



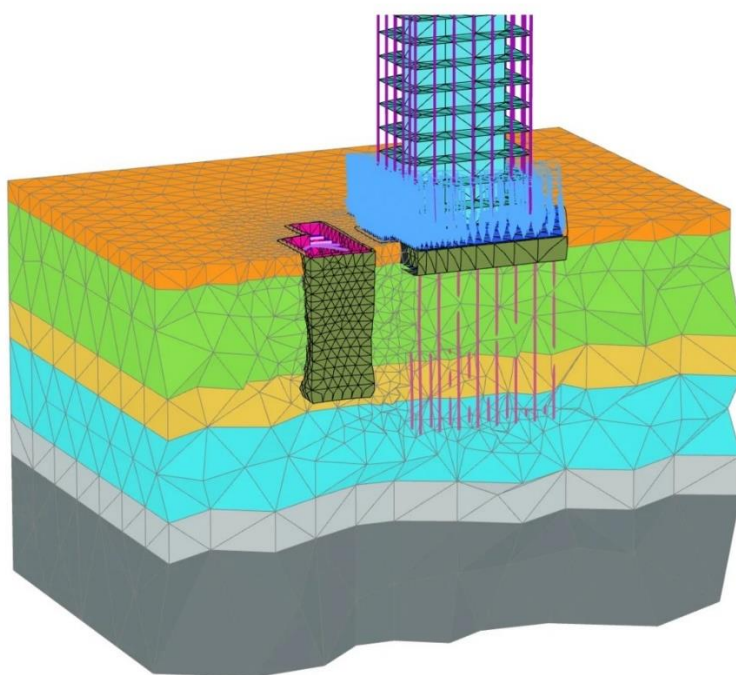
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»
в поселке Яблоновском

Кафедра транспортных процессов и техносферной безопасности

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

**Методические рекомендации
по организации самостоятельной работы студента**

для направления подготовки
08.03.01 Строительство
(для всех форм обучения)



поселок Яблоновский, 2026

УДК 624.131(075.8)
ББК 38.58я73
М-54

Печатается по решению кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности (протокол № 4 от 02.12.2025 г.)

Составители: Ягубов Эмин Зафар оглы, заведующий кафедрой транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском, доктор технических наук, доцент

Удодов Сергей Алексеевич, директор по научно-техническому сопровождению ЦРСТ, кандидат технических наук, доцент

Темрюк Мариет Шамсудиновна, старший преподаватель кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском

Механика грунтов: Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента для направления подготовки 08.03.01 Строительство – пос. Яблоновский, 2026. – 13 с.

Методические рекомендации составлены в соответствии с требованиями ГОС ВО и раскрывают теоретико-методологические характеристики и способы организации самостоятельной работы студентов, позволяющие более эффективно работать с учебной и научной литературой, критически осмысливать прочитанный и изученный материал по дисциплине «Механика грунтов».

ВВЕДЕНИЕ

Механика грунтов — одна из основополагающих дисциплин в подготовке инженера-строителя. Она изучает физико-механические свойства грунтов, напряженно-деформированное состояние грунтовых массивов, прочность и устойчивость оснований зданий и сооружений. Понимание этих процессов позволяет проектировать надежные, долговечные и экономичные строительные конструкции.

Настоящие методические указания призваны помочь студентам структурировать теоретический материал, выделить ключевые аспекты при подготовке к лекционным и практическим занятиям, а также провести самопроверку знаний.

ТЕМА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Лекция 1. Состав, структура и состояние грунтов. Основные физические характеристики грунтов

Грунт как многокомпонентная система. Наземные грунты представляют собой сложные дисперсные системы, состоящие из трех основных фаз:

1. Твердая фаза — минеральные частицы различного размера и состава.
2. Жидкая фаза — вода в различных состояниях (связанная, капиллярная, свободная).
3. Газообразная фаза — воздух или газы, заполняющие свободные от воды поры.

Иногда выделяют четвертую фазу — живое вещество (органические макро- и микроорганизмы).

Структура и текстура грунтов:

Структура грунта — это особенности внутреннего строения, определяемые размером, формой и характером взаимосвязи минеральных частиц (например, зернистая, губчатая, сотовая, хлопьевидная).

Текстура грунта — пространственное расположение элементов грунта (слоистая, ленточная, сланцевая, массивная).

Основные физические характеристики грунтов делятся на три группы:

1. Определяемые непосредственно из опыта (прямые):

Плотность грунта ρ (г/см³ или т/м³);

Плотность частиц грунта ρ_s ;

Природная влажность w (доли единицы или %).

2. Расчетные характеристики (вычисляемые по формулам):

Плотность сухого грунта (скелета) $\rho_d = \rho / (1 + w)$;

Коэффициент пористости $e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$;

Пористость $n = e / (1 + e)$

Коэффициент водонасыщения (степень влажности) $S_r = (w - \rho_s) / (e - \rho_w)$

3. Характеристики состояния (для глинистых грунтов):

Влажность на границе текучести w_l на границе раскатывания w_p ;

Число пластичности $I_p = w_l - w_p$ (определяет тип грунта: супесь, суглинок, глина);

Показатель текучести (консистенция) $I_L = (w - w_p) / I_p$.

Лекция 2. Деформируемость грунтов. Водопроницаемость грунтов

Деформируемость грунтов. В отличие от твердых тел, деформации грунтов происходят преимущественно за счет изменения объема пор (уплотнения) и взаимного смещения частиц, а не за счет деформации самих минеральных зерен.

Компрессионные испытания: проводятся в одометрах (приборах без возможности бокового расширения). Результатом является компрессионная кривая (зависимость коэффициента пористости e от давления p).

Коэффициент сжимаемости m_0 — показатель, характеризующий способность грунта уменьшаться в объеме под нагрузкой.

Модуль деформации грунта E_0 — ключевой параметр для расчета осадок фундаментов, учитывающий как упругие, так и остаточные деформации.

Водопроницаемость грунтов — способность пропускать сквозь свои поры воду под действием градиента напора.

Закон Дарси (основной закон фильтрации): $v = k_f \cdot i$, где v — скорость фильтрации, k_f — коэффициент фильтрации (м/сут или см/с), i — гидравлический градиент ($i = \Delta H / L$).

Коэффициент фильтрации сильно зависит от типа грунта: у чистых песков он велик, у глин — стремится к нулю, что делает их водоупорами.

Лекция 3. Прочность грунтов. Реологические процессы в грунтах

Прочность грунтов — способность сопротивляться сдвигу (разрушению) под действием внешних сил. Сопротивление сдвигу определяется силами трения зацепления частиц и силами сцепления.

Закон Кулона (условие прочности на сдвиг):

Для песчаных (несвязных) грунтов: $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$

Для глинистых (связных) грунтов: $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$, где τ — предельное сопротивление сдвигу, σ — нормальное напряжение по площадке сдвига, φ — угол внутреннего трения, c — удельное сцепление грунта.

Методы определения: одноплоскостной сдвиг (сдвиговые приборы) и трехосное сжатие (стабилометры).

Реологические процессы в грунтах — это процессы, развивающиеся во времени под действием постоянного напряжения.

Ползучесть — рост деформаций грунта во времени при постоянном напряжении.

Релаксация напряжений — падение напряжений в грунте во времени при зафиксированной (постоянной) деформации.

Длительная прочность — снижение прочностных характеристик грунта в результате длительного действия нагрузок. Особенно ярко реологические свойства проявляются в водонасыщенных глинистых грунтах.

ТЕМА 2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВОВ ГРУНТА И ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ

Лекция 4. Определение напряжений в массивах грунта от действия собственного веса

Напряжения от собственного веса грунта (бытовое давление) σ_{zg} возникают под действием гравитационных сил вышележащих слоев.

Для однородного грунта на глубине z : $\sigma_{zg} = \gamma \cdot z$, где γ — удельный вес грунта $\gamma = \rho g$.

Для слоистого напластования напряжение на нижней границе n -го слоя определяется суммированием: $\sigma_{zg} = \sum (\gamma_i \cdot h_i)$.

Учет взвешивающего действия воды: если слой грунта находится ниже уровня грунтовых вод (УГВ), его удельный вес принимается с учетом взвешивания: $\gamma_{sb} = (\rho_s - \rho_w) / (1 + e)$. На границе водоупора к бытовому давлению скачкообразно добавляется гидростатическое давление столба воды.

Лекция 5. Определение напряжений от внешних заданных нагрузок на основе модели линейно деформируемой среды

В инженерной практике для расчета напряжений грунт условно принимают за линейно деформируемую среду (используют методы теории упругости).

Задача Буссинеска: действие вертикальной сосредоточенной силы P на поверхность полупространства. Вертикальное напряжение на глубине z и расстоянии r от оси силы:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \cdot \cos^5 \theta = \frac{P}{z^2} \cdot K_0,$$

где K_0 - коэффициент, зависящий от соотношения r/z .

Задача Фламана: действие линейно распределенной нагрузки (плоская задача).

Расчет напряжений под прямоугольной площадью загрузки (метод угловых точек): используется для определения напряжений под

фундаментами зданий. Формула: $\sigma_z = \alpha p$, где p — среднее давление под подошвой, α — коэффициент, табулированный в зависимости от формы фундамента (l/b) и относительной глубины (z/b).

Лекция 6. Определение напряжений по подошве сооружений

Напряжения (контактные давления) по подошве фундамента возникают в зоне контакта «фундамент — грунт». Их распределение зависит от жесткости фундамента, глубины его заложения и свойств грунта.

Для абсолютно гибких фундаментов контактное давление в точности повторяет внешнюю нагрузку.

Для абсолютно жестких фундаментов распределение давлений теоретически имеет бесконечные всплески по краям (краевой эффект), однако из-за пластических деформаций грунта края разгружаются.

В практических расчетах (в соответствии со СНиП/СП) принимают линейное распределение контактных давлений:

При центральном сжатии: $p = P / A$ (равномерное).

При внецентренном сжатии: $p_{\max/\min} = P/A \pm M/W$ (трапециевидное или треугольное).

ТЕМА 3. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Лекция 7. Откосы и склоны. Виды нарушения устойчивости. Условие устойчивости и расчет по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

Откос — искусственно созданная наклонная поверхность грунта (выемка, насыпь). Склон — естественная наклонная поверхность земли.

Виды нарушения устойчивости:

Осыпание и сползание (поверхностные нарушения);

Оползни (смещение крупных блоков грунта по определенной поверхности);

Оплывины (разжижение и стекание поверхностного слоя под действием воды).

Коэффициент запаса устойчивости k_{st} — отношение сил (или моментов сил), удерживающих массив, к силам (моментам), сдвигающим его. Условие устойчивости: $k_{st} > [k_{st}]$ (где $[k_{st}]$ — нормативный коэффициент, обычно 1.1–1.4).

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (метод Фелениуса-Терцаги / метод отсеков):

1. Считается, что сползание массива происходит путем вращения вокруг некоторого центра О по дуге радиуса R.

2. Сползающий массив разбивают вертикальными плоскостями на ряд отсеков (обычно 9–12).

3. Для каждого отсека определяют вес W_i , сдвигающую силу $T_i = W_i \cdot \sin \theta_i$ и удерживающую силу $N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$

4. Коэффициент запаса вычисляется как:

$$k_{st} = \frac{\sum (W_i \cdot \cos \theta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum W_i \cdot \sin \theta_i}.$$

5. Расчет повторяют для различных центров О и радиусов R, чтобы найти наиболее опасную поверхность с минимальным k_{st} .

Лекция 8. Устойчивость откосов и склонов по теории предельного равновесия

Теория предельного равновесия рассматривает состояние грунтового массива, при котором в каждой его точке или вдоль некоторой поверхности выполняются условия предельного равновесия Кулона.

Метод Соколовского: основан на совместном решении дифференциальных уравнений равновесия и уравнения предельного состояния. Позволяет строго аналитически строить линии скольжения в грунте.

Особенности метода: дает точные решения для однородных грунтов, позволяет определить точную форму устойчивого профиля откоса (который в общем случае является не прямолинейным, а криволинейным — «откос равного сопротивления»). Применяется при проектировании глубоких карьеров и крупных гидротехнических дамб.

ТЕМА 4. ДАВЛЕНИЕ ГРУНТОВ НА ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Лекция 9. Активное и пассивное давление грунта. Методы определения

При взаимодействии грунта с подпорными стенами (ограждениями) выделяют три вида давления в зависимости от направления смещения стены:

1. Давление в состоянии покоя E_0 — стена абсолютно неподвижна.
2. Активное давление E_a — стена смещается или поворачивается в направлении от грунта. Грунт стремится обрушиться, в нем формируется призма обрушения. Величина давления минимальна.
3. Пассивное давление (отпор грунта) E_p — стена смещается в сторону грунта, уплотняя его. Величина давления максимальна.

Определение активного давления:

Аналитический метод (Теория Кулона / Ренкина): для гладкой вертикальной стены при горизонтальной засыпке несвязного грунта интенсивность активного давления на глубине z :

$$p_a = \gamma \cdot z \cdot \lambda_a, \text{ где } \lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$$

При наличии сцепления (связный грунт): $p_a = \gamma z \lambda_a - 2c\sqrt{\lambda}$.

Графический метод (метод Кулона / построение Кулмана): Применяется при сложной форме тыловой грани стены, наличии ломаной поверхности засыпки или неравномерной нагрузке. Основан на построении векторов сил для различных гипотетических призм обрушения и нахождении максимума сдвигающей силы.

Лекция 10. Пассивное давление грунта. Влияние различных факторов на сооружения

Определение пассивного давления аналитическим методом:

Для аналогичных условий по Ренкину интенсивность пассивного давления (отпора) составляет:

$$p_p = \gamma \cdot z \cdot \lambda_p + 2c\sqrt{\lambda_p}, \text{ где } \lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

Влияние различных факторов на давление грунта и сооружения:

Наличие подземных (грунтовых) вод: приводит к гидростатическому давлению на стену и взвешиванию грунта, что меняет эпюру давлений.

Внешняя нагрузка на поверхности засыпки (склады, транспорт, фундаменты зданий): приводит к росту интенсивности горизонтального давления на величину $q\lambda_a$

Трение между грунтом и стеной (угол трения δ): уменьшает активное давление и увеличивает пассивный отпор, меняя направление действия результирующей силы.

Жесткость и деформации самой удерживающей конструкции: определяют, разовьется ли давление до предельного (активного/пассивного) или останется близким к давлению покоя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие три основные фазы выделяют в грунте и как они взаимодействуют между собой?
2. Дайте определение коэффициенту пористости e и пористости n . Как они связаны математически?
3. По какому показателю глинистые грунты разделяют на супеси, суглинки и глины?
4. В чем физический смысл модуля деформации грунта E_0 и чем он отличается от модуля упругости стали?
5. Сформулируйте закон Кулона для связных и несвязных грунтов. Нарисуйте графики графического представления.
6. Что такое релаксация напряжений и ползучесть грунта? В каких грунтах эти процессы наиболее опасны?
7. Как изменяются напряжения от собственного веса грунта при пересечении уровня грунтовых вод?
8. Опишите эпюру вертикальных бытовых напряжений на границе слоя-водоупора.
9. В чем заключается суть «метода угловых точек» при расчете давлений под фундаментами?
10. Как влияет жесткость фундаментной плиты на распределение контактных напряжений по ее подошве?
11. Какие основные причины могут вызвать нарушение устойчивости естественного склона?
12. В чем заключается основное допущение метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения?
13. Каким образом подбирается наиболее опасная кривая скольжения в методе отсеков?
14. Чем метод Соколовского (теория предельного равновесия) принципиально отличается от метода Фелениуса (круглоцилиндрических поверхностей)?

15. Поясните разницу между активным давлением грунта, пассивным давлением и давлением покоя. Какое из них наибольшее по величине?

16. Как влияет сцепление грунта с на величину активного давления подпорной стены?

17. Каким образом учитывается временная нагрузка, расположенная на берме откоса за подпорной стеной, при расчете давления на нее?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная учебная литература

1. **Мангушев, Р. А.** Механика грунтов : учебник для вузов / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство АСВ, 2024. — 320 с. — ISBN 978-5-4323-0451-3.

2. **Тер-Мартirosян, З. Г.** Механика грунтов : учебное пособие / З. Г. Тер-Мартirosян. — 2-е изд., стер. — Москва : Издательство АСВ, 2021. — 544 с. — ISBN 978-5-4323-0391-2.

3. **Далматов, Б. И.** Механика грунтов, основания и фундаменты : учебник для вузов / Б. И. Далматов. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-9345-4.

4. **Цытович, Н. А.** Механика грунтов : краткий курс : учебник для строительных специальностей вузов / Н. А. Цытович. — 6-е изд. — Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 272 с. — ISBN 978-5-397-06584-9.

5. **Мангушев, Р. А.** Механика грунтов. Решение задач : учебное пособие / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров, Р. А. Усманов. — Москва : Издательство АСВ, 2022. — 224 с. — ISBN 978-5-4323-0422-3.

6. **Болдырев, Г. Г.** Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса / Г. Г. Болдырев. — Пенза : ПГУАС, 2014. — 496 с. — ISBN 978-5-9282-1144-8.

7. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н. М. Герсевича. — Москва : Стройиздат,

1986. — 415 с. (*Классическое справочное руководство с примерами расчетов распределения напряжений и устойчивости*).

8. СП **22.13330.2016.** Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с изменениями по состоянию на 2026 год). — Москва : Минстрой России, 2017. — 201 с.

9. СП **116.13330.2012.** Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. — Москва : Минрегион России, 2012. — 56 с.

10. **ГОСТ 25100-2020.** Грунты. Классификация. — Введен в действие 01.01.2021. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 54 с.

11. **ГОСТ 5180-2015.** Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. — Москва : Стандартинформ, 2016. — 24 с.

12. **ГОСТ 12248.1-2020.** Грунты. Метод испытания компрессионным сжатием. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 19 с.