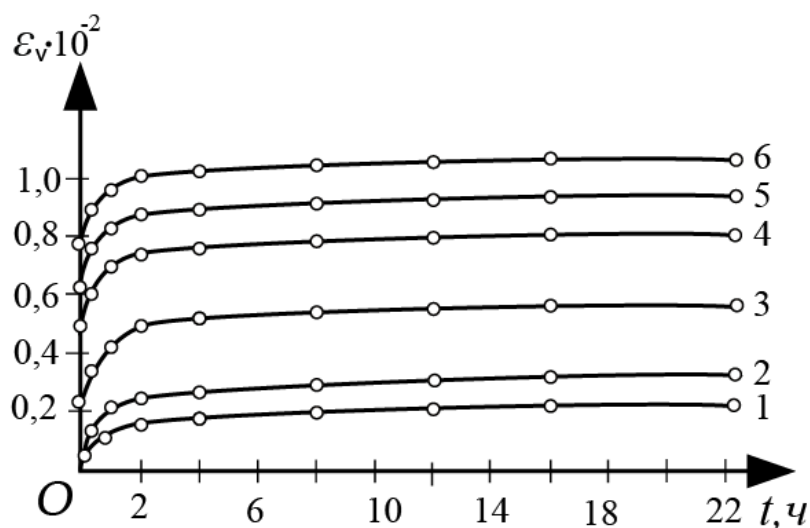


Рисунок 17 – Кривые объемной ползучести мерзлой супеси

В ходе объемной ползучести изменяется объем грунта за счет отжатия из его пор воды и (или) вытеснения порового воздуха. Поэтому объемная ползучесть может развиваться как в сухих, так и влажных грунтах, талых и мерзлых, скальных и дисперсных. Объемную ползучесть изучают в приборах трехосного сжатия в условиях открытой системы (дренированные испытания)

или закрытой системы (недренированные испытания для не полностью водонасыщенных грунтов).

*Релаксацией напряжений* называют процесс изменения (уменьшения) напряжений ( $\sigma$ ) во времени ( $t$ ) при сохранении постоянной деформации ( $\varepsilon$ ), т. е.  $\sigma = (t \rightarrow \infty \text{ и } \varepsilon = \text{const})$ .

*Время релаксации* – если система выведена из состояния равновесия, то время в течении которого она оставленная без воздействия из вне, переходит в равновесное состояние, называется временем релаксации  $t_r$ .

В грунте релаксация происходит за счет процессов внутренних микроструктурных изменений, сопровождающихся упругими и пластическими микродеформациями и перераспределением напряжений между частицами во времени при сохранении постоянной общей деформации.

Основным параметром, характеризующим релаксацию, является время релаксации – время достижения системой состояния равновесия. При оценке релаксации напряжений в твердых телах время релаксации как бы характеризует «подвижность» материала и соответствует так называемому времени оседлой жизни частицы в положении равновесия. У жидкостей время «оседлой жизни» молекул в миллион раз меньше, чем у кристаллических твердых тел. Поэтому, чем меньше величина время релаксации, тем в большей степени материал приближается к жидкости, и наоборот.

## 1.7. Определение напряжений в массиве грунта

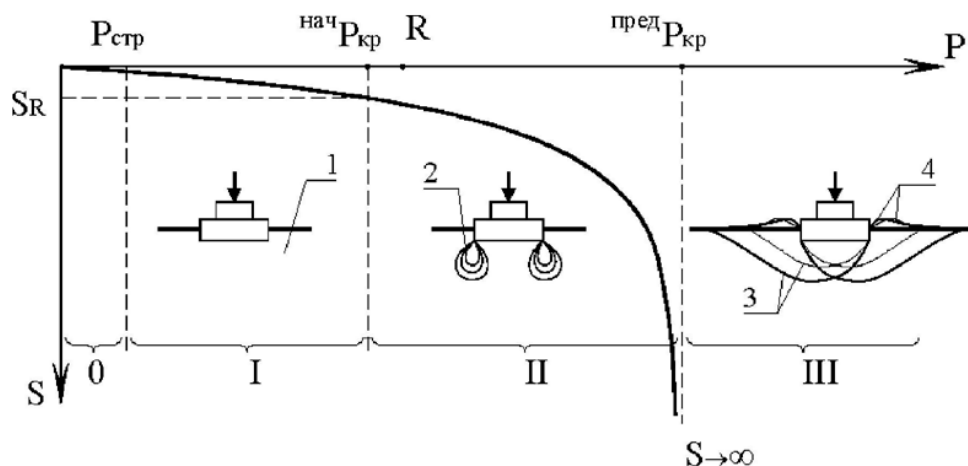
Вопрос о распределении напряжений, передаваемых от фундамента грунту, имеет очень важное значение для оценки прочности и устойчивости основания, расчета деформации грунтов активной зоны и определения давления на ограждающие конструкции. Причем прочность и устойчивость сооружений зависят не только от напряжений в грунте по подошве сооружения, но и от напряжений нижележащих слоев грунта, т.к. напряжения, возникающие в грунтах при действии на них нагрузок, рассеиваются в грунтовой толще.

Очень важно установить пределы грунтовой толщи, воспринимающей нагрузку от фундамента и величину действующих напряжений в каждой точке грунтового массива. Для решения этих вопросов в механике грунтов применяют уравнения теории упругости, которые справедливы не только для упругих тел, но и для любых сплошных линейно деформируемых тел (т.е. уравнения теории упругости будут справедливы только в пределах линейной зависимости между напряжениями и деформациями).

Таким образом, основными предпосылками для определения напряжений в грунтах являются следующие:

- грунт рассматривается как сплошное, однородное, изотропное тело (т.е. обладающее одинаковыми свойствами по всем направлениям);
- грунт рассматривается как линейно деформируемое тело, процесс сжатия которого от действия внешней нагрузки уже закончился.

Фазы напряженно-деформированного состояния грунта изучаются с целью установления расчетных моделей деформирования грунтового основания, приемлемых для инженерных расчетов его прочности, устойчивости, сжимаемости, горизонтальных и угловых перемещений. В связи с этой проблемой традиционно рассматривается график испытания грунтового основания штампом, изображающий зависимость осадки штампа от средних напряжений, действующих по его подошве (рисунок 18).



**Рисунок 18 – Фазы напряженно-деформированного состояния грунта:**

$R_{стр}$  – структурная прочность;  $начР_{кр}$  – начальное критическое давление;  $предР_{кр}$  – предельное критическое давление;  $R$  – расчетное сопротивление грунта;  $0$  – фаза упругой работы; I – фаза уплотнения; II – фаза сдвигов; III – фаза выпоров; 1 – основание в допредельном состоянии; 2 – зоны сдвигов; 3 – линии скольжения; 4 – зоны выпоров

Рассматриваемый пример соответствует такому состоянию грунта, в котором отсутствует избыточное поровое давление. Опыты, проводимые в таких грунтах, называются опытами по дренированно-консолидированной схеме, а получаемые в таких опытах осадки называются стабилизированными (конечными).

## 1.8. Оценка несущей способности грунтов оснований

*Несущая способность грунтов* – это его основанная характеристика, которую необходимо определять и знать при строительстве, реконструкции здания, сооружения.

Несущая способность показывает какую нагрузку может выдержать единица площади грунта, и измеряется в  $кг/см^2$  или  $т/м^2$ .

Несущая способность определяет, какой должна быть опорная площадь фундамента здания или сооружения. В зависимости от несущей способности грунта, рассчитывают и опорную площадь фундамента (чем хуже способность грунта выдерживать нагрузку, тем больше должна быть площадь фундамента).

Сама несущая способность грунта зависит от трех факторов:

1. тип грунта
2. степень его уплотненности
3. насыщенность грунта влагой.

Увеличение влажности грунта снижает его несущую способность в несколько раз. Только крупные пески и пески средней крупности не меняют своих свойств при увеличении влажности.

Несущая способность грунтов оснований оценивается совместно с фундаментами и наземными конструкциями. Задачей проектирования является обеспечение их устойчивости при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок и воздействий. Потеря устойчивости грунтов основания неизбежно влечет за собой большие деформации и даже потерю устойчивости всего или части сооружения.

Несущую способность грунтов, при которой сохраняется целостность сооружения и возможность его нормальной эксплуатации, называют *расчетным сопротивлением грунтов*.

Оценка несущей способности грунтов не может быть абсолютной. Она в значительной степени зависит от конструкции проектируемого сооружения, величины и характера передаваемых нагрузок на основание.

*Снижение* несущей способности грунтов оснований во многих случаях связано с изменением гидрогеологического режима на площадках строительства и в период эксплуатации сооружений при повышении или понижении уровня грунтовых вод, а также с увеличением природной влажности грунта при замачивании оснований.

При *недостаточной* несущей способности грунтов основания увеличивают площадь фундаментов. Фундамент под столбы и колонны чаще всего усиливают по всему периметру его подошвы. Банкетты и существующие фундаменты должны быть соединены жестко.

Для оценки несущей способности грунтов основания должны быть получены материалы, позволяющие ориентировочно, но вполне достоверно установить возможность восприятия грунтом веса проектируемого сооружения. Для этого толща пород основания расчленяется на отдельные пласты и дается характеристика степени однородности и физико-механических свойств каждого из них. Одновременно получают данные, необходимые для расчета ожидаемых осадок сооружений. При рабочем проектировании несущая способность грунтов принимается только на основании результатов исследования их на площадке.

Для выявления резервов в несущей способности грунтов оснований, обусловленных заниженными требованиями норм, представляется целесообразным изучить и проанализировать ранее применявшиеся методы проектирования оснований, а также значения допустимых старыми нормами давлений на основные разновидности грунтов. Это необходимо и потому, что реконструкции или капитальному ремонту с повышением нагрузок подвергаются главным образом здания и сооружения дореволюционной или довоенной постройки. Кроме того, анализ опыта надстройки большого числа



зданий и изучение свойств грунтов их оснований, длительно уплотнявшихся под нагрузкой от фундаментов, позволяют с высокой степенью достоверности вводить повышающие коэффициенты к несущей способности, определенной для грунтов ненарушенной структуры.

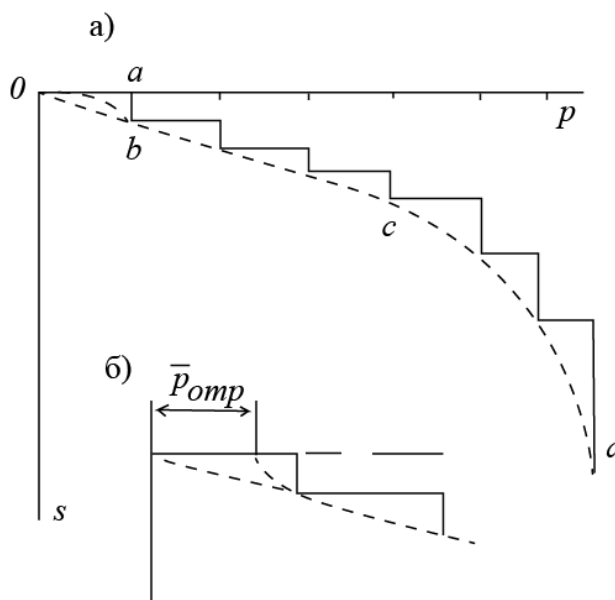
*Механические процессы в грунтах.*

Рассмотрим механические процессы, возникающие в грунтах при действии местной постепенно возрастающей нагрузки.

Пусть на поверхность грунта через жесткий штамп ограниченных размеров прикладывается нагрузка и все время производятся наблюдения за осадками штампа. В рассматриваемом случае механические процессы будут значительно более сложными, чем, например, описанные ранее при компрессионном сжатии, когда наблюдаются только затухающие деформации, так как любой элемент грунта в компрессионном приборе испытывает только нормальные напряжения без возможности бокового расширения.

При действии же местной нагрузки произвольно выделенный элемент грунта испытывает кроме нормальных и касательные (сдвигающие) напряжения, которые при достижении определенного значения могут вызвать появление местных необратимых скольжений (сдвигов). Поэтому при действии местной нагрузки могут иметь место как затухающие деформации уплотнения, так и (при определенном значении внешней нагрузки) незатухающие деформации сдвига, переходящие при соответствующих условиях в пластическое течение, выпирание, просадку и т. п.

На рисунке 19, а приведена типичная кривая деформаций грунта при действии на его поверхность местной, возрастающей ступенями нагрузки.



**Рисунок 19 – Зависимость между деформациями и давлением при возрастании нагрузки на грунт:**

**а – кривая деформаций при ступенчатом загрузении,**

**б – начальный участок кривой деформации**

## 1.9. Устойчивость откосов

Устойчивость свободных откосов и склонов.

Причины нарушения устойчивости. Анализ устойчивости массивов грунта имеет большое практическое значение при проектировании земляных сооружений: насыпей, выемок, дамб, земляных плотин, больших вскрышных котлованов, имеющих иногда глубину 100 м и более, и других подобных сооружений.

Задача устойчивости массивов грунта является частной задачей общей теории предельного напряженного состояния грунтов, но имеет весьма существенные особенности, обусловленные спецификой движения масс при нарушении их устойчивости.

Главнейшими причинами нарушения устойчивости земляных масс будут:

- 1 – эрозионные процессы
- 2 – нарушение равновесия.

Эрозионные процессы, протекают, как правило, весьма медленно, незаметно; зависят они от внешних метеорологических и физико-геологических условий, а также от свойств поверхности массива грунта и обычно не рассматриваются в механике грунтов.

Изучение же условий устойчивости массивов грунта и их нарушений – прямая задача механики грунтов.

Нарушение равновесия массивов грунта может происходить внезапно со сползанием значительных масс грунта – такие нарушения равновесия называют оползнями. Этот вид нарушения равновесия встречается наиболее часто и происходит в различного рода откосах и природных склонах как при увеличении действующих на массив нагрузок, так и при уменьшении внутренних сопротивлений.

Причины нарушения устойчивости.

1) Увеличение крутизны откоса (подмыв берегов реки).

2) Увеличение нагрузки на откос (строительство на бровке). Увеличение нагрузок может иметь место при возведении сооружений на откосах и склонах при давлении от них, превосходящем некоторый предел, и при изменении веса слоев грунта (его возрастании) при насыщении их водой в условиях продолжительных дождей и паводков, а также вследствие подвешивания капиллярной влаги при понижении уровня грунтовых вод.

3) Обводнение грунтов (уменьшение механических характеристик:  $C$ ;  $\varphi$  и увеличение объемного веса грунта).

Уменьшение сопротивлений происходит как при всяком разрушении естественных упоров массивов грунта, так и при уменьшении эффективного трения (при наличии порового давления) и сил сцепления (при увлажнении и набухании грунтов).

4) Деятельность строителей (устройство котлованов, выработок с вертикальными стенками).

Можно различать следующие основные виды оползней:

1 – оползни вращения (с возникающими криволинейными поверхностями обрушения) (в движение приходит весь массив грунта в целом, характерно для грунтов, обладающих трением и сцеплением);

2 – оползни скольжения (по зафиксированным поверхностям) (осыпь) (характерно для песчаного грунта);

3 – оползни разжижения (грязевые потоки перенасыщенных водой грунтов по выработанным руслам и тальвегам) (для водонасыщенных грунтов при динамических воздействиях).

### **1.10. Деформация основания и расчет осадок фундаментов**

Основными причинами развития неравномерных осадок уплотнения являются неоднородность основания и неоднородность напряженного состояния.

К неоднородности основания относятся: выклинивание слоев под отдельными частями здания, линзообразное залегание грунтов, неодинаковая толщина слоев, различие в плотности грунта, использование различных слоев грунта под отдельными частями здания (скала и сжимаемый грунт, скопление валунов, старые фундаменты) и др.

Неоднородность напряженного состояния грунтов в основании обуславливается неодинаковой загрузкой фундаментов, взаимным влиянием загрузки соседних фундаментов, одновременной консолидацией грунтов в основании и пр.

Развитие неравномерных осадок уплотнения обычно не заканчивается в период строительства, а продолжается в первые годы или же десятилетия эксплуатации (на пылевато-глинистых грунтах).

Неравномерные осадки разуплотнения связаны с откопкой котлована и уменьшением напряжений ниже его дна. Величина их неравномерности зависит от неоднородности основания и изменения напряженного состояния при откопке (глубины котлована, наличия подземных вод и других факторов). Эти осадки обычно заканчиваются в период строительства.

Неравномерные осадки выпирания связаны с развитием пластических деформаций грунта основания. Они могут развиваться, если давление по подошве фундамента превышает расчетное сопротивление грунта. Это чаще всего происходит при увеличении нагрузки на фундаменты во время эксплуатации зданий (при заниженной величине заглубления подошвы фундамента по отношению к полу подвала).

Неравномерные осадки расструктурирования связаны с нарушением структуры природного грунта в период производства строительных работ, особенно работ нулевого цикла. Развитие осадки расструктурирования, как правило, заканчивается в период строительства и значительно реже — в первые годы эксплуатации.

Неравномерные осадки в период эксплуатации зданий могут развиваться под воздействием уплотнения грунтов, различных вод (грунтовых, ливневых,

производственных), ослабления подземными и котлованными выработками, динамики, геологических процессов и других факторов.

При наличии достаточно большой толщи однородных пылевато-глинистых грунтов и равномерно приложенной нагрузки по длине здания происходит блюдцеобразное понижение поверхности (прогиб), которое распространяется иногда далеко за пределы загруженной площадки. Средняя часть здания вогнута, а края наклоняются к центру загруженной площадки. Такой характер деформации объясняется тем, что на угловых участках нагрузка распределяется по большей площади, распространяясь вперед за пределы конца стены. Следовательно, концы стен, получая большую площадь опоры, имеют и меньшую осадку. При такой деформации по краям стен могут возникать наклонные трещины, идущие от краев к середине под углом примерно  $45^\circ$ . Нижние концы трещин направлены в сторону меньших осадок. В средней части здания часто образуется трещина в виде перевернутого знака у: более широкая внизу и сужающаяся кверху. В верхней части стены по середине здания могут быть признаки разрушения кладки от раздробления. Если в стенах имеются горизонтальные пояса, то под ними в средней части здания могут появиться горизонтальные трещины. Деформации прогиба могут появляться, если под фундаментами в средней части здания имеются участки слабых грунтов или пустот, если средняя часть здания несет большую нагрузку, если в основании торцевых частей здания имеются твердые включения (скала, скопления валунов).

Деформацию выгиба испытывают здания с тяжелыми каменными стенами и слабонагруженными внутренними колоннами, а также при наличии слабых или ослабленных оснований в торцевых частях здания, расположенных рядом котлованов или траншей (за счет выдавливания грунта из-под несущего пласта основания), построек около торцевых частей зданий, значительного количества жестких включений под серединой здания и т. п. Углы в этом случае садятся больше и наклонные трещины имеют большую ширину вверху. Направление нижних концов трещин — также в сторону меньших осадок, т. е. к середине здания. Наружные стены могут наклоняться кнаружи, образуя v-образные трещины в соединениях с поперечными стенами. Особенно часто это встречается при внецентренном нагружении фундаментов наружных поперечных стен. В зависимости от конфигурации общей осадки соответствующие наклонные трещины появляются во внутренних стенах. При этом перекашиваются дверные рамы (проемы являются ослабленными местами в стенах и здесь концентрируются напряжения). Перекрытия, опирающиеся на рамы каркаса, могут испытывать большие осадки без повреждений, но если они опираются непосредственно на грунт или на отдельные фундаменты, оседающие независимо от стен, могут возникать серьезные повреждения и расстройство в стыках. Деформация выгиба значительно опаснее прогиба, так как трещины раскрываются вверху, а это может привести к тому, что торцевые стены потеряют устойчивость, перекрытия обрушатся и т. п.

Осадка крайних частей здания или сооружения возникает обычно по причинам, указанным выше, но оказывающим влияние на одну из торцевых частей здания. Этот вид деформации также является опасным.

Перекос здания или сооружения возникает в результате разности осадок соседних или нескольких расположенных в ряд фундаментов за счет разной нагрузки на рядом расположенные фундаменты или наличия слабых или ослабленных грунтов под одним из фундаментов. Перекос приводит к возникновению косых трещин, что особенно опасно в узких простенках.

Крен (наклон) испытывают жесткие сооружения при неравномерных осадках отдельных фундаментов. Причинами этого вида деформаций могут быть различные факторы. Крен фундамента приводит к повороту нижней части конструкций.

Скручивание сооружений возникает при развитии крена в разных частях длинного сооружения в противоположные стороны. Наибольшие повреждения получают, как правило, верхние этажи отдельных конструкций или здания в целом.

Обычно сооружения подвергаются одновременно различным деформациям, некоторые из них могут являться преобладающими, а другие – слабо выраженными.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### Тематика практических занятий

#### Задание № 1

*Тема:* Физическая природа грунтов.

*Цель работы:* Ознакомиться с основными видами грунтов.

*Ход работы:* Используя СТБ943-2007 ознакомиться с классификациями природных скальных грунтов, природных дисперсных грунтов, природных мерзлых и техногенных грунтов. Дать сравнительную характеристику классификаций грунтов Республики Беларусь и стран СНГ.

*Форма контроля:* – заполнение таблиц данных, пересылка материалов работы преподавателю в систему ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

#### Задание № 2

*Тема:* Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями.

1. *Цель работы:* Провести сравнительную характеристику особых видов грунтов с неустойчивыми структурными связями.

*Ход работы:*

При помощи конспекта лекций и материалов из открытых источников:

1. Определить факторы, обеспечивающие причины возникновения просадочных свойств в грунтах.

2. Проанализировать способы устранения просадочности, причины возникновения набухания, способы снижения и исключения неблагоприятных воздействий от набухания или усадки.

3. Определить способы устройства искусственных оснований и фундаментов на лёссовых, набухающих глинистых, слабых водонасыщенных глинистых, засоленных, торфяных и заторфованных, мерзлых и насыпных грунтах.

*Форма контроля:* построение таблиц данных:

– по снижению и исключения неблагоприятных явлений в структурно-неустойчивых грунтах;

– по способам устройства искусственных оснований и фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах.

Пересылка материалов работы преподавателю в систему ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

### Задание № 3

*Тема:* Физические свойства грунтов.

*Цель работы:* Изучение группы опытных и расчетных характеристик для определения физических свойств грунта.

*Ход работы:* при помощи конспекта лекций и материалов из открытых источников определить физические характеристики песчаного и глинистого грунтов. Дать их строительную классификацию.

*Форма контроля:* пересылка материалов работы преподавателю в системе ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

### Задание № 4

*Тема:* Механические свойства грунтов.

*Цель работы:* Закрепить навыки по определению деформационных, прочностных, фильтрационных свойств грунтов. Использование группы опытных и расчетных характеристик для определения механических свойств грунта.

*Ход работы:*

1. Определить механические характеристики песчаного и глинистого грунтов.

2. Определить условное расчетное сопротивление грунта.

*Форма контроля:* пересылка материалов работы преподавателю в системе ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

### Задание № 5

*Тема:* Определение напряжений в массиве грунта.

*Цель работы:* Закрепить навыки по определению напряжений в массиве грунта.

*Ход работы:*

1. Определить вертикальные сжимающие напряжения  $\sigma_z$  от действия сосредоточенных сил  $P_1$  и  $P_2$ , приложенных к поверхности массива грунта в точках, расположенных на оси  $Z$  по линии действия силы  $P_1$  и на горизонтальной площадке, на глубине  $H$ ;

2. Определить сжимающие напряжения под центром и под серединой длинной стороны прямоугольника на определенной от поверхности, при внешней нагрузке равномерно распределенной по прямоугольнику.

*Форма контроля:* пересылка материалов работы преподавателю в системе ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

#### Задание № 6

*Тема:* Распределение напряжений в массиве грунта.

*Цель работы:* Закрепить навыки по построению эпюры напряжений от собственного веса грунта.

*Ход работы:*

Определить напряжения от собственного веса грунта  $\sigma_{zq}$  до определенной глубины. Построить эпюру напряжений от собственного веса грунта

*Форма контроля:* пересылка материалов работы преподавателю в системе ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.

#### Задание № 7

*Тема:* Устойчивость откосов.

*Цель работы:* Закрепить навыки по определению коэффициента устойчивости откоса и определения видов давления грунта на подпорную стенку.

*Ход работы:*

1. Определение коэффициента устойчивости откоса, сложенного однородным грунтом с характеристиками  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$  при заданном положении кривой скольжения в виде дуги окружности.

2. Охарактеризовать виды давления грунта на подпорную стенку и условия их возникновения.

*Форма контроля:* пересылка материалов работы преподавателю в системе ДО.

Механика грунтов, основания и фундаменты (очная форма, магистратура 1 курс, осенний семестр) [электронный ресурс] / Система управления обучением Moodle (LMS Moodle) БГУ. – Режим доступа: <https://edugeo.bsu.by/course/view.php?id=75> – Дата доступа: 21.12.2022.



### 3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

#### 3.1. Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине

1. Цели и задачи курса, основные понятия и определения.
2. Основания и фундаменты крупнейших сооружений мира (сохранность, материалы). Исторический обзор развития науки.
3. Физическая природа грунтов: образование, структура, текстура.
4. Состав грунтов: размер, состав и свойства твердых частиц.
5. Состав грунтов: свойства воды и газа в грунте.
6. Основные виды грунтов и их классификации.
7. Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями.
8. Отбор, транспортировка, консервация и хранение образцов грунта
9. Основные расчетные модели грунтов: теории линейного и нелинейного деформирования грунта, теория фильтрационной консолидации, теория предельного напряженного состояния грунта.
10. Основные характеристики физических свойств грунтов: характеристики плотности, влажности и пористости грунта.
11. Физические свойства грунта: пределы и число пластичности.
12. Физические свойства грунта: максимальная плотность и оптимальная влажность.
13. Механические свойства грунта: основные закономерности сопротивления грунтов действию внешних нагрузок
14. Деформационные свойства грунтов: понятие о напряжениях, виды деформаций в грунтах.
15. Деформационные свойства грунтов: упругие и пластичные деформации, Факторы, влияющие на упругие свойства грунтов.
16. Деформационные свойства грунтов: Сжимаемость грунтов. Закон уплотнения.
17. Прочностные свойства грунтов: общие положения. Сопротивление грунта сдвигу для связанных и сыпучих грунтов. Закон Кулона.
18. Прочностные свойства грунтов: сопротивление грунта сдвигу путем трехосного сжатия. Круги Мора. Факторы, влияющие на сопротивление грунтов сдвигу. Понятие дилатансии и контракции в механике грунтов.
19. Фильтрационные свойства грунтов: влияние воды в грунте на решение основных задач механики грунтов
20. Фильтрационные свойства грунтов: движение воды под действием гидростатических напоров.
21. Фильтрационные свойства грунтов: закон ламинарной фильтрации Дарси. Начальный гидравлический градиент в глинистых фунтах.
22. Фильтрационные свойства грунтов: Эффективное и нейтральное давления в грунтовой массе. Теория фильтрационной консолидации.
23. Реологические свойства грунтов: основные понятия о реологических процессах.

24. Реологические свойства: ползучесть грунтов.
25. Реологические свойства: релаксация напряжений, длительная прочность грунтов
26. Определение напряжений в массиве грунта: фазы напряженно-деформированного состояния грунта. Применимость к грунту решений теории упругости.
27. Определение напряжений в массиве грунта: распределение напряжений в случае пространственной задачи от действия одной или нескольких сосредоточенных сил, действие равномерно распределенной нагрузки.
28. Определение сжимающих напряжений по методу угловых точек.
29. Способ элементарного суммирования.
30. Напряжения, возникающие от действия собственного веса грунта.

## 3.2. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа ведется на основании Положения о самостоятельной работе студентов (курсантов, слушателей), утвержденном Министром образования Республики Беларусь от 06 апреля 2015 г.

По изучаемой дисциплине планируется:

- выполнение творческих, исследовательских заданий;
- работа с литературными источниками, в том числе с научными статьями;
- изучение тем и проблем, не выносимых на лекции;
- научные доклады;
- написание тематических докладов и эссе на проблемные темы.

### Перечень рекомендуемых средств диагностики

- устные опросы – 25 %;
- собеседования – 25 %;
- отчет по практической работе – 25 %;
- реферат – 25 %.

### Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положение о рейтинговой системе БГУ;
3. Критерии оценки студентов (зачтено).
4. Итоговая оценка формируется из рейтинговой оценки итогового контроля текущей успеваемости (40%) и результата ответа на зачёте, экзамене (60%).

## 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

### 4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине

Номер темы	Название темы	Количество аудиторных часов						Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	УСР	Количество часов самостоятельной работы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение	2						собеседование
2	Физическая природа грунтов	2				2		собеседование
	Управляемая самостоятельная работа №1 (по темам приложения 1)					2		работа с карточками
3	Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями	2				2		собеседование
	Управляемая самостоятельная работа №2 (по темам приложения 1)					2		работа с карточками
4	Физические свойства грунтов	4	2	2				собеседование
	Практикум по определению физических свойств грунтов (по темам приложения 1)		2	2				проверка расчетно-графических работ / доклады
5	Механические свойства грунтов	6	2	6				собеседование
	Практикум по определению механических свойств грунтов (по темам приложения 1)		2	6				проверка расчетно-графических работ / доклады
6	Реологические свойства грунтов	2						Собеседование
1	2	3	4	5	4	7	8	9
7	Определение напряжений в массиве грунта	2	4					собеседование

	Практикум по определению напряжений в массиве грунта (по темам приложения 1)		4					проверка расчетно- графических работ
8	Распределение напряжений по подошве фундамента	2						собеседование
9	Оценка несущей способности грунтов оснований	4						собеседование
10	Устойчивость откосов	4	2					собеседование
	Практикум по определению устойчивости откосов (по темам приложения 1)		2					проверка расчетно- графических работ
11	Деформация оснований и расчет осадок фундаментов	6						собеседование

## 4.2. Рекомендуемая литература

### Основная

1. Красовская, И.А. Классификация оползней и масштабы их распространения на территории Беларуси / И.А. Красовская, И.И. Косинова, С.В. Андрушко. – Литосфера. – 2022 (№56). – С. 20-29.
2. Трацевская, Е.Ю. Влияние структурных особенностей и плотности дисперсных грунтов на результаты статического зондирования / Е.Ю. Трацевская. – Литосфера. – 2021 (№54). – С. 71-78.
3. Трацевская, Е.Ю. Влияние структурных связей на результаты определения механических характеристик дисперсных грунтов по данным статического зондирования / Е.Ю. Трацевская. – Литосфера. – 2021 (№55). – С. 118-124.

### Дополнительная

1. Алексеев, С.И. Механика грунтов: учебное пособие для студентов вузов / С.И. Алексеев. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. – 111 с.
2. Барац, Н.И. Механика грунтов / Учебное пособие // Н.И. Барац. – Омск: Изд-во СиБАДИ, 2008. – 106 с.
3. Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т.Трофимова. – 6-е изд., переработ, и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
4. Далматов, Б.И. и др. Механика грунтов. / Б.И. Далматов. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПб. – ГАСУ. – 2000.
5. Колмогоров, С.Г. Механика грунтов: Учебное пособие для студентов заочной формы обучения строительных специальностей / С.Г. Колмогоров, С.С. Колмогорова, П. Л. Клемяционок. – Санкт-Петербург – 2011. – 48 с.
6. Мангушев, Р.А. Механика грунтов. Решение практических задач: учеб. пособие / Р.А. Мангушев. – СПб., 2012. – 111 с.
7. Мащенко, А.В. Специальные разделы механики грунтов и механики скальных грунтов : учеб. пособие / А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев, Е.Н. Сычкина. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 176 с.
8. Никулин, А. В. Механика грунтов: Учебное пособие / А.В. Никулин, – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 151 с.
9. Петраков, А.А. Учебное пособие по курсу "Механика грунтов" / А.А. Петраков, В.В. Яркин, Р.А. Таран, Т.В. Казачек; Под ред. Петракова А.А. – Макеевка: ДонНАСА, 2004. – 164 с.
10. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.

12. ТКП 45–5.01–254–2012. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования. – Введ. 01.07.2012. – Минск : Минстройархитектуры, 2012. – 102 с.
13. ТКП 45–5.01–67–2007. Фундаменты плитные. Правила проектирования. – Введ. 01.09.2007. – Минск : Минстройархитектуры, 2007. – 140 с.
14. Ухов, С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник / С.Б. Ухов. – М.: Изд. АСВ, 1994 – 527 с.
15. Швецов, Г.И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк. – 1997.

### **4.3. Электронные ресурсы**

1. Журнал «Литосфера» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lithosphere.by>. – Дата доступа: 20.12.2022.
2. Электронная библиотека БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by>. – Дата доступа: 20.12.2022.