

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

24/7/2

**Одобрено кафедрой
«Здания и сооружения
на транспорте»**

**Утверждено
деканом факультета
«Транспортные сооружения
и здания»**

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

**Рабочая программа
и задание на контрольную работу
для студентов IV курса**

специальностей

**270102.65 ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО (ГС)
270204.65 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО (ЖД)
270201.65 МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)**

2-е издание, стереотипное

РОАТ

Москва – 2011

Данная рабочая учебная программа дисциплины является типовой и составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования на основании примерной учебной программы данной дисциплины и удовлетворяет государственным требованиям к минимуму содержания и уровню подготовки инженера по специальностям 270102.65 Промышленное и гражданское строительство (ГС), 270204.65 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство (ЖД), 270201.65 Мосты и транспортные тоннели (МТ)

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 14 февраля 2008 г. № 71 «Об утверждении Типового положения об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении)» рабочая учебная программа обновляется ежегодно.

Обновленная версия рабочей учебной программы размещена на сайте РОАТ (<http://www.rgotups.ru>).

Автор — проф., д-р техн. наук В.Л. Кубецкий
Рецензент — доц., канд. геол.-минерал. наук
С.Н. Емельянов

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

*Рабочая программа
и задание на контрольную работу*

Редактор *Д.Н. Тихоничев*
Компьютерная верстка *Л.В. Орлова*

Тип. зак. 688	Тираж 300 экз.
Подписано в печать 09.06.11	Ризография
Усл. печ. л. 3,25	Гарнитура NewtonС
	Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2
Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

© Московский государственный университет путей сообщения, 2011

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины — дать будущим инженерам путей сообщения необходимые знания физико-механических свойств грунтов для использования их при изысканиях, проектировании и строительстве железных и автомобильных дорог, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Основные задачи — научить студентов использовать методы проектирования, строительства и надежной эксплуатации железнодорожных линий и фундаментов инженерных сооружений в конкретных инженерно-геологических условиях на высоком технико-экономическом уровне с учетом особенностей свойств грунтов основания и соблюдением современных требований к охране геологической среды.

2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучив дисциплину, студент должен:

2.1. Знать и уметь использовать:

- терминологию дисциплины, основные физико-механические свойства грунтов;
- математический аппарат механики грунтов для определения напряженного состояния, оценки прочности и устойчивости основания сооружения, откосов и подпорных стенок, прогноза конечных осадков сооружения и хода их во времени.

2.2. Владеть:

- методами и способами определения физико-механических свойств грунтов;
- методами определения напряженного состояния, прочности и устойчивости основания сооружения, откосов и подпорных стенок, конечных осадков сооружения и хода их во времени.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Виды учебной работы	Всего часов			Курс — IV
	ПГС	С	МТ	
Общая трудоемкость дисциплины	60	80	80	
Аудиторные занятия:	8	12	12	
лекции	4	4	4	
лабораторные занятия	4	8	8	
Самостоятельная работа:	37	53	53	
Контрольная работа	15	15	15	1
Вид итогового контроля				Дифференцированный зачет

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции, ч	Лабораторные работы, ч
1	Основы строительного грунтоведения	1	4
2	Основные закономерности сопротивления грунтов действию внешних нагрузок	1	
3	Напряжения в грунтовых основаниях	0,5	
4	Деформация грунтовых оснований	0,5	
5	Прочность и устойчивость оснований	0,5	
6	Устойчивость откосов и давление грунта на подпорные стены	0,5	

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Основы строительного грунтоведения

Грунт как дисперсное, многофазное тело. Фазовый состав грунта: твердая, жидкая и газообразная фазы. Фазовый состав мерзлых грунтов. Гранулометрический состав грунтов, характеризующий их состав и состояние

Строительная классификация грунтов. Плотность грунта, частиц фунта, грунта.

Влажность и степень влажности; пористость и коэффициент пористости. Пределы пластичности (характерные влажности) глинистых грунтов, число пластичности и показатель текучести. Понятие о гидростатическом и гидродинамическом давлениях на скелет грунта.

Раздел 2. Основные закономерности сопротивления грунтов действию внешних нагрузок

Понятие о напряженно-деформированном состоянии грунта в основании. Общая характеристика напряженно-деформированного состояния основания при различных конструкциях фундаментов. Сжатие и сдвиг грунтов как наиболее характерные формы их деформирования. Методы определения напряженно-деформированного состояния основания.

Сопротивление грунтов сжатию. Особенности напряженно-деформированного состояния грунта при сжатии в различных условиях: при свободном боковом расширении, невозможности бокового расширения (компрессия), ограниченного бокового расширения. Общее соотношение между напряжениями и деформациями в рамках деформационной теории пластичности; условия применения к грунтам теории упругости.

Частные выражения для деформационных показателей грунтов (модуля деформации и коэффициента поперечных деформаций) применительно к условиям сжатия при свободном боковом расширении, компрессионном сжатии и сжатии при ограниченном боковом расширении. Соотношения между различными деформационными показателями. Трактровка

компрессионного сжатия грунта в рамках дисперсно-фазовой модели грунта. Зависимость между величиной общей деформации и изменением коэффициента пористости. Компрессионная кривая. Показатели, характеризующие компрессионное сжатие грунта (коэффициент уплотнения, коэффициент сжимаемости, компрессионный модуль деформации грунта).

Виды компрессионных кривых (главная ветвь уплотнения; отражение природного давления и структурной прочности грунтов ненарушенной структуры в очертании компрессионной кривой; вид компрессионной кривой при циклических нагрузках; ветвь разгрузки и оценка упругих свойств грунтов). Понятие о консолидации грунтов под нагрузкой.

Лабораторные и полевые методы определения деформационных показателей грунта. Используемая аппаратура и технология проведения исследований.

Прочность. Теории прочности, их применяемость к фундаментам. Закон Кулона, теория прочности Кулона—Мора. Сопротивление грунтов сдвигу, его трактовка в рамках теории «порового давления» и метода «плотности-влажности». Природа внутреннего трения и сцепления в грунтах.

Общий вид аналитического выражения для сопротивления грунтов сдвигу и его частные случаи для типичных грунтов. Показатели сопротивления грунтов сдвигу. Условие предельного напряженного состояния. Определение показателей сопротивления грунтов сдвигу в лабораторных условиях на приборах одноплоскостного сдвига и в стабилометрах. Полевые методы определения сопротивления грунтов сдвигу. Зависимость сопротивления грунтов сдвигу от длительности воздействия нагрузки и скорости ее приложения. Нормативные и расчетные деформационные и прочностные показатели грунтов. Методы их определения.

Раздел 3. Напряжение в грунтовых основаниях

Распределение напряжений в массиве. Виды напряжений и способы их определения экспериментальным и теоретическим путем. Напряжения от собственного веса грунта: ги-

дростатическое и геостатическое распределение природного напряженного состояния; учет взвешенности грунта в воде, давление воды на кровлю водоупора. Основные допущения и пределы применимости теории линейно-деформируемой среды. Напряжения от сосредоточенной силы. Решения Буссинеска и других авторов. Напряжения от нагрузки, распределенной по площади ограниченных размеров. Способы суммирования напряжений от разных нагрузок. Определение напряжений по способу угловых точек. Влияние размеров и формы загруженной площади на характер распределения напряжений. Плоская задача, решение Фламана. Напряжения от полосовой нагрузки. Влияние неоднородности основания на распределение напряжений. Особенности оценки напряженно-деформированного состояния оснований железнодорожных насыпей.

Распределение контактных напряжений по подошве фундамента. Существующие гипотезы для оценки контактных напряжений. Влияние жесткости фундамента на характер распределения контактных напряжений. Распределение контактных напряжений при жестких фундаментах по теоретическим и экспериментальным данным. Расчетные эпюры распределения контактных напряжений.

Раздел 4. Деформация грунтовых оснований

Расчетные модели грунтовых оснований. Понятие о расчетных моделях. Модели линейно-деформируемого полупространства, сжимаемого слоя конечной толщины и Винклера—Фусса.

Определение конечной осадки. Исходные данные для вычисления осадки. Определение осадки путем использования решения теории линейно-деформируемой среды. Учет влияния соседних фундаментов и нагрузок. Консолидация грунтов основания. Прогноз хода осадки сооружения во времени.

Современные тенденции в оценке напряженно-деформированного состояния основания.

Раздел 5. Прочность и устойчивость оснований

Понятие о прочности и устойчивости оснований. Сущность процессов, происходящих при разрушении и потере устойчивости основания. Экспериментальные данные о разрушении грунтовых оснований. Примеры аварий и катастроф. Схема разрушения основания с выпиранием грунта из-под подошвы фундамента. Фазы деформаций грунтового основания по Герсеванову. Начальная критическая нагрузка по Пузыревскому. Расчетное сопротивление грунта основания сооружений различного назначения. Расчетные сопротивления идеально связанных грунтов.

Определение второй критической нагрузки на основание. Основные положения теории предельного равновесия. Аналитические решения о предельной нагрузке по Соколовскому и Березанцеву. Влияние на несущую способность размеров и глубины заложения подошвы фундамента; графоаналитические методы оценки устойчивости основания.

Раздел 6. Устойчивость откосов и давление грунта на подпорные стены

Устойчивость откосов; ее сущность и значение. Простейшие задачи: угол естественного откоса сыпучего грунта, случай вертикального откоса в связных грунтах. Понятие о равноустойчивой форме откоса. Допустимая крутизна откосов котлованов.

Давление грунта на подпорные стены. Подпорная стена и ее назначение. Активное и пассивное давление грунта. Определение давления грунтов на подпорные стены. Проверка общей устойчивости стены и грунтового основания по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Определение давления на стены при наклонной поверхности засыпки, нагрузки на поверхности засыпки и неоднородности грунтов. Влияние геологических свойств грунтов на устойчивость и перемещение подпорных стен.

4.3. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Определение гранулометрического состава, вида песчаного грунта, плотности частиц грунта, влажности, плотности сухого грунта, пористости и коэффициента пористости. Установление расчетного сопротивления песчаного грунта в зависимости от его вида и состояния
2	2	Определение плотности грунта, влажности, пористости, степени водонасыщения, пределов пластичности и показателя текучести глинистого грунта по ГОСТу. Установление вида глинистого грунта по полученным показателям, определение расчетного сопротивления согласно действующим нормам
3	4	Компрессионные испытания на сжатие грунта. Определение коэффициента сжимаемости, модуля деформации. Определение относительной просадочности и начального просадочного давления
4	4,5	Стабилометрические испытания грунтов. Определение деформационных и прочностных характеристик грунтов в трехосных испытаниях
5	5	Испытания грунта на срез. Определение угла внутреннего трения и сцепления грунта. Методика испытания «плашка по плашке»
6	6	Определение максимальной плотности и оптимальной влажности

5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Расчетно-графическая работа — не предусмотрена.
2. Контрольная работа по механике грунтов в зависимости от региональных условий и потребностей в подготовке инженерных кадров может быть по темам:

- оценка грунтовых условий строительства инженерных сооружений с определением нормативных и расчетных характеристик состава и состояния грунта, его прочностных и деформационных свойств;
- оценка напряженного состояния грунтов основания или в составе сооружения;
- оценка обеспечения прочности грунтов основания в составе сооружения;
- определение конечной осадки сооружения;
- оценка кратковременной и длительной устойчивости склонов, откосов и подпорных стен.

Ориентировочный объем контрольной работы: пояснительная записка на 20—25 страницах и 3—4 листа графиков и чертежей формата А4.

3. Курсовой проект — не предусмотрен.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа предусматривает выполнение ряда расчетных задач по основным разделам дисциплины «Механика грунтов»:

- определение природных напряжений в массиве грунта;
- определение напряжений в массиве грунта от действия на его поверхности внешней прямоугольной нагрузки методом угловых точек;
- расчет осадки слоя грунта под действием сплошной равномерно-распределенной нагрузки;
- оценка устойчивости однородного откоса;
- определение давления грунта на подпорную стену;
- определение давления грунта на подземный трубопровод.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Рекомендуемая литература

Основная

1. Кубецкий В. Л. Механика грунтов. Рабочая программа, задание и методические указания на выполнение контрольной работы. — М.: РГОТУПС, 2009.
2. Кубецкий В. Л. Механика грунтов. Руководство к выполнению лабораторных работ. — М.: РГОТУПС, 2002.
3. Добров Э. М. Механика грунтов. — М.: Академия, 2008.
4. Далматов Б. И. и др. Механика грунтов. — М.—СПб.: АСВ, 2000.
5. Глотов Н. М., Леонычев А. В., Рогаткина Ж. Е., Соловьев Г. П. / Под ред Г. П. Соловьева. Основания и фундаменты транспортных сооружений. — М., 1996.

Дополнительная

6. Цытович Н. А. Механика грунтов. — М.: Высшая школа, 1983.
7. Далматов Б. И. Механика грунтов. Основания и фундаменты. — Л.: Высшая школа, 1988.
8. Малышев М. В., Болдырев Г. Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты. В вопросах и ответах: Уч. пос. — М.: Из-во АСВ, 2000.
9. Алексеев С. И. Механика грунтов. Краткий конспект лекций (учебное пособие для студентов строительных специальностей). — СПб.: ПГУПС, 2007.
10. Алексеев С. И. Основания и фундаменты. Краткий конспект лекций (уч. пос. для студентов строительных специальностей). — СПб.: ПГУПС, 2007.
11. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений». — М.: Стройиздат, 1985.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Влияние твердых минеральных частиц, воды и газов на физико-механические свойства грунтов. В чем основное отличие песчаных и глинистых грунтов?

2. Основные физические характеристики грунтов (плотность, плотность твердых частиц и влажность), методы их определения.

3. Что называется коэффициентом пористости — e и коэффициентом водонасыщенности — S_r грунтов? Что они характеризуют?

4. Классификационные показатели глинистых грунтов.

5. Классификационные показатели песчаных грунтов.

6. Как определяется расчетное сопротивление R_0 для песчаных грунтов? Где применяется R_0 ?

6. Как определяется расчетное сопротивление R_0 для глинистых грунтов? Где применяется R_0 ?

7. Чем обуславливается сжимаемость грунтов? За счет чего происходит сжатие полностью водонасыщенных грунтов? Для чего служит одометр?

9. Как определяются коэффициент относительной сжимаемости и модуль деформации? На основании каких испытаний грунтов? В каких координатах изображается компрессионная кривая?

10. Что такое прочность грунтов? Какие существуют методы определения прочностных характеристик (параметров сопротивления сдвигу) в лабораторных и полевых условиях?

11. Какой вид имеет закон Кулона для несвязного грунта? Что называется углом внутреннего трения песка?

12. Какой вид имеет закон Кулона для связного грунта? Что называется углом внутреннего трения и сцеплением для глинистого грунта?

13. Каким образом обычно проводят опыты в приборе прямого среза и в стабилометре?

14. В каких практических расчетах применяют показатели деформируемости и прочности грунтов?

15. Как изменяются модуль деформации и прочностные характеристики по мере увеличения плотности и влажности грунтов?

16. Чем отличается водопроницаемость в песчаных и глинистых грунтах?

17. Какова зависимость между деформациями и нормальными напряжениями у грунтов при нагружении и разгрузке?

В чем отличие грунтов от упругих тел?

18. Как вычисляют нормативные и расчетные значения характеристик грунтов?

19. Чем теория линейно-деформируемых тел отличается от теории упругости.

20. Как вычислить вертикальные нормальные напряжения в массиве грунта от его собственного веса и чему они равны?

21. Как определить величину напряжений в грунтовом основании от действия на его поверхности местной равномерно распределенной нагрузки?

22. Метод угловых точек для определения напряжений в произвольной точке основания.

23. Основные положения метода послойного суммирования для расчета осадок оснований.

24. С чем связано то обстоятельство, что грунты деформируются не сразу после приложения нагрузки, а на это требуется определенное время? В чем заключаются предпосылки теории фильтрационной консолидации?

25. Где применяются уравнения предельного равновесия для сыпучих и связных грунтов?

26. Что такое критические нагрузки на грунт основания?

27. От каких факторов зависит устойчивость естественных склонов и откосов? Какой характер может носить разрушение откоса?

28. Как можно оценить устойчивость грунтов в откосах методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения?

29. Как определить давление грунтов на подпорные стенки?

30. Что называется активным и пассивным давлением грунта на подпорную стену?

31. Что происходит в грунтах при динамических воздействиях на них?

32. В чем заключается разжижение песчаных грунтов? Что представляет собой виброуплотнение грунта?

33. Что такое просадочность грунтов? Как эти свойства влияют на устройство фундаментов?

34. Что такое набухание грунтов? Как эти свойства влияют на устройство фундаментов?

35. Каковы особенности физико-механических свойств вечномерзлых грунтов?

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Физические характеристики грунтов

ρ — плотность грунта, т/м³;

ρ_d — плотность грунта в сухом состоянии, т/м³;

ρ_s — плотность частиц грунта, т/м³;

γ — удельный вес грунта, кН/м³;

γ_d — удельный вес грунта в сухом состоянии, кН/м³;

γ_s — удельный вес твердых частиц грунта кН/м³;

γ_{sb} — удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды кН/м³;

γ_w — удельный вес воды, равный 10 кН/м³;

W — влажность грунта природная, в долях единицы;

W_p — влажность на границе раскатывания;

W_L — влажность на границе текучести.

Физические характеристики грунтов определяют опытным путем в лабораторных условиях.

Классификационные показатели грунтов

e — коэффициент пористости грунта;

S_r — степень влажности грунта;

I_p — число пластичности грунта;

I_L — показатель текучести грунта.

Классификационные показатели определяют по расчетным формулам на основе физических характеристик грунтов.

Показатели деформируемости грунтов при сжатии

m_v — относительный коэффициент сжимаемости грунта, МПа-1;

m_0 — коэффициент сжимаемости грунта, МПа-1;

E — модуль деформации, МПа;

ν_0 — коэффициент относительных поперечных деформаций (коэффициент Пуассона).

Показатели прочности (сопротивления сдвигу) грунтов

φ — угол внутреннего трения, град;

C — удельное сцепление, кПа.

Показатели деформируемости и прочности грунтов определяются опытным путем в лабораторных или полевых условиях.

При выполнении контрольной работы все расчеты выполняются в размерности международной системы единиц (СИ). Ниже дан перевод механической системы единиц (МК ГСС) в систему СИ.

1. Сила, нагрузка, вес — 1 Н;

1 кгс = 9,81 Н \approx 10Н;

1 тс = 9,81 103Н \approx 10кН = 0,01 МН.

2. Давление (напряжение):

1 кгс/см² = 10 тс/м² \approx 100 кПа (100кН/м²) = 0,1 МПа.

3. Удельный вес:

1 тс/м³ \approx 10кН/м³ = 0,01 МН/м³.

Образец оформления титульного листа пояснительной записки контрольной работы

Московский государственный университет путей сообщения
(МИИТ)

Факультет «Транспортные сооружения и здания»
Кафедра «Здания и сооружения на транспорте»
Специальность

Контрольная работа
по дисциплине «Механика грунтов»

Выполнил

студент
(Фамилия И.О.)

(шифр студента, город)

(курс, группа)

Руководитель

(ученое звание, ученая степень)

(Фамилия И.О.)

к защите

(дата, роспись преподавателя)

РОАТ

Москва 200_ г.

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа предусматривает выполнение ряда расчетных задач по основным разделам дисциплины «Механика грунтов»:

- определение природных напряжений в массиве грунта;
- определение напряжений в массиве грунта от действия на его поверхности внешней прямоугольной нагрузки методом угловых точек;
- расчет осадки слоя грунта под действием сплошной равномерно распределенной нагрузки;
- оценка устойчивости однородного откоса;
- определение давления грунта на подпорную стену;
- определение давления грунта на подземный трубопровод.

Контрольная работа по «Механике грунтов» подготавливает студента к расчету и проектированию транспортных сооружений.

Контрольная работа выполняется согласно индивидуальному заданию, которое содержит необходимую исходную информацию и оформляется в виде пояснительной записки с вложением в необходимых случаях графического материала, выполняемого на миллиметровой бумаге.

При решении каждой задачи необходимо приводить исходную информацию, пояснять (с приведением в необходимых используемые формульные зависимости) операции по обработке исходной информации, приводить (в соответствующих случаях) графический материал и конечные результаты решения задачи (выводы по решению задачи).

Все расчеты выполняются с использованием системы СИ — единиц. Допускается указание в скобках размерности в системе МКГС.

Задача №1. Определение напряжений от собственного веса грунта (природного или бытового давления).

Напряжения от собственного веса грунта имеют значение для свеженасыпанных земляных сооружений, оценки природной уплотненности грунтов и в расчетах осадок оснований

фундаментов. При горизонтальной поверхности грунта напряжения от собственного веса будут увеличиваться с глубиной.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} представляет собой вес столба грунта над рассматриваемой точкой с площадью поперечного сечения, равной единице.

При постоянном удельном весе грунта γ по глубине по оси z напряжения σ_{zg} определяются по формуле:

$$\sigma_{zg} = \gamma z \quad (1.1)$$

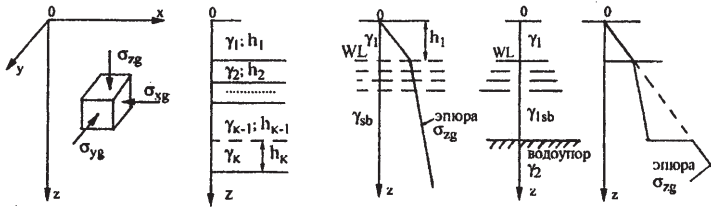


Рис. 1.1. Определение напряжения в грунте от собственного веса и наличия уровня грунтовых вод

При слоистом залегании грунтов обладающих различным удельным весом или наличии грунтовых вод величина σ_{zg} определяется суммированием (рис. 1.1)

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^{i=K} \gamma_i h_i \quad (1.2)$$

Горизонтальные напряжения σ_{yg} и σ_{xg} также увеличиваются с глубиной и определяются по формуле

$$\sigma_{xg} = \sigma_{yg} = \xi \sigma_{zg}, \quad (1.3)$$

где $\xi = \nu(1-\nu)$ — коэффициент бокового давления грунта;

ν — коэффициент относительных поперечных деформаций, аналогичный коэффициенту Пуассона упругих тел.

Коэффициент Пуассона ν принимается равным для грунтов: крупнообломочных — 0,27; песков и супесей — 0,30; суглинков — 0,35; глин — 0,42.

Таблица 1.1

Варианты расчетного задания №1

№ варианта	Грунт №1					Грунт №2		
	Тип грунта	Толщина слоя	γ_1 , кН/м ³	$\gamma_{ис}$, кН/м ³	Глубина, м, уровня грунтовых вод H/L	Тип грунта (волдоупор)	Расчетная глубина, м, определения σ_{zg}	γ_2 , кН/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Песок мелкий	4	18,0	9,6	2,5	Глина	8	19,8
2	Супесь	3	17,6	9,4	1,0	Суглинок	7	21,0
3	Песок крупный	5	18,3	9,9	3,0	Глина	10	20,4
4	Суглинок легкий	4,5	19,0	10,1	1,8	Суглинок	9	18,9
5	Песок пы- леватый	3	18,9	9,8	2,0	Глина	12	19,4
6	Песок ср. круп.	5	19,1	10,3	2,5	Суглинок	6	20,8
7	Супесь	4	18,6	10,1	2,2	Глина	7	21,1
8	Песок мелкий	3	18,5	9,8	1,5	Суглинок	8	19,8
9	Супесь	2	19,3	10,5	1,0	Глина	10	19,4
10	Песок пы- леватый	4,5	18,7	9,6	2,0	Суглинок	11	18,9
11	Песок крупный	2,5	18,2	9,4	1,2	Глина	9	19,3
12	Песок средней крупности	3	19,3	10,1	2,0	Суглинок	8	19,9
13	Суглинок	3,5	19,2	10,5	1,3	Глина	7	20,3
14	Супесь	3,4	18,7	9,3	1,0	Суглинок	7,5	20,4
15	Песок крупный	4,1	18,4	9,1	1,5	Глина	9,5	20,5
16	Песок мелкий	4,5	17,9	8,9	3	Суглинок	10,5	19,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Песок пылеватый	3	18,4	9,6	2	Глина	11,0	19,1
18	Песок средней крупности	2,8	19,4	10,7	1,4	Суглинок	12,0	18,9
19	Супесь	3,3	19,8	11,0	1,3	Глина	14,0	18,4
20	Супесь	3,8	19,7	10,8	1,8	Суглинок	11,0	21,1
21	Песок средней крупности	4,2	18,9	9,7	2,1	Глина	12,0	20,8
22	Песок пылеватый	5,2	19,8	10,1	3,0	Суглинок	7,0	20,4
23	Песок крупный	5,3	19,1	10,0	2,0	Глина	6,0	20,3
24	Песок пылеватый	3,9	17,5	8,1	1,5	Суглинок	7,0	19,4
25	Супесь	4,8	21,1	11,5	1,4	Глина	8,0	19,8
26	Песок средней крупности	4,1	19,4	11,1	2,4	Суглинок	9,0	19,3
27	Супесь	3,8	18,7	9,8	2,8	Глина	10,0	19,2

Вариант задания определяется по сумме трех последних цифр шифра студента.

Используя исходные данные для конкретного варианта (табл. 1.1) строится эпюра напряжений σ_{zg} от собственного веса грунта.

ПРИМЕР РАСЧЕТА. Требуется определить напряжения от собственного веса грунта на глубине 6 м от поверхности. Основание до глубины 3 м сложено песком средней крупности и средней плотности $\gamma_1=19$ кН/м³, $\gamma_{sb}=10,3$ кН/м³. Песок подстилается слоем глины полутвердой $\gamma_2=22$ кН/м² являющейся водоупором. Уровень грунтовых вод WL расположен в песке на глубине 2 м от поверхности.

В точке 1 на глубине 2 м $\sigma_{zg1}=2 \cdot 19=38$ кН/м³=38 кПа

В точке 2 на глубине 3 м $\sigma_{zg2}=38+1 \cdot 10,3=48,3$ кПа

В точке 2' на глубине 3 м $\sigma_{zg2'}=38+1 \cdot 19=57$ кПа

В точке 3 на глубине 6 м $\sigma_{zg3}=57+3 \cdot 22=123$ кПа

В точке 3 на глубине 6 м $\sigma_{xg}=\sigma_{yg}=[(0,42/(1-0,42))] \cdot 123=89$ кПа

Результаты расчеты представляются на графике (рис. 1.2)

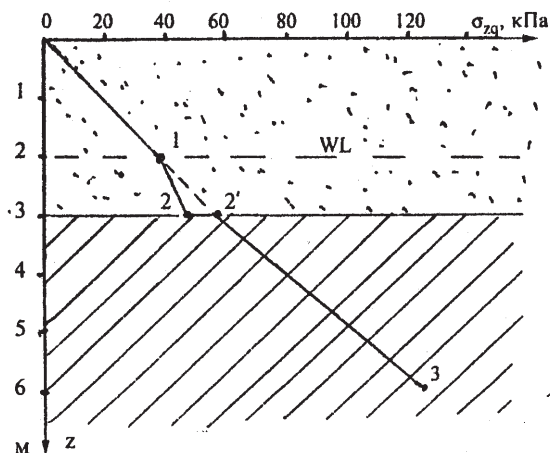


Рис. 1.2. Эпюра напряжений σ_{zg} от собственного веса грунта

Задача №2. Определение напряжений в грунтовом основании от действия прямоугольной нагрузки, приложенной на его поверхности.

Определение напряжений в грунтовой толще от действия внешних нагрузок необходимо для установления условий прочности и устойчивости грунтов, определения деформаций и осадок оснований фундаментов.

В большинстве практических случаев при решении вопроса о распределении напряжений в грунтах в механике грунтов применяют теорию линейно деформируемых тел. Для определения напряжений по этой теории будут полностью справедливы уравнения теории упругости, также базирующиеся на линейной зависимости между напряжениями и деформациями (закон Гука).

Определение сжимающих напряжений от действия прямоугольной нагрузки в произвольной точке основания производится на основе метода угловых точек. Значение величин сжимающих напряжений для угловых точек прямоугольной

площади загрузки позволяет очень быстро вычислить сжимающие напряжения для любой точки полупространства (грунтового основания) если пользоваться значениями угловых коэффициентов α и α_c .

Для точек расположенных по вертикальной оси под центром загруженного прямоугольника сжимающие напряжения $\sigma_{zp} = \alpha \cdot P$

А для точек расположенных по вертикальной оси под углом загруженного прямоугольника

$$\sigma_{zpc} = \alpha_c \cdot P,$$

где α — коэффициент, принимаемый по таблице в зависимости от соотношения сторон $\eta=l/b$ прямоугольной нагрузки (формы подошвы фундамента) и относительной глубины, равной;

$\xi=2z/b$ — при определении σ_{zp} ;

$\alpha_c = \alpha/4$ — коэффициент, при определении α в данном случае по табл. 2.1 $\eta=l/b$, а относительная глубина $\xi=z/b$.

Характерный вид эпюр σ_{zp} показан на рис. 2.1.

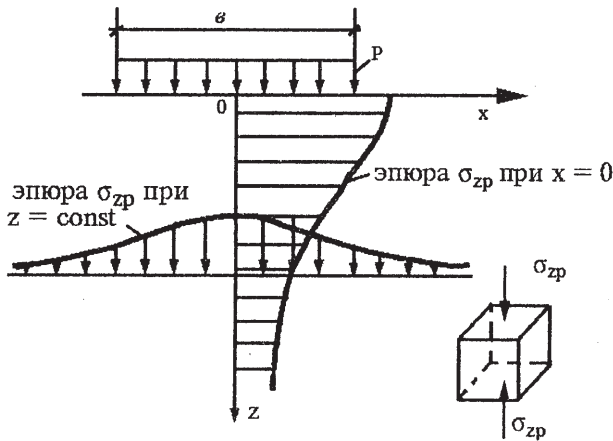


Рис. 2.1. Эпюры сжимающих напряжений σ_{zg} от действия внешней равномерно-распределенной прямоугольной нагрузки

Метод угловых точек для определения сжимающих напряжений σ_{zp} применяют в случае, когда грузовая площадь может быть разбита на такие прямоугольники, чтобы рассматриваемая точка оказалась угловой. Тогда сжимающее напряжение в этой точке на любой глубине будет равно алгебраической сумме напряжений от прямоугольных площадей загрузки, для которых эта точка является угловой.

Рассмотрим три основных случая:

- 1) точка M находится на контуре прямоугольника внешних воздействий (рис. 2.2, *a*);
- 2) точка M находится внутри прямоугольника давлений (рис. 2.2, *б*);
- 3) точка M находится вне прямоугольника давлений (рис. 2.2, *в*).

В первом случае величина σ_{zp} на заданной глубине z под точкой M определяется как сумма двух угловых напряжений, соответствующих прямоугольникам 1 и 2, т. е.:

$$\Sigma_{zpm} = (\alpha_{c1} + \alpha_{c2}) \cdot p.$$

Во втором случае необходимо суммировать угловые напряжения от четырех прямоугольных площадей загрузки 1,2,3,4:

$$\sigma_{zpm} = (\alpha_{c1} + \alpha_{c2} + \alpha_{c3} + \alpha_{c4}) \cdot p.$$

В третьем случае напряжение в точке M складывается из суммы напряжений от действия нагрузки по прямоугольникам 1 и 2, взятых со знаком «плюс», и напряжений от действия нагрузки по прямоугольникам 3 и 4, взятых со знаком «минус»

$$\sigma_{zpm} = (\alpha_{c1} + \alpha_{c2} - \alpha_{c3} - \alpha_{c4}) \cdot p.$$

Используя исходные данные для конкретного варианта (табл. 2.2) определяются напряжения σ_{zp} под центром и под серединой длинной стороны загруженного прямоугольника в трех точках по глубине основания $z=0,5b$; $1,0b$ и $2b$ и строятся эпюры напряжений.

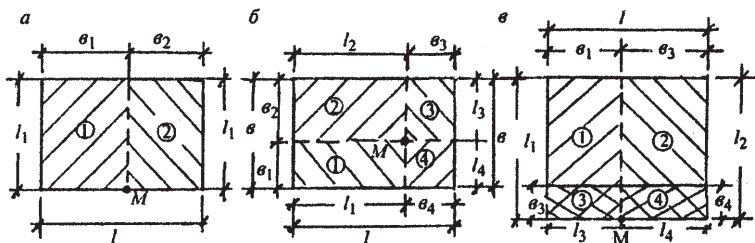


Рис. 2.2. Схемы разбивки прямоугольной площади загрузки при определении напряжений по методу угловых точек:
a — точка *M* находится на контуре прямоугольника; *б* — точка *M* находится внутри прямоугольника; *в* — точка находится за пределами прямоугольника.

Таблица 2.1

Значение коэффициента α для расчета дополнительных напряжений в грунте основания

Для промежуточных значений ξ и η коэффициент α определяется интерполяцией

$\xi=2z/b$	$\eta=l/b$						
	1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	≥ 10
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
3,6	0,181	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
7,8	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158

1	2	3	4	5	6	7	8
8,4	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
11,0	0,016	0,021	0,028	0,036	0,047	0,067	0,115
12,0	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

ПРИМЕР РАСЧЕТА. Определить сжимающие напряжения под центром и под серединой длинной стороны загруженного прямоугольника размером в плане 2×8 м на глубине $z=0; 0,5b; 1,0b$ и $2b$ от поверхности при внешней нагрузке интенсивностью $p=0,3$ МПа (3 кгс/см^2).

Под центром загруженной площади $\eta=1/b=8/2=4$
 $z=0; \quad \xi=0; \quad \alpha=1; \quad \sigma_{zp}=0,3 \text{ МПа}$
 $z=0,5b; \quad \xi=2 \quad z/b=2 \cdot 1/2=1; \quad \alpha=0,815; \quad \sigma_{zp}=0,244 \text{ МПа}$
 $z=2 \text{ м}; \quad \xi=2; \quad \alpha=0,538; \quad \sigma_{zp}=0,161 \text{ МПа}$
 $z=4\text{м}; \quad \xi=4; \quad \alpha=0,266; \quad \sigma_{zp}=0,080 \text{ МПа}$

Значения α определяются по табл. 2.1 в зависимости от параметров ξ и η , для промежуточных значений интерполяцией.

Для точки под серединой длинной стороны прямоугольной площади загрузки, разделяем ее на два прямоугольника размером 2×4 м так, чтобы рассматриваемая точка была бы угловой. Для первого прямоугольника размером 2×4 $\eta=1/b=4/2=2$

$z=0; \quad \xi=0; \quad \alpha_{c1}=\alpha/4=0,25;$
 $z=0,5b=1; \quad \xi=z/b=1/2=0,5; \quad \alpha_{c1}=\alpha/4=0,913/4=0,228;$
 $z=2 \text{ м}; \quad \xi=1; \quad \alpha_{c1}=\alpha/4=0,797/4=0,199;$
 $z=4\text{м}; \quad \xi=2; \quad \alpha_{c1}=\alpha/4=0,477/4=0,119;$

Так как прямоугольники 1 и 2 имеют одинаковые размеры:

$\alpha_{c1}=\alpha_{c2}$, тогда $\sigma_{zc}=2\alpha_{c1}$
 $z=0; \quad \sigma_{zc}=2 \cdot 0,25 \cdot 0,3=0,15 \text{ МПа}$
 $z=1; \quad \sigma_{zc}=2 \cdot 0,228 \cdot 0,3=0,137 \text{ МПа}$
 $z=2 \text{ м}; \quad \sigma_{zc}=2 \cdot 0,199 \cdot 0,3=0,119 \text{ МПа}$
 $z=4\text{м}; \quad \sigma_{zc}=2 \cdot 0,119 \cdot 0,3=0,071 \text{ МПа}$

Результаты расчета в графической форме показаны на рис. 2.3.

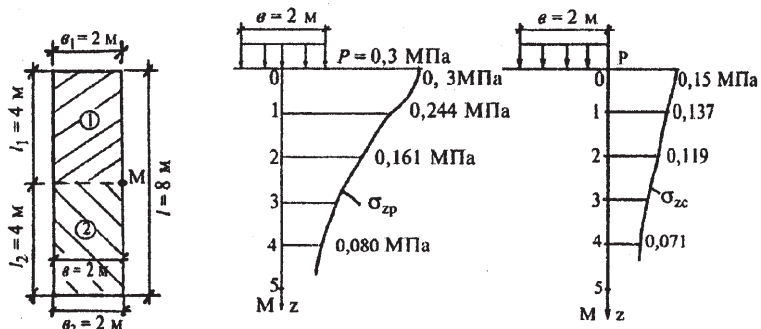


Рис. 2.3. К примеру расчета определения сжимающих напряжений методом угловых точек

Таблица 2.2

Вариант расчетного задания №2

Для расчета напряжений в грунтовом основании методом угловых точек

№ варианта	Размеры		Нагрузка p , МПа	№ варианта	Размеры		Нагрузка p , МПа
	b , м	l , м			b , м	l , м	
1	2,0	6,0	0,20	16	1,8	4,6	0,18
2	3,0	10,0	0,30	17	2,2	8,4	0,28
3	2,6	4,0	0,40	18	1,8	2,4	0,38
4	4,0	8,0	0,22	19	2,4	4,2	0,40
5	3,0	6,0	0,32	20	1,6	3,6	0,32
6	3,0	5,0	0,42	21	2,8	3,8	0,22
7	2,0	4,0	0,18	22	2,4	2,8	0,20
8	1,2	3,2	0,26	23	3,8	4,8	0,16
9	2,4	4,6	0,24	24	1,2	2,4	0,24
10	3,2	8,2	0,16	25	2,4	6,0	0,32
11	4,4	6,4	0,38	26	3,2	5,4	0,36
12	1,0	3,0	0,40	27	2,4	2,8	0,30
13	2,0	5,0	0,32	28	2,8	4,2	0,26
14	3,0	6,0	0,30	29	1,8	3,4	0,40
15	2,8	4,8	0,22	30	1,6	2,4	0,38

Варианты задания №2 определяются по сумме первых трех цифр шифра студента (табл.2.2).

Задача №3. Расчет осадки слоя грунта под действием сплошной равномерно-распределенной нагрузки (одномерная задача теории компрессионного уплотнения грунтов)

Решение данной задачи широко используется в расчетах осадок фундаментов методом послойного суммирования и методом эквивалентного слоя.

При действии сплошной нагрузки (распределенной на значительные расстояния в стороны) слой грунта (рис. 3.1) будет испытывать только *сжатие без возможности бокового расширения*. Данные условия совершенно аналогичны компрессионному сжатию в цилиндре с жесткими стенками (в лабораторных условиях при испытании грунта на сжатие в одометре — компрессионном приборе). В рассматриваемых условиях будем иметь строго *одномерную задачу компрессионного уплотнения* (грунт деформируется только в направлении одной оси).

Таблица 3.1

Вариант расчетного задания №3
Для расчета осадки слоя грунта

№ варианта	h , м	ν	m_{ν} , МПа ⁻¹	P , МПа	№ варианта	h , м	ν	m_{ν} , МПа ⁻¹	P , МПа
1	5,0	0,15	0,02	0,3	16	2,2	0,17	0,018	0,32
2	4,0	0,25	0,15	0,2	17	3,2	0,16	0,16	0,26
3	3,0	0,35	0,01	0,1	18	4,2	0,18	0,014	0,24
4	2,8	0,20	0,015	0,25	19	5,2	0,19	0,012	0,15
5	3,8	0,27	0,10	0,35	20	2,1	0,20	0,12	0,32
6	4,8	0,37	0,16	0,40	21	3,1	0,22	0,12	0,38
7	5,8	0,22	0,016	0,42	22	4,4	0,24	0,012	0,44
8	2,6	0,32	0,018	0,32	23	5,1	0,25	0,014	0,28
9	3,6	0,40	0,019	0,25	24	2,8	0,26	0,022	0,28
10	4,6	0,35	0,03	0,35	25	3,2	0,27	0,025	0,36
11	5,6	0,36	0,016	0,25	26	4,2	0,24	0,018	0,28
12	2,4	0,22	0,018	0,40	27	5,2	0,30	0,017	0,32
13	3,4	0,27	0,022	0,16	28	2,1	0,32	0,011	0,18
14	4,4	0,26	0,11	0,19	29	2,7	0,34	0,012	0,22
15	5,4	0,24	0,04	0,22	30	3,7	0,36	0,014	0,30

Варианты задания №3 определяются по сумме последних трех цифр шифра студента.

Учитывая, что при относительно небольшом изменении давления, изменение коэффициента пористости прямо пропорционально изменению давления и полная стабилизированная осадка слоя грунта будет равна:

$$S = h \cdot m_v \cdot p, \quad (3.1)$$

где h — высота слоя грунта в м;

m_v — коэффициент относительной сжимаемости грунта, МПа^{-1} .

Так как $m_v = \beta/E$, то

$$S = h \cdot \beta \cdot p / E, \quad (3.2)$$

где E — модуль деформации грунта, МПа ;

$$\beta = 1 - (2\nu^2 / (1 - \nu)), \quad (3.3)$$

Используя исходные данные для конкретного варианта (см. табл. 3.1) вычисляется модуль деформации грунта по формуле:

$$E = \beta / m_v.$$

Затем определяется полная стабилизированная осадка слоя грунта по формуле (3.2).

ПРИМЕР РАСЧЕТА. Определить стабилизированную осадку слоя грунта высотой $h = 2$ м, под действием сплошной равномерно распределенной нагрузки $P = 0,2$ МПа . Грунт характеризуется коэффициентом относительной сжимаемости $m_v = 0,03$ МПа^{-1} и коэффициентом Пуассона грунта $\nu = 0,35$.

$$\text{Определяем параметр } \beta = 1 - \frac{2 \cdot 0,35^2}{1 - 0,35} = 0,63,$$

$$E = 0,63 / 0,03 = 21 \text{ МПа},$$

$$S = 2 \frac{0,63}{21} \cdot 0,2 = 0,012 \text{ м} = 1,2 \text{ см}.$$

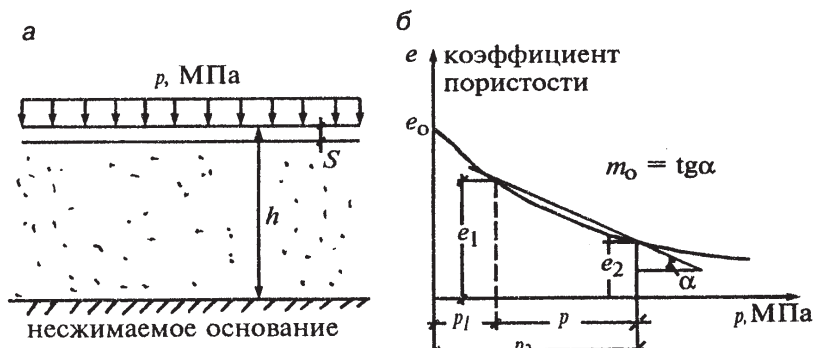


Рис. 3.1. Схема сжатия грунта при сплошной нагрузке:
 а — расчетная схема; б — компрессионная кривая.

Задача № 4. Оценка степени устойчивости откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС).

Анализ устойчивости массивов грунта имеет большое практическое значение при проектировании земляных сооружений: насыпей, выемок, дамб; при оценке устойчивости естественных склонов.

Устойчивость откосов зависит от:

- прочности грунтов, слагающий откос и в его основании (параметров сопротивления грунтов сдвигу φ ; c);
- крутизны откоса;
- высоты откоса;
- нагрузок на поверхности откоса;
- фильтрации воды через откос.

Главнейшие причины нарушения устойчивости земляных масс: 1 — эрозионные процессы; 2 — нарушение равновесия.

Эрозионные процессы протекают весьма медленно и обычно не рассматриваются в механике грунтов.

Нарушение равновесия массивов грунта может происходить внезапно, со сползанием значительных масс грунта — такие нарушения равновесия называются оползнями. Этот вид нарушений равновесия является наиболее частым.

Возможными причинами нарушения устойчивости откосов являются:

- излишняя его крутизна;
- подрезка откоса в нижней части;
- утяжеление откоса вследствие увлажнения грунта;
- уменьшение параметров сопротивления сдвигу грунта тела откоса вследствие увлажнения, промерзания и оттаивания и других факторов;
- нагрузка на гребень откоса;
- динамическое воздействие.

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения широко применяется на практике для оценки устойчивости откосов насыпей и естественных склонов и является наиболее распространенным из методов расчета. Метод основывается на опытных данных о форме поверхностей скольжения при оползнях вращения, при этом самое невыгодное их положение определяется расчетом.

Задача расчета заключается в определении коэффициента устойчивости природного склона или откоса насыпи для наиболее опасной поверхности скольжения.

При крутизне откоса больше предельной происходит обрушение его части по поверхности, которую без большой погрешности можно принять за круглоцилиндрическую с радиусом R (рис. 4.1).

Считая задачу плоской, толщина расчетного откоса по направлению его протяженности принимается 1 м. На плоскости чертежа след поверхности скольжения имеет вид части окружности радиуса R с центром в точке O .

Степень устойчивости откоса оценивается по величине коэффициента, представляющего собой отношение суммы моментов сил (относительно центра в точке O), удерживающих призму обрушения в устойчивом состоянии — $M_{уд}$, к сумме моментов сил, вызывающих потерю устойчивости призмы обрушения — $M_{вр}$:

$$K_{зап} = \Sigma M_{уд} / \Sigma M_{вр}.$$

Для обеспечения устойчивости склона или откоса необходимо, чтобы коэффициент запаса устойчивости $K_{зап}$ был больше 1.

В зависимости от класса ответственности сооружения требуемая величина коэффициента запаса устойчивости $K_{\text{зап}} = 1,25 - 1,80$ и регламентируется соответствующими типом и классу сооружения нормами (СНиП).

Решение задачи осложняется неопределенностью положения центра вращения $O_{\text{мин}}$ для которого значение коэффициента запаса $K_{\text{зап}}$ будет иметь минимальное значение из всех возможных значений.

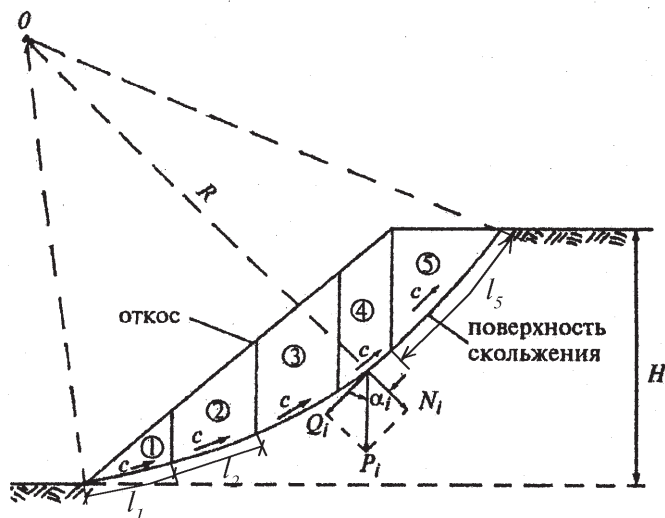


Рис. 4.1. Круглоцилиндрическая поверхность склона радиусом R

Для облегчения определения расположения центра $O_{\text{мин}}$ предложен ряд приемов. Наименее трудоемким для однородных откосов является способ определения координат положения центра $O_{\text{мин}}$ по графику норвежского ученого Ямбу (рис. 4.2).

В данном способе по углу наклона откосной линии к горизонту β и обобщенному показателю $\lambda = \gamma_1 H \text{tg} \phi / c$.

Определяют относительные координаты x_0 и y_0 центра вращения $O_{\text{мин}}$. Абсолютные координаты центра вращения при этом равны:

$$x = x_0 H, y = y_0 H.$$

Точку начала координат помещают в точку пересечения линии откоса с горизонтальной линией основания. Ось абсцисс (ось x)

с положительными значениями x направляют вправо от начала координат, ось ординат (ось y) — вертикально вверх.

Радиус R поверхности скольжения определяется по расстоянию от центра вращения $O_{\text{мин}}$ до точки пересечения нижнего горизонта откоса и откосной линии (начала координат) (рис. 4.2).

Радиусом R из точки O проводят в пределах тела откоса часть круглоцилиндрической поверхности скольжения, определяющей очертание потенциально опасной призмы обрушения.

Для определения коэффициента запаса устойчивости призма обрушения разбивается на ряд блоков с соблюдением ряда правил:

- поверхность скольжения в пределах одного блока должна находиться в грунте одного типа и состояния;
- вертикальные границы между смежными блоками должны проходить через точки перелома очертания откосной линии (если поверхность откоса имеет сложное очертание);
- целесообразно при разбивке призмы обрушения на расчетные блоки ширину блоков принимать одинаковой.

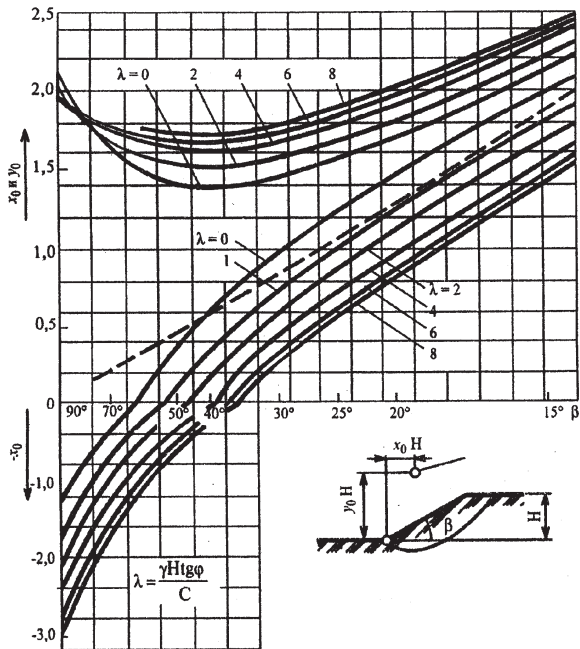


Рис. 4.2. График Ямбу к определению центра круглоцилиндрической поверхности скольжения

Вес каждого блока P_i определяют как:

$$P_i = \gamma_i S_i l,$$

где γ_i — удельный вес грунта в пределах блока, кН/м³;

S_i — площадь i -го блока, определяется как площадь трапеции или треугольника, м²; l — толщина i -го блока, равна 1,0 м.

Вес каждого блока P_i раскладывается на нормальную N_i и касательную Q_i составляющие, приложенные в точке пересечения линии действия силы тяжести с поверхностью скольжения:

$$N_i = P_i \cos \alpha_i,$$

$$Q_i = P_i \sin \alpha_i,$$

где α_i — угол между направлением нормали к поверхности скольжения i -го блока (в точке пересечения линии действия силы тяжести и поверхности скольжения) и линией действия силы тяжести (веса) i -го блока.

Сила сопротивления сдвигу по поверхности скольжения в пределах i -го блока, обусловленная внутренним трением, определяется по формуле:

$$T_{1i} = N_i \operatorname{tg} \phi_1 = P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_1.$$

Сила сопротивления сдвигу по поверхности скольжения в пределах блока, обусловленная действием сцепления с грунта:

$$T_{2i} = c_1 l_i,$$

где l_i — длина дуги поверхности скольжения в пределах расчетного блока (принимается по хорде).

Тогда

$$K_{\text{зап}} = \frac{\sum M_{\text{уд}}}{\sum M_{\text{вр}}} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_1 R + \sum c_1 l_i R}{\sum P_i \sin \alpha_i R} \text{ или сокращая}$$

$$\text{на } R: K_{\text{зап}} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_1 + \sum c_1 l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i}.$$

При откосе, сложенном однородным грунтом:

$$\sum c_1 l_i = cL,$$

где L — длина дуги поверхности скольжения, м.

Для конкретного варианта строится в масштабе откос, определяется точка O по графику (рис. 4.2), строится поверхность скольжения, оползневое тело разбивается минимум на 5 расчетных блоков, определяется N_i и Q_i для каждого блока и коэффициент запаса устойчивости.

ПРИМЕР РАСЧЕТА. Исходные данные: высота $H=12$ м; склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma=19,9$ кН/м³; $\phi=20,5^\circ$; $c=40$ кПа; крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta=40^\circ$.

Требуется: оценить устойчивость склона.

Расчетная схема склона показана на рис. 4.3.

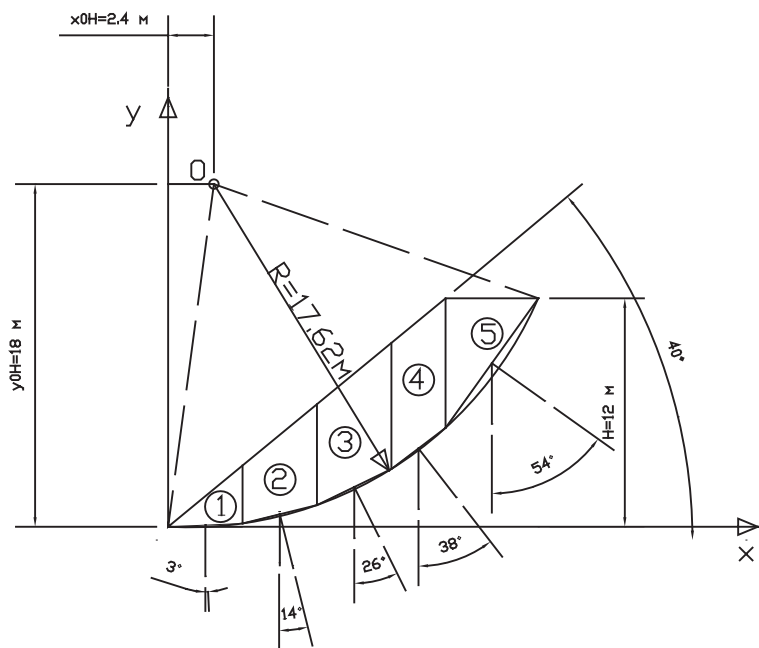


Рис. 4.3. Расчетная схема склона

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

Определяется параметр:

$$\lambda = 19,9 \cdot 12 \cdot 0,37 / 40 = 2,21$$

По графику Ямбу (рис. 4.2) определяются координаты центра тяжести вращения O :

$$x_0 H = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ м}; y_0 H = 1,5 \cdot 12 = 18,00 \text{ м.}$$

Радиусом $R = 17,62 \text{ м}$ из центра O проводится поверхность скольжения (рис. 4.3). Радиус R поверхности скольжения определяется по расстоянию от центра вращения O до точки пересечения нижнего горизонта откоса и откосной линии.

Оползневое тело (призма обрушения) разбивается на ряд блоков (не менее 5-ти).

Определяется длина поверхности скольжения в пределах каждого блока l_i угол α_i (по тангенсу угла наклона), а также P_i ; N_i ; Q_i :

м		кН	кН	кН
$l_1 = 3,9$	$\alpha_1 = 3^\circ$	$P_1 = 19,9 \cdot (3,9 \cdot 3,05) / 2 = 118,36$	$N_1 = 118,36 \cdot 0,999 = 118,24$	$Q_1 = 118,36 \cdot 0,052 = 6,15$
$l_2 = 4,02$	$\alpha_2 = 14^\circ$	$P_2 = 19,9 \cdot 4,02 \cdot (3,05 + 5,3) / 2 = 333,99$	$N_2 = 333,99 \cdot 0,970 = 323,97$	$Q_2 = 333,99 \cdot 0,242 = 80,83$
$l_3 = 4,34$	$\alpha_3 = 26^\circ$	$P_3 = 19,9 \cdot 4,34 \cdot (5,3 + 6,62) / 2 = 514,74$	$N_3 = 514,74 \cdot 0,899 = 462,75$	$Q_3 = 514,74 \cdot 0,438 = 225,46$
$l_4 = 3,57$	$\alpha_4 = 38^\circ$	$P_4 = 19,9 \cdot 3,57 \cdot (6,62 + 6,81) / 2 = 477,05$	$N_4 = 477,05 \cdot 0,788 = 375,92$	$Q_4 = 477,05 \cdot 0,616 = 293,86$
$l_5 = 8,36$	$\alpha_5 = 54^\circ$	$P_5 = 19,9 \cdot (6,81 + 8,36) / 2 = 566,47$	$N_5 = 566,47 \cdot 0,588 = 333,08$	$Q_5 = 566,47 \cdot 0,809 = 458,27$

$$K_{\text{зап}} = \frac{(118,24 + 323,97 + 462,75 + 375,92 + 333,08) \cdot 0,37}{6,15 + 80,83 + 225,46 + 293,86 + 458,27} + \frac{40(3,9 + 4,02 + 4,34 + 3,57 + 8,36)}{6,15 + 80,83 + 225,46 + 293,86 + 458,27} = 1,5.$$

Из расчета следует, что откос находится в устойчивом состоянии и характеризуется минимальным коэффициентом запаса

$$K_{\text{зап}} = 1,5.$$

Варианты расчетного задания № 4

Оценить степень устойчивости склонов и откосов методом кругло-цилиндрической поверхности скольжения (КЦПС)

Номер варианта задания определяется по сумме трех последних цифр шифра студента.

Задача №0

Оценить устойчивость склона высотой $H=11,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 22^\circ$, $C=55$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 42^\circ$.

Задача №1

Оценить устойчивость склона высотой $H=14$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19,7 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 22^\circ$, $C=40$ кПа.

Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №2

Оценить устойчивость склона высотой $H=16,0$ м. Склон сложен лессовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 16,6 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 24,5^\circ$, $C=40$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 53^\circ$.

Задача №3

Оценить устойчивость склона высотой $H=12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 20^\circ$, $C=79,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 38^\circ$.

Задача №4

Оценить устойчивость склона высотой $H=10,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19,3 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 21^\circ$, $C=100$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 36^\circ$.

Задача №5

Оценить устойчивость склона высотой $H = 12,0$ м. Склон сложен неокомской глиной с параметрами: $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 11^\circ$, $C_w = 12,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 45^\circ$.

Задача №6

Оценить устойчивость склона высотой $H=14,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 17 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=32,5^\circ$, $C_w=90$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 55^\circ$.

Задача №7

Оценить устойчивость склона высотой $H=16,0$ м. Склон сложен моренным суглинком с параметрами: $\gamma = 17,3 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=22,5^\circ$, $C=60$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 53^\circ$.

Задача №8

Оценить устойчивость склона высотой $H=13,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 17,4 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=15^\circ$, $C=30$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 45^\circ$.

Задача №9

Оценить устойчивость склона высотой $H=12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma=20 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=20^\circ$, $C=79,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №10

Оценить устойчивость склона высотой $H=12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=30^\circ$, $C=85$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 56^\circ$.

Задача №11

Оценить устойчивость склона высотой $H=10,0$ м. Склон сложен делювиальным суглинком с параметрами: $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=20^\circ$, $C=20$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №12

Оценить устойчивость склона высотой $H=14,0$ м. Склон сложен лесовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 16,6 \text{ кН/м}^3$, $\varphi=24,5^\circ$, $C=125$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №13

Оценить устойчивость склона высотой $H = 15,0$ м. Склон сложен лессовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 19$ кН/м³, $\varphi = 15^\circ$, $C = 40$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 35^\circ$.

Задача №14

Оценить устойчивость склона высотой $H = 12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 20$ кН/м³, $\varphi = 22^\circ$, $C = 60$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 41^\circ$.

Задача №15

Оценить устойчивость склона высотой $H = 13$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19,7$ кН/м³, $\varphi = 21^\circ$, $C = 30$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 39^\circ$.

Задача №16

Оценить устойчивость склона высотой $H = 16,0$ м. Склон сложен лессовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 16,6$ кН/м³, $\varphi = 24,5^\circ$, $C = 125$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 53^\circ$.

Задача №17

Оценить устойчивость склона высотой $H = 12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 20$ кН/м³, $\varphi = 20^\circ$, $C = 79,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 38^\circ$.

Задача №18

Оценить устойчивость склона высотой $H = 10,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19,3$ кН/м³, $\varphi = 21^\circ$, $C = 100$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 36^\circ$.

Задача №19

Оценить устойчивость склона высотой $H = 12,0$ м. Склон сложен неокомской глиной с параметрами: $\gamma = 20$ кН/м³, $\varphi = 11^\circ$, $C_w = 12,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 45^\circ$.

Задача №20

Оценить устойчивость склона высотой $H=14,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 17$ кН/м³, $\varphi=32,5^\circ$, $C_w=90$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 55^\circ$.

Задача №21

Оценить устойчивость склона высотой $H=16,0$ м. Склон сложен моренным суглинком с параметрами: $\gamma = 17,3$ кН/м³, $\varphi=22,5^\circ$, $C=60$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 53^\circ$.

Задача №22

Оценить устойчивость склона высотой $H=13,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 17,4$ кН/м³, $\varphi=15^\circ$, $C=30$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 45^\circ$.

Задача №23

Оценить устойчивость склона высотой $H=12,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma=20$ кН/м³, $\varphi=20^\circ$, $C=79,5$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №24

Оценить устойчивость склона высотой $H=15,0$ м. Склон сложен суглинком с параметрами: $\gamma = 19$ кН/м³, $\varphi=30^\circ$, $C=85$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 56^\circ$.

Задача №25

Оценить устойчивость склона высотой $H=10,0$ м. Склон сложен делювиальным суглинком с параметрами: $\gamma = 18$ кН/м³, $\varphi=20^\circ$, $C=20$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №26

Оценить устойчивость склона высотой $H=14,0$ м. Склон сложен лессовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 16,6$ кН/м³, $\varphi=24,5^\circ$, $C=125$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 40^\circ$.

Задача №27

Оценить устойчивость склона высотой $H=15,0$ м. Склон сложен лессовидным суглинком с параметрами: $\gamma = 19$ кН/м³, $\varphi=15^\circ$, $C=40$ кПа. Крутизна склона характеризуется углом наклона линии склона к горизонту $\beta = 35^\circ$.

Задача №5. Расчет устойчивости массивной подпорной стены

Подпорные стенки сооружают в случаях, когда необходимо поддержать массив грунта в равновесии и когда устройство искусственного откоса невозможно.

При гравитационных (массивных) подпорных стенах (рис. 5.1) устойчивость на сдвиг обеспечивается их весом Q , а горизонтальная составляющая давления грунта воспринимается силой трения T , развивающейся в плоскости подошвы стены.

Активным называется давление грунта на подпорную стену, проявляющееся в том случае, если стена имеет возможность переместиться в сторону от засыпки (рис. 5.2, а).

Пассивным называется максимальное из всех возможных для данной стены давление ее на грунт, проявляющееся в том случае, если стена имеет возможность перемещаться в сторону засыпки под действием внешних сил (рис. 5.2, б).

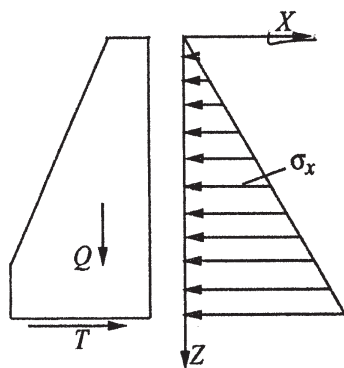


Рис. 5.1. Эпюра давления грунта на гладкую вертикальную подпорную стену γ_x

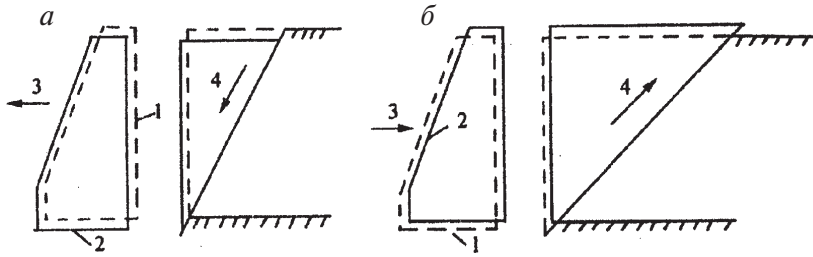


Рис. 5.2. Давление грунта на стену: *a* — активное; *б* — пассивное; 1 — положение до начала перемещения стены; 2 — положение после перемещения стены; 3 — направление перемещения стены; 4 — направление движения грунта в призме обрушения.

Используя исходные данные для конкретного варианта (табл. 5.1) строится расчетная схема подпорной стены на миллиметровой бумаге в выбранном масштабе (рис. 5.3).

Расчет выполняется на 1 погонный метр подпорной стены.

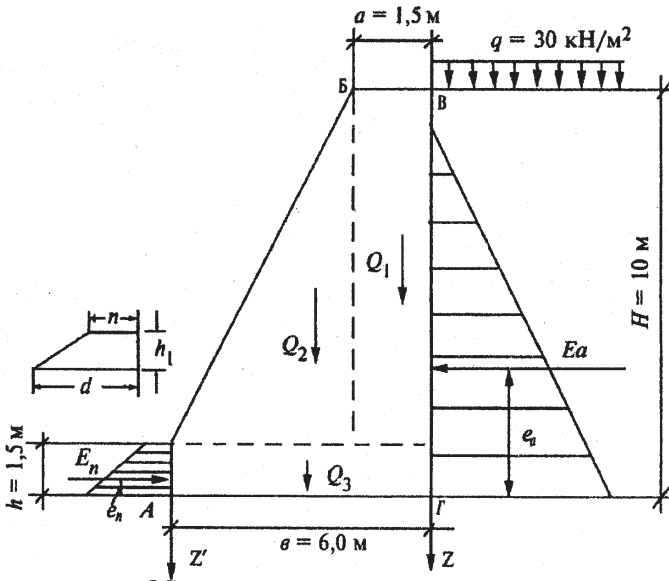


Рис. 5.3. Расчетная схема массивной подпорной стены

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

1. Строится эпюра активного давления (рис. 5.3)

$$\sigma_{2a} = \gamma_I (z + h_{\text{пр}}) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \phi_{I/2}) - 2c_I \operatorname{tg}(450 - \phi_{I/2}) \quad (5.1)$$

где $h_{\text{пр}} = g/\gamma_I$; c_I и ϕ_I — параметры сопротивления сдвигу грунта засыпки (см. табл. 5.1).

2. Определяется величина активного давления E_a

$$E_a = 0,5 \times \gamma_I (H^2 + 2Hh_{\text{пр}}) \times \operatorname{tg}^2(45^\circ - \phi_{I/2}) - 2c_I H \operatorname{tg}(450 - \phi_{I/2}) + 2c_{II} \gamma_I$$

3. Определяется точка приложения силы E_a от подошвы фундамента стены:

а) при треугольной эпюре активного давления

$$e = h_{\text{пр}}/3, \quad (5.3)$$

б) при трапецеидальной эпюре

$$e = (H/3) (H+3h) / (H+2h). \quad (5.4)$$

4. Строится эпюра пассивного давления (рис. 5.3, б)

$$\sigma_{zn} = \gamma_I \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi_{I/2}) + 2c_I \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \phi_{I/2}). \quad (5.5)$$

5. Определяется величина пассивного давления

$$E_n = 0,5 \times \gamma_I \times h_1^2 \times \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi_{I/2}) + 2c_I \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \phi_{I/2}). \quad (5.6)$$

6. Определяется точка приложения силы E_n от подошвы фундамента

а) при треугольной эпюре пассивного давления $e = h_1/3$, (5.7)

б) при трапецеидальной эпюре $e = \frac{h_1}{3} \frac{d + 2n}{d + n}$. (5.8)

7. Определяется вес одного погонного метра подпорной стены

$$G = F \gamma_b, \quad (5.9)$$

где F — площадь сечения АБВГ;

γ_b — удельный вес бетона 24 кН/м.

8. Проверяются устойчивость стены против опрокидывания относительно точки O .

Коэффициент устойчивости стены против опрокидывания $K_{\text{опр}}$ равен отношению суммы моментов сил удерживающих ($\Sigma M_{\text{уд}}$) к сумме моментов ($\Sigma M_{\text{опр}}$) сил, опрокидывающих стену относительно ребра A . Этот коэффициент не должен быть меньше 1,5:

$$K_{\text{опр}} = \frac{\Sigma M_{\text{уд}}}{\Sigma M_{\text{опр}}} = \frac{M_G + M_{\text{еп}}}{M_{E_a}}, \quad (5.10)$$

где $M_G = Q_1^{e'} + Q_2^{e''} + Q_3^{e''}$ — момент сил удерживающих силу;
 $M_{E_a} = E_a \times e_a$ — момент сил опрокидывающих стену.

9. Проверяется устойчивость стены на плоский сдвиг. Кроме силы $E_{\text{п}}$, сдвигу сопротивляется сила трения T по подошве стены.

$$T = G \times f, \quad (5.11)$$

где f — коэффициент трения: для глин $f = 0,25$; для суглинков и супесей $f = 0,30$; для песчаных и крупнообломочных грунтов $f = \text{tg}\varphi_1$;

Коэффициент устойчивости против сдвига $K_{\text{сдв}}$ равен отношению суммы проекций на подошву фундамента сил удерживающих к сумме проекций сил сдвигающих:

$$K_{\text{сдв}} = \frac{T + E_{\text{п}}}{E_a}.$$

Коэффициент $K_{\text{сдв}}$ не должен быть меньше 1,3.

Таблица 5.1

Варианты задания №5

Для расчета давления грунта на подпорную стенку

№ п/п	b , м	a , м	H , м	q , кН/м ²	h_1 , м	ϕ_1 , град.	c_1 , кПа	γ_1 , кН/м ³
1	4	1	8	30	2,0	14	15	16
2	4	1	8	20	2,0	15	10	17
3	2	2	10	40	1,5	18	17	18
4	5	1,5	9	60	2,1	19	18	19
5	3	0,5	6	50	1,0	20	8	16
6	3	1	4	50	1,8	15	9	17
7	3	1,5	5	80	0,5	16	10	18
8	4	1	6	75	0,5	17	11	19
9	4	1,5	7	38	1,0	18	12	20
10	4	2	8	52	1,5	19	13	16
11	4	2	9	61	1,7	20	14	17
12	3	1,5	4	73	2,0	21	15	18
13	4	2	10	68	1,5	22	16	19

Продолжение табл. 5.1

№ п/п	b , м	a , м	H , м	q , кН/м ²	h_1 , м	ϕ_1 , град.	c_1 , кПа	γ_1 , кН/м ³
14	3	1	7,5	53	1,2	13	17	20
15	3	1,5	4	61	0,5	18	18	16
16	2	1	5	35	0,5	14	19	17
17	4	2	10	42	1,5	15	21	18
18	4	1	8	65	2,0	18	5	19
19	4	2	9	40	1,0	17	3	20
20	4	2	10	60	2,0	14	4	16
21	2	0,5	5	50	1,0	15	8	17
22	3	1	6	40	1,0	16	15	18
23	3	1	7	50	1,5	20	3	19
24	4	1,5	8	45	2,0	21	5	20
25	2	0,5	6	35	1,0	15	9	16
26	3	1,2	7	50	1,5	18	10	17
27	4	1,5	10	40	1,0	19	15	18
28	2	0,5	5	30	0,5	20	12	19
29	3	1	7	55	1,0	17	11	20
30	3	1	8	60	1,5	18	12	18

Вариант задания №5 определяется по сумме трех последних цифр шифра студента.

В том случае, если величина $K_{сдв}$ полученная расчетом меньше 1,3 или существенно больше 1,3 (более 20%), изменяются размеры поперечного сечения подпорной стены и выполняются повторные расчеты по п. 8 и п. 9.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Расчетная схема показана на рис. 5.3.

Исходные данные: $\varphi=6$ м; $a=1,5$ м; $H=10$ м; $\phi_1=200$; $q=30$ кН/м²; $\gamma_b=24$ кН/м³; $\gamma_1=18$ кН/м³; $c_1=15$ кПа.

1. Определяется $h_{np} = q/\gamma$

$$h_{np} = 30/18 = 1,67 \text{ м.}$$

2. По формуле (5.1) определяется и строится эпюра активного давления при $z=H$.

$$\sigma_{2a} = 18(10+1,67) \times \text{tg}^2(45^\circ - 20^\circ/2) - 2 \times 15 \times \text{tg}(45^\circ - 20^\circ/2) = 81,9 \text{ кПа.}$$

Определяется ордината z при которой значение $\sigma_{2a} = 0$

$$z = \frac{2 \times c_1 \times \text{tg}(45^\circ - \varphi_1/2)}{\gamma_1 \times \text{tg}^2(45^\circ - \varphi_1/2)} - h_{np} = 0,71 \text{ м.}$$

3. Определяется величина активного давления E_a по формуле (5.2)

$$E_a = 0,5 \times 18(102 + 2 \times 10 \times 1,67) \times \text{tg} 235^\circ - 2 \times 15 \times 10 \times \text{tg} 35^\circ + 2 \times 15^2 / 18 = 403,3 \text{ кН.}$$

4. Определяется точка приложения силы E_a от подошвы фундамента стены

$$e_a = \frac{10 - 0,71}{3} = 3,1 \text{ м.}$$

5. Строится эпюра пассивного давления по формуле (5.5)

$$\text{при } z'=0 \quad \sigma_{2n} = 2 \times 15 \times \text{tg} 55^\circ = 42,9 \text{ кПа}$$

$$\text{при } z'=1,5 \text{ м} \quad \sigma_{2n} = 2 \times 15 \times \text{tg} 55^\circ = 42,9 \text{ кПа.}$$

6. Определяется величина пассивного давления по формуле (5.6)

$$E_n = 0,5 \times 18 \times 1,5^2 \times \text{tg}^2 55^\circ + 2 \times 15 \times 1,5 \times \text{tg} 55^\circ = 105,65 \text{ кН.}$$

Определяется ордината приложения силы E_n от подошвы фундамента стены по формуле (5.8)

$$e_n = \frac{1,5}{3} \times \left(\frac{98 + 2 \times 42,9}{98 + 42,9} \right) = 0,65 \text{ м.}$$

7. Определяется вес 1 погонного метра подпорной стены

$$G = (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 1,5 \times 8,5 \times 24 + \frac{4,5 \times 8,5}{2} \times 24 + 1,5 \times 6 \times 24 = 981 \text{ кН.}$$

8. Проверяется устойчивость стены против опрокидывания по формуле (5.10) относительно точки А.

$$K_{\text{опр}} = \frac{306 \cdot 5,25 + 459 \cdot 3 + 216 \cdot 3 + 105,65 \cdot 0,65}{403,3 \cdot 3,1} = 2,95.$$

Стена на опрокидывание устойчива с достаточным запасом.

9. Проверяется устойчивость стены на плоский сдвиг по формуле (5.12) для суглинка $f=0,30$.

$$K_{\text{сдв}} = \frac{981 \cdot 0,3 + 105,65}{403,3} = 0,99.$$

Устойчивость стены заданных размеров против сдвига не обеспечена и необходимо внести изменения в конструкцию стены.

Увеличим размер стены a до размера $a'=2$ м, а размер h_1 до размера $h'_1=3$ м.

Значение E_a будет иметь прежнее значение.

Определим значение $E'_n=0,5 \cdot 18 \cdot 3^2 \cdot 2,04 + 2 \cdot 15 \cdot 1,43=293,94$ (кН).

Значение $G=24 \cdot 2 \cdot 7 + 24 \cdot 7/2 + 24 \cdot 6 \cdot 3=1104,0$ (кН).

$K_{сдв} = (1104 \cdot 0,3 + 293,94) / 403,3=1,55$.

Таким образом изменение размеров стены обеспечивает устойчивость стены на сдвиг.

Обеспечение устойчивости стены на опрокидывание автоматически выполнено.

Задача №6. Определение давления грунта на подземный трубопровод

Задача точного определения давления грунта на трубопровод является весьма сложной, так как величина давления существенным образом зависит от способа прокладки трубопровода, его жесткости и конфигурации.

Так, если допустить, что устройство трубопровода не вносит изменений в напряженное состояние окружающего массива, то трубопровод будет испытывать давление грунта, которое определяется зависимостями (рис. 6.1) $\sigma_z = \gamma z$; $\sigma_x = \xi \gamma z$.

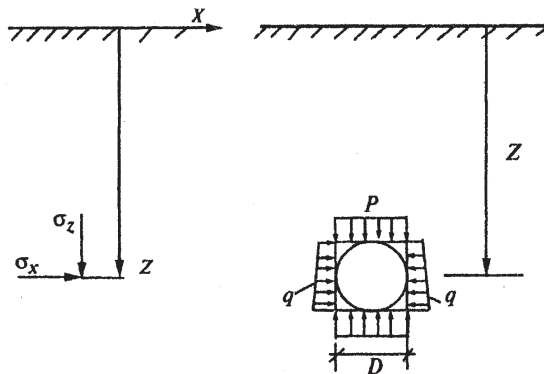


Рис. 6.1. Схема вертикального и горизонтального давления грунта на трубопровод в массиве

Однако прокладка трубопровода в той или иной степени нарушает естественное напряженное состояние массива, что оказывает значительное влияние на величину давления грунта.

Следует различать три принципиальных способа прокладки трубопроводов: под насыпью (см. рис. 6.2, *а*), в траншее (см. рис. 6.2., *б*) и с помощью закрытой проходки (прокола) или горным способом (см. рис. 6.2, *в*)

Для трех способов прокладки трубопроводов (при одинаковой глубине их заложения H) давление p будет различным: при траншейной укладке $P < \gamma H$; в насыпи $P > \gamma H$; и при закрытой проходке и проколе, если H сравнительно мало, $P = \gamma H$, а при большой глубине заложения — как горное давление с учетом так называемого *свода обрушения*.

Это происходит по следующим причинам. Если трубопровод прокладывается в траншее, то грунт, находящийся сбоку от траншеи уже ранее уплотнился под действием собственного веса. Грунт, который засыпается в траншею после укладки трубопровода, будет более рыхлым и еще не уплотнившимся под действием собственного веса.

В связи с этим при уплотнении грунта засыпки и его осадках по бортам траншеи возникает сила трения. Грунт засыпки как бы зависает на стенках траншеи и тем более, чем больше будет глубина траншеи.

Для трубопроводов, закладываемые в насыпи, силы трения грунта будут иметь противоположное направление, чем расположенный с ними рядом грунт, уплотняющийся под действием собственного веса.

Требуется определить давление грунта на трубопровод уложенный в насыпи, траншее и при закрытой проходке.

Используя исходные данные для конкретного варианта (табл. 6.1) строятся расчетные схемы в выбранном масштабе (рис. 6.2)

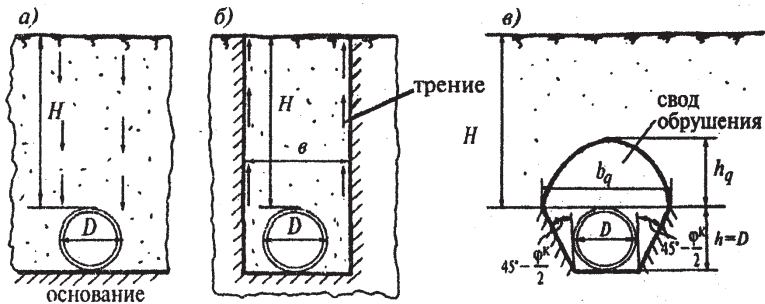


Рис. 6.2. Расчетные схемы определения грунта на трубопровод:
 а — в насыпи; б — в траншее; в — при закрытой проходке.

Расчет выполняется на 1 погонный метр длины трубопровода.

А. Расчет нормативного давления грунта на трубопровод уложенный в насыпи P_1 выполняется по следующей зависимости:

$$P_1 = K_H \gamma H,$$

где K_H — коэффициент определяемый по графику (рис. 6.3) в зависимости от жесткости основания трубопровода и соотношения H/D .

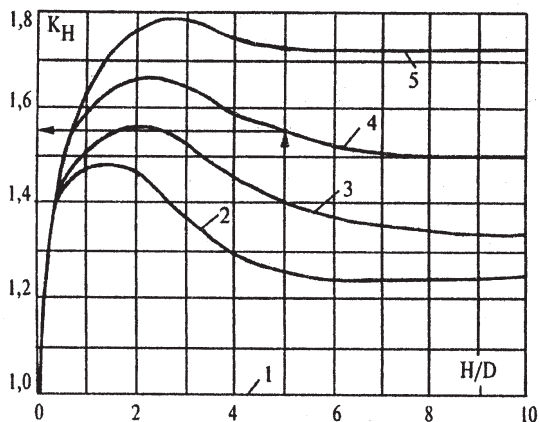


Рис. 6.3. Кривые Г. К. Клейна для определения давления на трубопроводы в насыпи, в зависимости от жесткости основания:

1 — для рыхлых пылеватых песков и текучих глин; 2 — для мелких плотных песков и пластичных глин; 3 — для средних и крупных плотных песков и пластичных глин; 4 — для плотных крупных и гравелистых песков, тугопластичных и твердых глин; 5 — для полускальных и трещиноватых скальных пород.

Общая вертикальная нагрузка на трубопровод уложенный в насыпи определяется по формуле:

$$N_n = P_1 D.$$

Б. Расчет вертикального нормативного давления грунта на трубопровод, уложенный в траншее, выполняется по следующей зависимости:

$$P_{2гр} = K_{тр} \gamma H,$$

где $K_{тр}$ — коэффициент, учитывающий разгрузку трубы грунтом, находящимся в пазухах между стенами траншеи и трубой, определяется в зависимости от грунта засыпки и соотношения H/b (рис. 6.4).

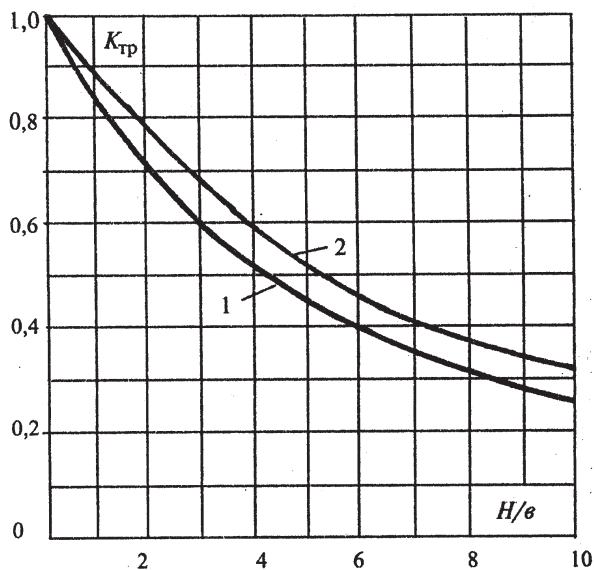


Рис. 6.4. График для определения коэффициента давления на трубопроводы закладываемые в траншеи $K_{тр}$:

1 — для песчаных и супесчаных засыпок; 2 — для глинистых засыпок.

Общая вертикальная нагрузка на трубопровод уложенный в траншее определяется по формуле:

$$N_{тр} = P_{2гр} D.$$

В. Расчет нормативного вертикального давления грунта на трубопровод при закрытой проходке определяется как горное давление, с учетом свода обрушения (м).

$$\text{Так как: } h_q = b_q/2f', \text{ то: } P_3 = \gamma b_q/2f', P_3 = \gamma h_q,$$

где h_q — максимальная высота свода обрушения (м),

$$b_q = D [1 + 2\text{tg}(45^\circ - \phi^k/2)];$$

$$\phi^k = \text{arctg}f'.$$

Численные значения коэффициентов крепости для некоторых видов грунтов (по Протодиакону М. М.).

Песок, мелкий гравий, насыпной грунт	$f' = 0,5$
Сырой песок, слабый глинистый грунт	$f' = 0,6$
Глинистый грунт, лесс, гравий	$f' = 0,8$
Плотный глинистый грунт	$f' = 1$
Твердая глина	$f' = 1,5$
Мел, мерзлый грунт, мергель	$f' = 2$
Некрепкие сланцы, плотный мергель	$f' = 3$
Крепкий глинистый сланец, некрепкие песчаники и известняки	$f' = 4$

Величину горного давления в неустойчивых грунтах, в которых сводообразование невозможно, и при h_q следует принимать от веса всей толщи грунта над трубопроводом.

$$P_3 = \gamma \times H$$

Горизонтальное давление следует определить по формуле:

$$q = \gamma(h_q + R) \times \text{tg}^2(45^\circ - \phi^k/2),$$

где γ — удельный вес грунта, соответствующих слоев напластований кН/м^3 ; H — толщина слоев напластований над выработкой, м;

Общая нормативная вертикальная нагрузка на трубопровод определяется по формуле:

$$N_3 = P_3 \times D.$$

Общее нормативное горизонтальное давление на трубопровод определяется по формуле:

$$N_{3r} = q \times D.$$

Варианты заданий даны в табл. 6.1.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Определение давления грунта на трубопровод

Требуется определить давление грунта на трубопровод, уложенный в насыпи, траншее и при закрытой проходке.

Исходные данные: диаметр трубопровода — $D=2$ м; глубина залегания — $H=6$ м; глубина траншеи — $b=2,8$ м; песок средней крупности, водонасыщенный; $f'=0,6$; $\gamma=17$ кН/м³; соотношение $H/D=3$.

а) для трубопровода уложенного в насыпи по графику (рис. 6.3) $K_n=1,64$, тогда $P_{1н}=1,64 \times 17 \times 6=167,28$ кПа.

Общая вертикальная нагрузка на трубопровод уложенный в насыпи: $N_n=167,28 \times 2=334,56$ кН на 1 п. м.

б) для трубопровода, уложенного в траншее по графику (см. рис. 6.4) $K_{тр}=0,6$, тогда $P_{2тр}=0,6 \times 17 \times 6=61,2$ кПа.

Общая вертикальная нагрузка на трубопровод, уложенный в траншее: $N_{тр}=61,2 \times 2=122,4$ кН на 1 п. м.

в) для трубопровода при закрытой проходке. Так как трубопровод сооружается в песке средней крупности насыщенный водой $f'=0,6$, тогда $\phi_k=310$.

$$b_q = 2[1 + 2 \operatorname{tg}(45^\circ - 31^\circ/2)] = 2 \times 2,13 = 4,26 \text{ м}$$

$$h_q = b'_q \cdot 2f' = 4,26/1,2 = 3,55 \text{ м} < H=6 \text{ м.}$$

Так как $h_q < H$ расчет P_3 выполняется из условия образования свода обрушения.

$$P_3 = 17 \times 4,26/2 \times 0,6 = 60,4 \text{ кПа.}$$

Общая вертикальная нагрузка на трубопровод:

$$N_3 = 60,4 \times 2 = 120,8 \text{ кН на 1 п. м.}$$

Горизонтальное давление:

$$q = 17(3,55 + 1) \operatorname{tg}^2(45^\circ - 31^\circ/2) = 24,75 \text{ кПа.}$$

$$N_{3r} = 24,75 \times 2 = 49,5 \text{ кН на 1 п. м.}$$

Анализ результатов расчетов показал, что наиболее неблагоприятные условия возникают при прокладке трубопровода в насыпи.

Таблица 6.1

Варианты задания № 6
для расчета давления грунта на трубопровод

Вариант	$D, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$\gamma, \text{ кН/м}^3$	Тип грунта	Вариант	$D, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$\gamma, \text{ кН/м}^3$	Тип грунта
1	3	8	4	20	Твердая глина	16	4	8	5	20	Твердая глина
2	2,5	10	3,5	16	Лесс	17	3,5	7	4,2	16	Лесс
3	3	9	5	19,5	Плотный суглинок	18	3	6	4	19,4	Плотный суглинок
4	2	6	3	18	супесь	19	2	10	3	17,8	супесь
5	3	8	4	17,5	Песок влажный	20	3	7	4	16,9	Песок влажный
6	2,5	7,5	3	19,2	Суглинок слабый	21	3,5	8	4	20,3	Суглинок плотный
7	2,5	4	3	17,2	Насыпной грунт	22	2	7	3	20,8	Глина твердая
8	2,5	5	3	21,0	Глина твердая	23	1,5	5	2	18,4	Супесь
9	3	6	4	18,2	Супесь слабая	24	3	7	4	16,4	Песок
10	3,5	7	4	16,8	Песок	25	4	8,5	6	20,3	Глина
11	3	8	4	17,1	Супесь слабая	26	3,5	9	4,5	21,1	Суглинок
12	3	9	4	19,6	Суглинок	27	2,5	6,5	3,5	19,9	Супесь
13	3	10	4	20,3	Глина плотная	28	4,2	10,0	6,0	18,4	Песок сырой
14	2,5	4	3	21,0	Суглинок плотный	29	2	6	3,5	16,2	Лесс
15	2	5	3	19,4	Супесь	30	3	5	4	19,4	супесь

Номер варианта задания №6 определяется по сумме трех первых цифр шифра студента.