

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

Ю.Г. Бабаскин
Л.В. Козловская

ОЦЕНКА СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методическое пособие
к курсовой работе по дисциплинам
«Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»,
«Инженерная геология и механика грунтов»
для студентов специальностей
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»,
1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»

Минск
БНТУ
2011

УДК 624.131.2 + 625.72(075.8)

ББК 38.623я7

Б 12

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Транспорт леса» Белорусского государственного технологического университета, д-р техн. наук, проф. Н.П. Вырко, канд. техн. наук, доц. М.Т. Насковец, зав. каф. «Транспорт леса», канд. техн. наук, доц. Л.Р. Мытько, зав. каф. «Проектирование дорог» Белорусского национального технического университета

Бабаскин, Ю.Г.

Б 12 Оценка состава и состояния грунтов при строительстве инженерных сооружений: методическое пособие к курсовой работе по дисциплинам «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», «Инженерная геология и механика грунтов» для студентов специальностей 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» / Ю.Г. Бабаскин, Л.В. Козловская. – Минск: БНТУ, 2011. – 170 с.

ISBN 978-985-525-205-5.

Цель данного издания – оказание методической помощи студентам 2-го курса специальностей 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» при изучении дисциплин «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» и «Инженерная геология и механика грунтов», в частности при выполнении курсовой работы.

Содержит задачи, решаемые по разделам «Грунтоведение» и «Механика грунтов». Всего по 7 разделам представлено 19 задач, которые студенты решают в соответствии с выбранным вариантом. Каждый раздел содержит введение, в котором рассмотрены теоретические вопросы, исходные данные и порядок расчета примерного варианта. Завершается раздел заключением, которое делает студент на основании выполненных расчетов. Материал изложен системно и обеспечивает последовательное изучение вопросов грунтоведения и механики грунтов.

УДК 624.131.2 + 625.72(075.8)
ББК 38.623я7

ISBN 978-985-525-205-5

© Бабаскин Ю.Г.,
Козловская Л.В., 2011
© БНТУ, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» и «Инженерная геология и механика грунтов» являются основополагающими при подготовке будущих специалистов по специальностям 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены». Недооценка роли и условий работы грунтов в основании или составе инженерных сооружений приводит к возникновению различных дефектов и разрушению конструкций.

Названные дисциплины включают в себя два фундаментальных раздела: инженерная геология и механика грунтов. В Московском автодорожном институте «МАДИ (ГТУ)» читаются два курса: «Инженерная геология» и «Грунтоведение и механика грунтов». В БНТУ на факультете транспортных коммуникаций эти разделы объединены в один курс и читаются единой дисциплиной в течение двух семестров на втором курсе. Типовые учебные программы по данным дисциплинам предусматривают чтение лекций, выполнение курсовой работы, лабораторные занятия и учебную геологическую практику.

Инженерная геология – это наука, изучающая свойства горных пород (грунтов), природные геологические (инженерно-геологические) процессы в верхних горизонтах земной коры в строительной практике. Инженерная геология как наука включает в себя следующие разделы: региональная инженерная геология, инженерная геодинамика, грунтоведение.

Грунтоведение – наука, изучающая свойства и структурно-текстурные особенности грунтов и сложенных ими грунтовых массивов и методы их изменения. Инженерная геология изучает грунты в более широком объеме с учетом вопросов, изложенных в общем и региональном грунтоведении, а также в технической мелиорации. Дорожное грунтоведение изучает состав, строение и свойства грунтов с точки зрения использования их в дорожном строительстве, а также в качестве основания при сооружении мостов и труб на автомобильных дорогах.

Грунт – это любая горная порода или почва, слагающая верхний слой земной коры, изучаемая как многокомпонентная система, изменяющаяся во времени и применяемая при возведении инженерных сооружений в качестве основания, среды или исходного продукта для получения дорожно-строительных материалов.

Механика грунтов – наука о закономерностях деформирования грунтов в основании и составе сооружений под воздействием приложенных к ним сил, условиях прочности и устойчивости, течения подземных вод в поровом пространстве грунтового массива. Эта наука основывается на Законах Гука, Кулона, Ньютона, Стокса, Дарси, теории прочности Мора, условиях Ранкина, формулах Маслова, Покровского, Горельшева. В механике грунтов используются решения задач теории упругости, пластичности, ползучести и фильтрации.

Механика земляного полотна включает положения, основанные на классических законах механики грунтов, развитые и конкретизированные для дорожных инженерных конструкций.

Этим разделам посвящены учебники, написанные в почти столетний период развития инженерной геологии и механики грунтов такими учеными, как Иванов Н.Н., Охотин В.В. (1934 г.), Филатов М.М. (1936 г.), Бабков В.Ф., Без-рук В.М. (1950, 1956, 1976, 1986 г.), Маслов Н.Н. (1961, 1968, 1982 г.), Леонович И.И., Вырко Н.П. (1975, 1977 г.), Казарновский В.Д. (2007 г.).

Предлагаемое методическое пособие «Оценка состава и состояния грунтов при строительстве инженерных сооружений» разработано для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», которые выполняют курсовую работу по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», и специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» – по дисциплине «Инженерная геология и механика грунтов».

Цель работы – научиться отражать естественное залегание грунтов через геологические разрезы и колонки, определять вид грунта по его физико-механическим характеристикам, выполнять расчеты для нахождения осадок сооружений за счет уплотнения глинистых грунтов, оценивать сопротивляемость грунтов сдвиговым деформациям, а также устойчивость и прочность инженерной конструкции в зависимости от состояния грунтового массива.

Достижение поставленной цели возможно за счет реализации следующих задач:

- определения наименования грунта и построение инженерно-геологического разреза на основе данных инженерно-геологических изысканий;
- определения нормальных напряжений в грунтовой толще в плоскости критических сечений прилагаемой нагрузки;
- определения осадки сооружения в результате уплотнения глинистых грунтов, залегающих в основании, во времени;
- определения показателей грунта, характеризующих сдвиговую сопротивляемость скрытопластичных глинистых грунтов;
- выполнения расчета по оценке устойчивости откоса насыпи, сложенного из однородного грунта;
- выполнения расчета по оценке устойчивости откоса выемки, сложенного из слоев разнородных грунтов;
- выполнения расчета по оценке устойчивости подпорной стенки.

Особенностью изучаемой дисциплины является ее принадлежность к строительству одного из самых замечательных сооружений человека – дороги. Про дорогу говорит мать, когда отправляет своего сына в дальнее плавание по просторам жизни. Про дорогу говорят люди, когда оценивают поступки конкретного человека – он идет правильной дорогой. Про дорогу говорят, когда выбирают свою специальность – я пойду этой дорогой. Любой человек, находясь в автомобиле или поезде, не задумывается над тем, что в данный

момент его отличное настроение связано с замечательной дорогой, по которой движется его вид транспорта.

Дорогие студенты, Вы посвятили себя замечательной профессии – профессии создателя, т.е. строителя, и не просто строителя, а строителя автомобильных дорог. Ваш труд в будущем сделает наши дороги еще более красивыми и удобными, а нашу страну – процветающей.

Сегодня Республика Беларусь имеет развитую сеть автомобильных дорог. По состоянию на 1 января 2010 года протяженность дорог общего пользования составляет 85 668 км, из них 15 476 км – республиканские и 70 192 км – местные. С твердым покрытием протяженность дорог составляет 74 266 км, из них с цементобетонным – 1 290 км, с асфальтобетонным – 44 890 км, черногравийные и чернощебеночные – 1 229 км, мостовые – 232 км, гравийные и щебеночные – 26 402 км. Грунтовых дорог в Республике 11 402 км. На дорогах высоких категорий 232 транспортные развязки в разных уровнях. Искусственные сооружения представлены мостами в количестве 5 276 шт. общей протяженностью 177 153 пог. м, из них длиной до 25 м – 3 057 шт., до 100 м – 2 001 шт., свыше 100 м – 218 шт. Общее количество путепроводов на пересечениях с автомобильными дорогами – 341 шт., с железными дорогами – 141 шт.

В 2009 году объем работ на дорогах общего пользования составил в денежном эквиваленте 1300 млрд руб. Всего отремонтировано по капитальному ремонту 163 км дорог и 1 026 пог. м мостов, в том числе на республиканских дорогах – 65 км и 387 пог. м, на местных – 98 км и 639 пог. м. По текущему ремонту отремонтировано 2 883 км дорог и 2 002 пог. м мостов, в том числе на республиканских дорогах – 1 356 км и 1 289 пог. м мостов, на местных – 1 527 км и 713 пог. м мостов.

Перед дорожной отраслью поставлены следующие задачи на 2010 год.

Ввести в эксплуатацию 40,2 км республиканских автомобильных дорог, среди которых участки Минск–Витебск (5,0 км), Минск–Гомель (18,7 км), Витебск–Лиозно (6,6 км) и др. Продолжить строительство подъездных автомобильных дорог, связанных со строительством АЭС.

Обеспечить в 2010–2011 годах строительство автодорожного обхода с инженерной инфраструктурой вокруг территории Национального парка «Беловежская пуща» с максимальным использованием существующей автодорожной сети и при необходимости со строительством ее новых участков (всего около 180 км).

В 2010 году предстоит разработать технико-экономический расчет и рассмотреть возможные варианты создания второго кольца вокруг Минска, в первую очередь на участке от автомобильной дороги Слобода–Паперня до автомобильной дороги Минск–Гродно.

Выполнить капитальный ремонт 119 км дорог и 826,6 пог. метров мостов. Выполнить текущий ремонт 1 327,7 км дорог и 1 718,9 пог. метров мостов.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ПОРЯДОК ЕЕ ОФОРМЛЕНИЯ

Курсовая работа предусматривает выполнение студентом семи заданий, составленных по учебной программе курса и изложенных в соответствующих разделах. Структура курсовой работы включает следующую последовательность листов и разделов.

Титульный лист (оформлен в соответствии с образцом (прил. 7)).

Задание к курсовой работе (заполнено по всем позициям и подписано студентом и руководителем курсовой работы (прил. 8)).

Содержание (образец оформления принять по методическому пособию).

Введение (включает все необходимые разделы, приведенные ниже).

Раздел 1. Определение наименования грунта и построение инженерно-геологического разреза.

Раздел 2. Определение вертикальных составляющих напряжений.

Раздел 3. Уплотнение глинистых грунтов во времени и определение осадки сооружения.

Раздел 4. Определение сопротивляемости сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов.

Раздел 5. Расчет устойчивости откоса, сложенного из однородного грунта.

Раздел 6. Расчет устойчивости откоса выемки, сложенного из слоев разнородных грунтов.

Раздел 7. Оценка устойчивости подпорной стенки.

Заключение (включает формулировку выводов по каждому разделу).

Список использованных источников (образец оформления принять по методическому пособию).

Курсовая работа выполняется в виде расчетно-пояснительной записки. Текстовая часть записки выполняется в рукописном виде (разборчиво, ручкой черного или синего цвета) на стандартных листах бумаги формата А4 (297 × 210). Каждый лист (включая титульный), кроме задания к курсовой работе, имеет рамку со следующими полями: сверху – 20 мм, слева – 30 мм, внизу – 15 мм, справа – 10 мм. Задача каждого раздела начинается с нового листа. Заглавие структурных разделов выделяется прописными буквами, затем следует интервал в одну строку, далее – текст. Если в разделе имеются подразделы, то они выделяются таким же образом и нумеруются в пределах раздела (например: 1.1., 1.2. и т.д.). Сокращение слов в курсовой работе не допускается.

При изложении материала необходимо придерживаться методики, представленной в данном пособии. Каждое расчетное действие должно содержать объяснение необходимости выполнения данного действия, буквенную формулу с расшифровкой составляющих символов, подстановку числовых значений и результат расчета.

Расчетные схемы в курсовой работе выполняются с помощью карандаша на листах миллиметровой бумаги формата А4, обозначаются в пределах раздела

и подписываются внизу ручкой (например: Рисунок 1.1. Суммарная кривая гранулометрического состава грунта).

Рисунки и таблицы подписываются точно так же, как это сделано в методическом пособии. Нумерацию рисунков и таблиц выполняют в пределах раздела.

Все листы, начиная с титульного, имеют сквозную нумерацию, которая проставляется вверху за пределами рамки, посередине. На титульном листе номер один не ставится. Расчетно-пояснительная записка может иметь художественную обложку, которая в нумерацию страниц не включается.

Введение. Во введении отражаются следующие вопросы:

– по какой дисциплине выполняется работа;

– цель работы (например, освоить навыки определения вида грунта в соответствии с нормативными документами, научиться выполнять расчет осадки сооружения, определять напряжения в грунтовой толще, сопротивляемость сдвиговым деформациям, оценивать устойчивость откосов и подпорных стенок. Цель работы может соответствовать формулировке, изложенной во введении методического пособия);

– задачи работы (можно привести перечень наименований разделов. Задачи могут быть сформулированы аналогично тому, как это сделано во введении);

– какие конкретные задачи решаются в каждом разделе и на основании каких исходных данных;

– где и когда студент сможет применить знания, полученные по дисциплине в целом и по курсовой работе в частности.

Раздел 1. Определение наименования грунта и построение инженерно-геологического разреза.

В этом разделе описывают характеристику антропогенного покрова Республики Беларусь, строят инженерно-геологический разрез местности, составляют стратиграфическую колонку. По результатам лабораторных исследований строят суммарную кривую гранулометрического состава грунта, определяют его вид и рассчитывают физико-механические параметры.

Раздел 2. Определение вертикальных составляющих напряжений.

Во втором разделе решаются задачи, относящиеся к плоской и пространственной задачам. В связи с этим выполняют расчет по определению вертикальных напряжений в грунтовой толще под ленточным фундаментом, под насыпью земляного полотна, под мостовой опорой, имеющей круглую и прямоугольную форму.

Раздел 3. Уплотнение глинистых грунтов во времени и определение осадки сооружения.

В этом разделе на основе теории фильтрационной консолидации решается широкий круг задач, включающий определение времени уплотнения глинистых грунтов, определение влажности на любом временном отрезке консолидации, определение осадки сооружения с учетом особенности естественного залегания многослойной грунтовой толщи.

Раздел 4. Определение сопротивляемости сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы, относящиеся к теории «плотности-влажности». На основании лабораторных данных строят графики зависимости сопротивляемости грунтов сдвигу от влажности и нормального напряжения. На основании этих графиков определяют изменение угла внутреннего трения и сцепления от влажности.

Раздел 5. Расчет устойчивости откоса, сложенного из однородного грунта.

При однородном грунте земляного полотна расчет устойчивости откоса выполняют по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС), который может иметь особенности, включающие наличие гидростатического или фильтрационного давления. В связи с этим решают следующие задачи:

- без дополнительных силовых воздействий;
- с учетом гидростатического давления;
- с учетом фильтрационного давления.

Раздел 6. Расчет устойчивости откоса выемки, сложенного из разнородных грунтов.

Для земляного полотна, сложенного из разнородных грунтов, расчет устойчивости выполняют по методу Маслова–Берера, построенному на гипотезе плоских поверхностей скольжения. В данном разделе решаются такие задачи:

- без дополнительных силовых воздействий;
- с учетом фильтрационного давления.

Раздел 7. Оценка устойчивости подпорной стенки.

При оценке надежности сооружения необходимо учитывать возможность нарушения устойчивости в результате плоского или глубокого сдвига. Коэффициент запаса устойчивости определяют с учетом активных сдвигающих сил и пассивных, сопротивляющихся сдвигу за счет сил трения и сцепления. В издании решаются следующие задачи оценки устойчивости подпорной стенки:

- при песчаной засыпке;
- песчаной засыпке и наличии дополнительной равномерно распределенной нагрузки;
- при глинистой засыпке;
- при песчаной засыпке и ее частичном затоплении.

Выполненная курсовая работа в установленные сроки передается руководителю для проверки и рецензирования. При рецензировании работа оценивается по десятибалльной шкале. Если по работе выставляется оценка 3 балла и ниже, ее следует переделать и представить на повторное рецензирование. Если выставляется оценка от 4 до 8, работа должна быть исправлена в соответствии со сделанными руководителем замечаниями, после чего студент является на кафедру для защиты согласно расписанию. Если работа оценена в 9 и 10 баллов, то она принимается без дополнительной защиты.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ПОСТРОЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Введение

Антропогенные отложения и рельеф земной поверхности играют важную роль в строительстве, так как являются объектами интенсивного техногенного воздействия в связи с добычей сырья для производства строительных материалов, артезианских вод и других полезных ископаемых, а также строительством промышленных сооружений, проведением сельскохозяйственных работ. По данным Л.А. Нечипоренко, антропогенный чехол сформирован в результате надвигов пяти ледниковых покровов. В соответствии с этим антропогенная толща Республики Беларусь включает следующие горизонты:

- 1) брестский предледниковый;
- 2) наревский ледниковый;
- 3) беловежский межледниковый;
- 4) березинский межледниковый;
- 5) александрийский межледниковый;
- 6) днепровский ледниковый;
- 7) шкловский межледниковый;
- 8) сожский ледниковый;
- 9) муравинский межледниковый;
- 10) позерский ледниковый;

11) голоценовый – это незакончившийся отрезок четвертичного периода, начало которого совпадает с окончанием последнего материкового оледенения Северной Европы (около 10 тыс. лет назад).

Наибольшие толщи антропогенного покрова Республики Беларусь залегают в северо-западной и центральной частях, где они достигают 200–300 м и более. К северу мощности антропогенного чехла уменьшаются до 40–60 м, к востоку – до 50–80 м, а на юге и юго-востоке – в среднем до 30 м.

Ледниковые отложения представляют собой смесь разнообразных по крупности и составу частиц. Их количественное и качественное соотношение связано с разрушительной деятельностью ледника (резанием, полированием, выпаживанием), с транспортированием обломков и их аккумуляцией (отложением) на определенных территориях, а также с вымыванием мелких обломков продуктов отложения талыми водами при отступлении ледников.

Ледниковые отложения относятся к осадочным горным породам, для которых свойственна слоистость, характеризуемая следующими элементами: слой, пласт, толща, прослойка.

Слоистость – сложение грунтов в виде расположенных один над другим слоев, различающихся составом и строением.

Слой – геологическое тело плоской формы, сложенное разновозрастными однородными или близкими по составу и строению грунтами.

Пласт – геологическое тело, имеющее плоскую форму, поскольку его мощность (толщина) во много раз меньше площади распространения, характеризуемое двумя параллельными поверхностями: подошвой и кровлей, и примерно однородного состава.

Толща (массив) – группа слоев, характеризующаяся общностью одного или нескольких признаков (возраст, состав и др.).

Прослойка – тонкий слой грунта, находящийся в слое и отличающийся от грунта основного слоя составом или состоянием.

Вышеобозначенные элементы слоистости располагаются в антропогеновом покрове ненарушенного залегания в виде следующих форм:

– **монолитной** (однородной), образуемой при неизменной обстановке в течение длительного накопления осадков;

– **пластовой**, образуемой в результате изменения условий накопления осадков;

– **выклинивания**, возникающей в случае, когда на наклонную поверхность толщи грунта отлагаются более молодые осадки;

– **линзообразной**, являющейся результатом изменения местных условий осадконакопления. **Линза** – округлое или овальное геологическое тело с уменьшением мощности к краям по всем направлениям.

Инженерно-геологический разрез – это графическая модель вертикального сечения верхней части антропогенового покрова, отображающая условия залегания и соотношение грунтов различного состава и возраста, формы геологических тел, их структуру и свойства.

Стратиграфическая колонка – это графическое изображение возрастной последовательности напластования горной породы, являющаяся составной частью геологических карт. На стратиграфической колонке относительный возраст отмечают индексом, названием или цветом в соответствии с геохронологической шкалой; состав породы – штриховкой и описанием; мощность – масштабом колонки или цифрой.

Задание

1. Представить краткую характеристику антропогенового покрова Республики Беларусь, основных элементов и форм залегания грунтов.

2. Построить инженерно-геологический разрез на основании фрагмента геологической карты.

3. Составить стратиграфическую колонку.

4. Построить суммарные кривые гранулометрического состава грунта, отобранного из различных слоев скважины, и определить по ним однородность грунта.

5. Определить вид грунта, используя данные инженерно-геологических изысканий и лабораторных исследований.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

- | | |
|--|------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Номер геологического разреза – | 1. |
| 3. Номер скважины для построения стратиграфической колонки – | 1. |
| 4. Номер комбинации слоев – | 1. |

По номеру из прил. 3 выписывают номера слоев и заносят их в табл. 1.3.

Результаты лабораторного определения физико-механических свойств грунта выписывают из прил. 4 и заносят их в табл. 1.4.

Порядок расчета

1. Описывают характеристику антропогенного покрова, основных элементов и форм залегания грунтов на территории Республики Беларусь по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют построение инженерно-геологического разреза на основании фрагмента геологической карты.

2.1. Для построения разреза по сечению фрагмента геологической карты принимают следующие масштабы:

горизонтальный 1 : 25 000 (в 1 см 250 м);

вертикальный 1 : 1 000 (в 1 см 10 м).

2.2. На фрагменте геологической карты (рис. 1.1) находят разрез, соответствующий варианту. Линейкой измеряют его длину и умножают на горизонтальный масштаб. Например:

$$22 \text{ см} \times 250 \text{ (масштаб)} = 5500 \text{ м.}$$

2.3. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) выполняют рамку в соответствии с данными, представленными в разделе «Содержание курсовой работы и порядок ее оформления». Ориентируют лист вдоль большего размера страницы (297 мм). На этом листе проводят горизонтальную линию, длина которой равна длине разреза (например 22 см) и разбивают на отрезки через 1 см, которые подписывают через 250 м (например, 0, 250, 500, 750 и т.д.).

В начале и в конце разреза проводят вертикальные линии, которые разбивают на отрезки через 1 см и подписывают через 10 м (например, 0, 10, 20 и т.д.). Максимальная отметка на вертикальных прямых соответствует наибольшей высоте местности, полученной по горизонтали на геологической карте. Например:

$$120 \text{ м (горизонталь на карте)} : 10 \text{ (масштаб)} = 12 \text{ см.}$$

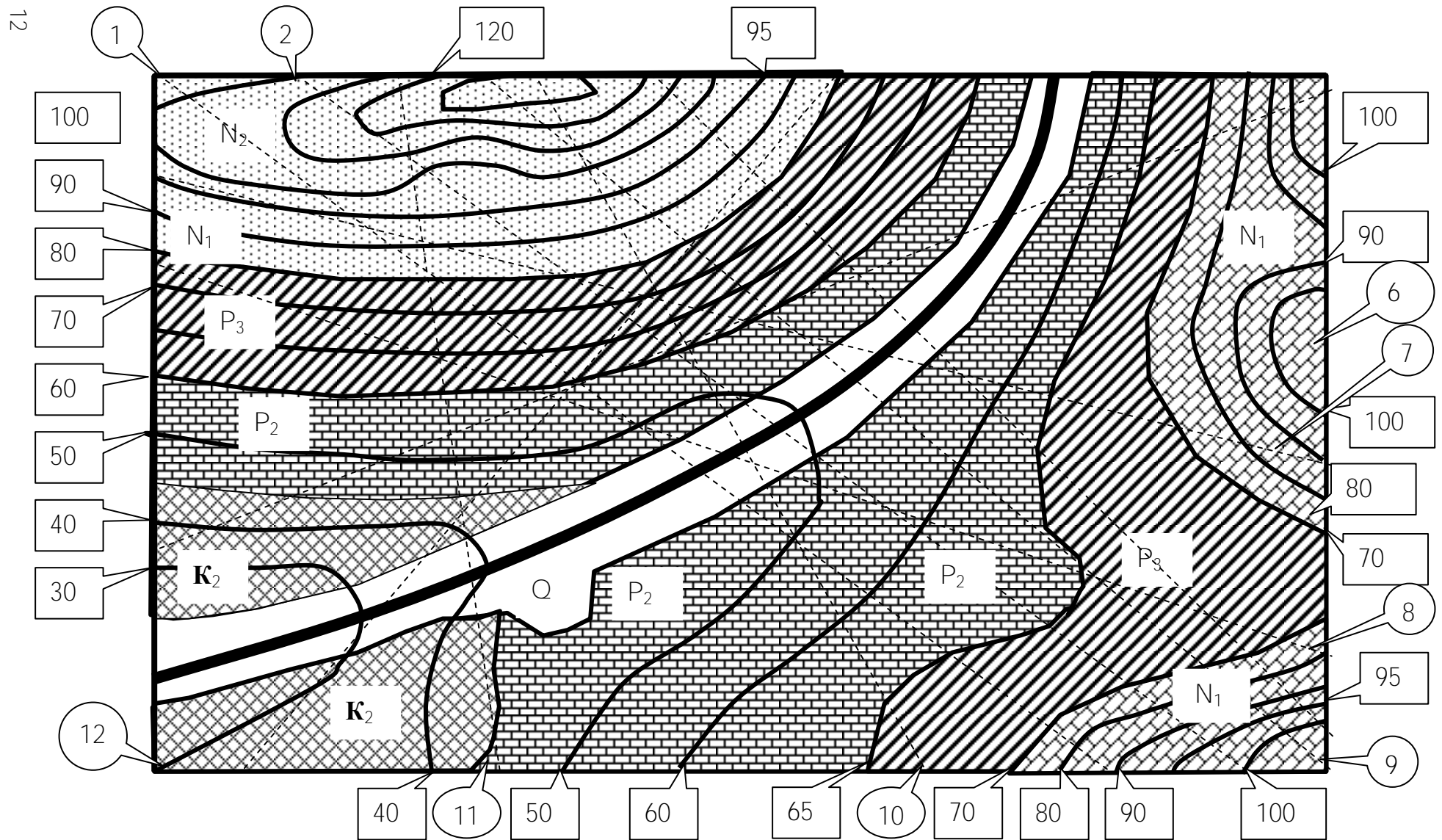


Рис. 1.1. Геологическая карта района, сложенного горизонтально залегающими породами

2.4. В начальной точке разреза (пунктирная линия на карте) по горизонталям находят высотное положение, которое откладывают на геологическом разрезе.

Перемещаясь по разрезу до ближайшего пересечения с горизонталью, по линейке находят расстояние от начальной точки до горизонтали. Определяют высотное положение по горизонтали. Найденные точки переносят на геологический разрез.

Соединяют точки плавной кривой с помощью лекала и получают рельеф местности.

2.5. Разделяют геологический разрез на слои в соответствии с возрастным залеганием естественных горных пород. В этом случае принимают допущение, что слои имеют моноклинное залегание. Поэтому на разрезе проводят горизонтальные линии в соответствии с залеганием пород, изображенных на карте. Слои пород обозначают так же, как и на карте. После нанесения обозначений слои раскрашивают в соответствии с рекомендациями табл. 1.1. Пример выполнения геологического разреза представлен на рис. 1.2.

Таблица 1.1

Обозначение периодов геохронологических отрезков времени

Эра	Период	Условное обозначение	Цветное обозначение на геологической карте
Кайнозойская <i>KZ</i>	четвертичный	<i>Q</i>	желтовато-серый
	неогеновый	<i>N</i>	желтый
	палеогеновый	P	оранжево-желтый
Мезозойская <i>MZ</i>	меловой	<i>R</i>	зеленый
	юрский	<i>J</i>	синий
	триасовый	<i>T</i>	фиолетовый
Палеозойская <i>PZ</i>	пермский	<i>P</i>	оранжево-коричневый
	каменноугольный	<i>C</i>	серый
	девонский	<i>D</i>	коричневый
	силурийский	<i>S</i>	серо-зеленый
	ордовикский	<i>O</i>	оливковый
	кембрийский	Є	сине-зеленый

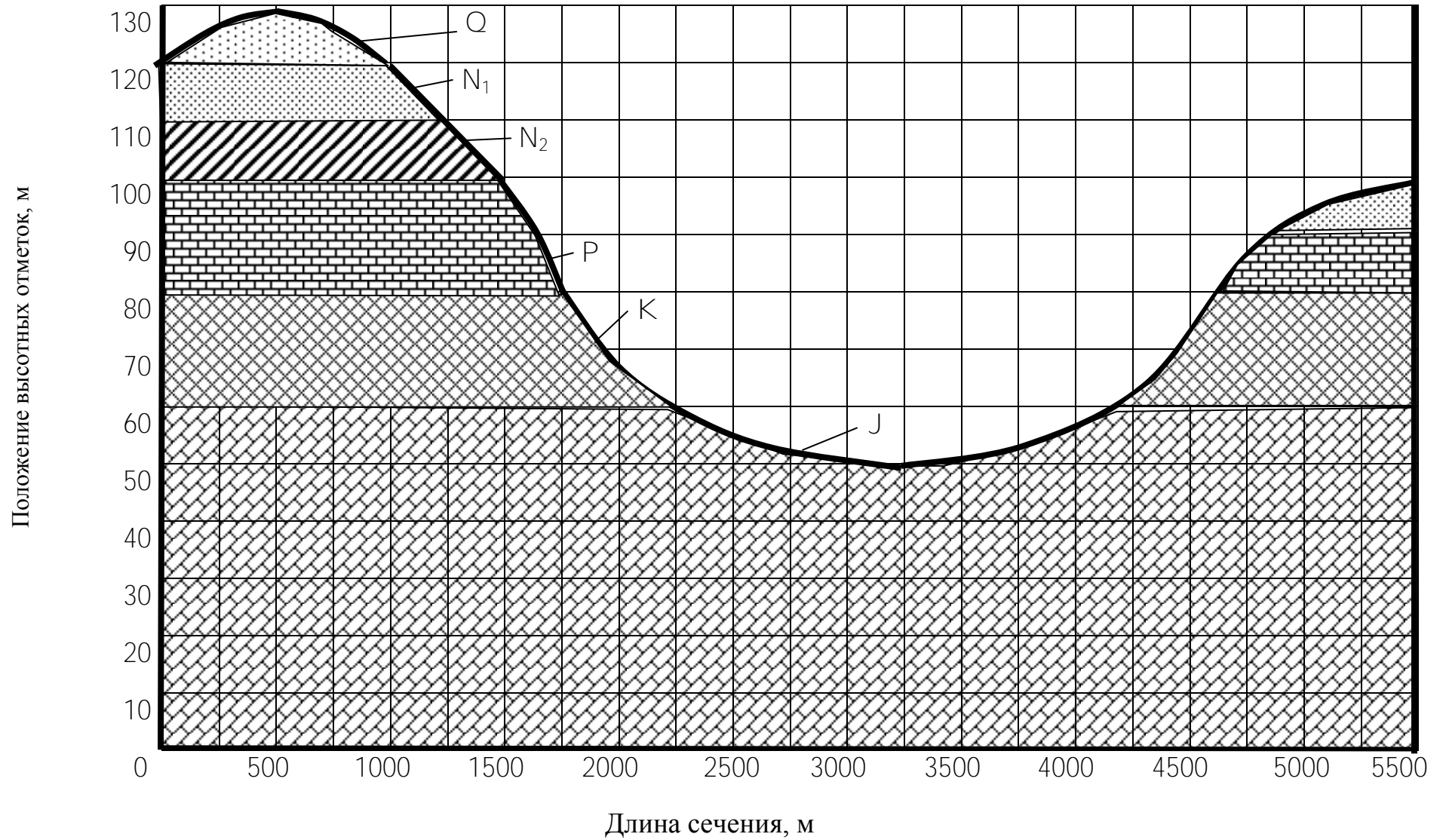



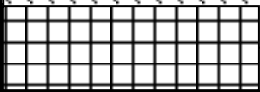
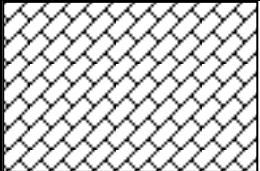


Рис. 1.2. Пример выполнения геологического разреза

3. Составляют стратиграфическую колонку на основании описания геологических скважин (прил. 2).

3.1. На отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4, имеющей рамку в соответствии с общими требованиями по оформлению курсовой работы, вычерчивают таблицу, состоящую из пяти столбцов и шести строк. Верхняя строка заполняется как шапка таблицы со следующими подписями: система, индекс, геологическая колонка, мощность, литологический состав. Пример составления стратиграфической колонки представлен на рис. 1.3.

Система	Индекс	Геологическая колонка	Мощность, м	Литологический состав
Четвертичный	Q		2,5	песок мелкозернистый
Неоген	N_1		20	суглинок желто-бурый валунный
Неоген	N_2		15	гравий крупный с галькой и линзами глины, валунной бурой
Палеоген	P		40	мел серовато-белый, обводненный
Меловой	K		30	известняк серый, переслаивающийся с голубовато-серой глиной, водоносный

Примечание. В обозначении индекса могут быть включены названия следующих эпох:

четвертичный:	– позднечетвертичный	– Q_{111} ;
	– среднечетвертичный	– Q_{11} ,
	– раннечетвертичный	– Q_1 ;
неогеновый:	– плиоцен	– N_2 ,
	– миоцен	– N_1 ;
палеогеновый:	– олигоцен	– Pg_3 ,
	– эоцен	– Pg_2 ,
	– палеоцен	– Pg_1 ;
меловой:	– позднемеловой	– K_2 ,
	– раннемеловой	– K_1 .

Рис. 1.3. Пример составления стратиграфической колонки

Заполнение стратиграфической колонки.

Столбец «индекс». В верхнюю строчку колонки ставят обозначение периода, взятого из прил. 2 столбца «геологический индекс». В остальные строчки столбца (см. рис. 1.3) проставляют обозначения периодов из табл. 1.1. в убывающем порядке.

Столбец «система». Напротив соответствующего индекса дается полное название периода, взятого из табл. 1.1, т.е. приводится расшифровка индекса.

Столбец «литологический состав». Литологический состав – это состав осадочных горных пород (грунтов), принадлежащих литосфере, характеризуемый строением, происхождением и закономерностями его последующего изменения. В столбец переносят литологическое описание породы из столбца 4 прил. 2.

Столбец «мощность». Мощность представляет собой толщину данного слоя. В описании геологических скважин (прил. 2) дана глубина залегания слоя, характеризующая кровлей (от) и подошвой (до). Для определения мощности слоя необходимо от глубины подошвы отнять величину кровли. Таким образом вычисляется мощность каждого слоя, представленного в стратиграфической колонке.

Столбец «геологическая колонка». Каждый прямоугольник, соответствующий определенному слою штрихуется условным обозначением, характерным для данного вида грунта, помещенного в столбце «Литологический состав» (см. рис. 1.3). Условное обозначение выбирают по табл. 1.2.

Таблица 1.2

Условные обозначения горных пород

Условное обозначение	Название грунта	Условное обозначение	Название грунта
	Торф		Известняк
	Песок		Мел
	Песок мелкозернистый		Глина
	Песок с гравием		Гравий
	Супесь		Мергель
	Супесь валунная		Гранит
	Суглинок		Доломит
	Суглинок тяжелый пылеватый		

4. Строят суммарные кривые гранулометрического состава грунта, отобранного из различных слоев скважины, и определяют однородность грунта.

4.1. На отдельном листе бумаги, ориентированной вдоль большего размера листа (297 мм), имеющей рамку в соответствии с общими требованиями по

оформлению курсовой работы, вычерчивают прямоугольник примерного размера 100 × 240 мм.

По высоте прямоугольник разбивают на десять равных частей, (например, каждый отрезок равен 10 мм), из которых проводят горизонтальные линии. Шкалу подписывают так: 0, 10, 20–100. Вертикальную ось графика подписывают как «суммарное содержание фракций грунта, %».

Пример построения суммарной кривой гранулометрического состава грунта представлен на рис. 1.4.

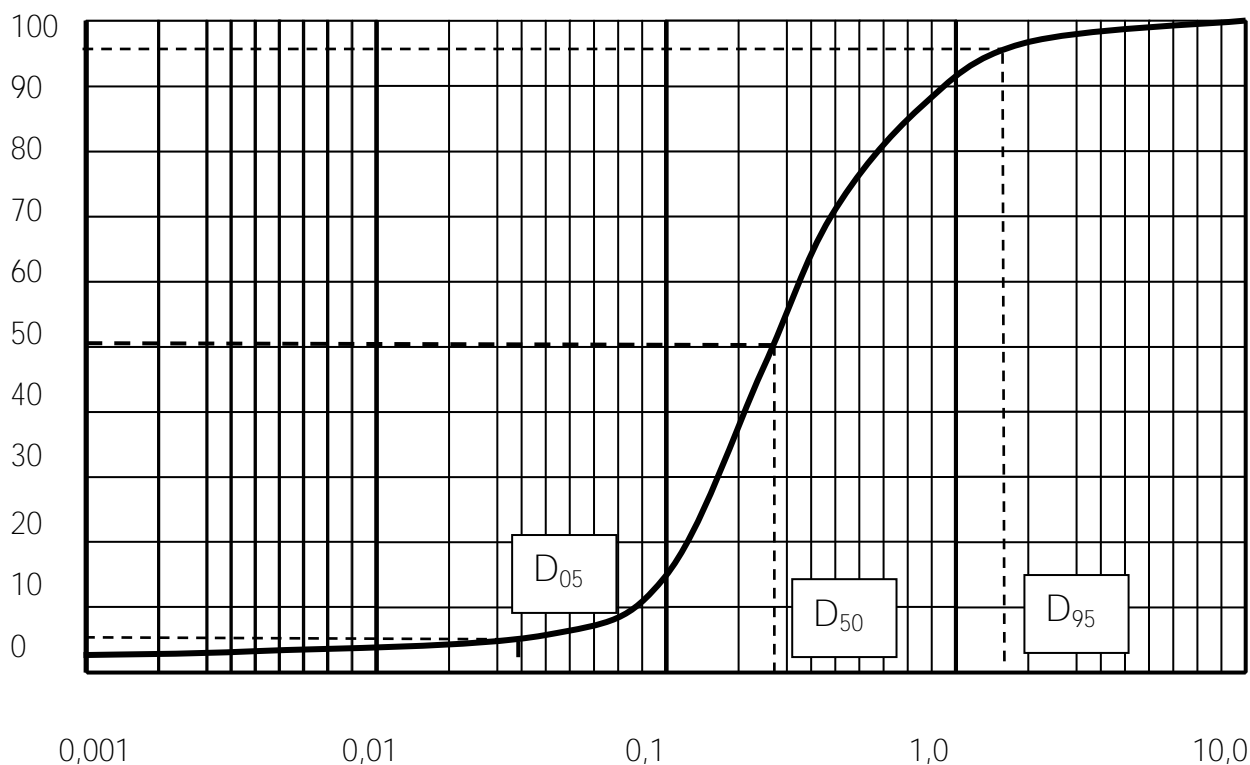


Рис. 1.4. Суммарная кривая гранулометрического состава грунта

Ось абсцисс разбивают на четыре равных отрезка (например 60 мм), из которых восстанавливают перпендикуляры. Каждый из этих отрезков обозначают 0,001; 0,01; 0,1; 1,0; 10,0. Каждый отрезок разбивают на девять частей, кратных логарифмам чисел от 2 до 10.

Логарифмы чисел

lg 1 = 0,000;	lg 6 = 0,778;
lg 2 = 0,301;	lg 7 = 0,845;
lg 3 = 0,477;	lg 8 = 0,903;
lg 4 = 0,602;	lg 9 = 0,954;
lg 5 = 0,699;	lg 10 = 1,000.

Чтобы получить точку, соответствующую числу 0,002; 0,02; 0,2 или 2, необходимо lg 2 = 0,301 умножить на длину отрезка (например, 0,301 × 60 = 18 мм). Полученное значение откладываем от начальных точек. Чтобы получить

точку, соответствующую числу 0,003; 0,03; 0,3 или 3, необходимо $\lg 3 = 0,477$ умножить на длину отрезка (например, $0,477 \times 60 = 28$ мм). Полученное значение также откладываем от начальных точек и т.д. По такому принципу разбиваем все отрезки и получаем координатное поле для нанесения точек, соответствующих гранулометрическому составу грунта. Ось абсцисс подписывают как «размер частиц, мм».

4.2. Заполняют рабочую таблицу для построения суммарной кривой гранулометрического состава грунта (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Рабочая таблица для построения суммарной кривой

Размер частиц, мм	Гранулометрический состав грунта и суммарное содержание фракций, %									
	слой № 26		слой № ____		слой № ____		слой № ____		слой № ____	
	содержание частиц, %	суммарное содержание, %	содержание частиц, %	суммарное содержание, %	содержание частиц, %	суммарное содержание, %	содержание частиц, %	суммарное содержание, %	содержание частиц, %	суммарное содержание, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10–2	4,3	100								
2–0,5	25,6	95,7								
0,5–0,25	32,8	70,1								
0,25–0,1	25,0	37,3								
0,1–0,05	6,8	12,3								
0,05–0,01	0,5	5,5								
0,01–0,005	1,5	5,0								
Менее 0,005	3,5	3,5								
Тип грунта	П		ПГ		ПГ		П		ПГ	
d_{05}	1,06									
d_{50}	0,28									
d_{95}	0,04									
U_{\max}	7,4									
Вид однородности	среднеоднородный									

Из прил. 3 выписывают номера слоев и ставят их в строку «слой № ____». Затем в столбцы 2, 4, 6, 8 и 10 табл. 1.3 записывают результаты гранулометрического состава грунта из результатов инженерно-геологических изысканий (прил. 4), соответствующих выписанным номерам слоев.

Суммарное содержание фракций (столбцы 3, 5, 7, 9 и 11) заполняют снизу вверх, прибавляя к нижней фракции расположенную выше (например, $3,5 + 1,5 = 5,0$ и т.д.).

Полученные значения суммарной кривой наносят на координатное поле суммарной кривой (например, в точке 10 мм откладывают 100 %, в следующей точке 2 мм откладывают 95,7 %, в точке 0,5 мм – 70,1 % и т.д.). Полученные точки соединяют плавной кривой с помощью лекала. Учитывая, что в табл. 1.3 помещены расчеты пяти кривых, на графике (см. рис. 1.4) суммарной кривой также должны располагаться пять кривых. Для лучшего визуального восприятия графика кривые рекомендуем выполнять различного цвета.

4.3. В строку «тип грунта» (см. табл. 1.3) ставят символы, которые соответствуют типу грунта в слое (прил. 4):

- П – песчаные;
- ПГ – пылевато-глинистые (супеси, суглинки, глины).

Для песчаных грунтов определяют показатель максимальной неоднородности грунта. Для пылевато-глинистых грунтов ставят прочерк.

4.4. Показатель максимальной неоднородности грунта вычисляют из выражения

$$U_{\max} = d_{50} \times \frac{d_{95}}{d_{05}} = 0,28 \times \frac{1,06}{0,04} = 7,4,$$

где d_{05} , d_{50} , d_{95} – диаметры частиц, содержащихся в грунте соответственно в количестве 5, 50, 95 %, определяемые по графику суммарных кривых гранулометрического состава грунта (см. рис. 1.4).

По показателю максимальной неоднородности песчаные грунты подразделяются (СТБ 943–2007):

на однородные	$U_{\max} < 4;$
среднеоднородные	$4 \leq U_{\max} \leq 20;$
неоднородные	$20 < U_{\max} \leq 40;$
повышенной неоднородности	$U_{\max} > 40.$

На основании полученного выражения $U_{\max} = 7,4$ песчаный грунт характеризуется как среднеоднородный.

Для пылевато-глинистых грунтов ставят прочерк.

5. Определяют вид грунта, используя данные инженерно-геологических изысканий. Результаты определений и вычислений представляют в табличной форме (табл. 1.4), выполненной на отдельных листах бумаги формата А4.

5.1. Плотность грунта, плотность частиц грунта, естественная влажность, влажность на границе текучести, влажность на границе раскатывания и коэффициент уплотнения (табл. 1.4) – численные значения, которые переносят из исходных данных для каждого слоя грунта.

Таблица 1.4

Результаты инженерно-геологических изысканий и расчетов

№ п/п	Показатель грунта	Обозначение	Размерность	Номер слоя				
				1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Плотность	ρ	г/см ³	Исх. дан.				
2	Удельный вес	γ	Н/м ³	п. 5.2				
3	Плотность частиц	ρ_s	г/см ³	Исх. дан.				
4	Естественная влажность	W	%	Исх. дан.				
5	Плотность сухого грунта	ρ_d	г/см ³	(1.1)				
6	Влажность на границе текучести	W_L	%	Исх. дан.				
7	Влажность на границе раскатывания	W_P	%	Исх. дан.				
8	Число пластичности	I_P	%	(1.2)				
9	Тип грунта по числу пластичности			п. 5.4				
10	Коэффициент пористости	e	доли единицы	п. 5.5				
11	Разновидность по коэф. пористости			Табл. 1.5				
12	Коэффициент пористости, соответствующий влажности W_L	e_L		(1.3)				
13	Показатель для оценки просадочных и набухающих свойств	I_{SS}	доли единицы	(1.4)				
14	Оценка просадочности			Табл. 1.6				
15	Оценка набухаемости			п. 5.7				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Степень влажности	S_r	доли единицы	(1.5)				
17	Разновидность по степени влажности			п. 5.8				
18	Показатель текучести	I_L	%	(1.6)				
19	Разновидность по показателю текучести			п. 5.9				
20	Коэффициент уплотнения	a		Исх. дан.				
21	Модуль деформации	E	МПа	п. 5.10				
22	Модуль упругости	E_y	МПа	(1.7)				
23	Тип грунта по деформационному показателю			п. 5.11				
24	Полное наименование грунта			Рез. анализа				

5.2. Удельный вес грунта, применяемый в инженерных расчетах, есть произведение плотности на ускорение свободного падения:

$$\gamma = \rho g, \text{ кН/м}^3,$$

где ρ – плотность грунта, т/м³;

g – ускорение свободного падения $\approx 10 \text{ м/с}^2$.

5.3. Плотность сухого грунта, по которой характеризуется максимальная плотность, определяют из выражения

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot W}, \text{ г/см}^3, \quad (1.1)$$

где ρ – плотность грунта (исходные данные), г/см³;

W – естественная влажность грунта (исходные данные), %.

Наиболее вероятные численные значения плотности сухого грунта находятся в пределах $\rho_d = 1,2-1,8 \text{ г/см}^3$.

5.4. Число пластичности, по которому классифицируется пылевато-глинистый грунт, определяют из выражения

$$I_p = W_L - W_p, \% \quad (1.2)$$

где W_L – влажность на границе текучести (исходные данные), %;

W_p – влажность на границе раскатывания (исходные данные), %.

Численные значения числа пластичности для различных видов грунтов следующие:

- песка – $I_p < 1$;
- супеси – $1 \leq I_p \leq 7$;
- суглинка – $7 < I_p \leq 17$;
- глины – $I_p > 17$.

Полученные значения сравнивают с нормативными и в строку 9 записывают тип грунта.

5.5. Коэффициент пористости отражает объемное соотношение пор и твердой фазы и выражается в долях единицы. Определяется из выражения

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d},$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, которая изменяется в небольших пределах $\rho_s = 2,61-2,75 \text{ г/см}^3$, принимаем по строке 3;

ρ_d – плотность сухого грунта, определяемая по выражению (1.1).

Разновидность песчаных грунтов по коэффициенту пористости представлена в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Разновидности песчаных грунтов по коэффициенту пористости

Вид песчаного грунта	Коэффициент пористости, e	Разновидность песчаных грунтов по плотности
Гравелистый, крупный, средней крупности	$e < 0,55$	Плотный
	$0,55 \leq e \leq 0,70$	Средней плотности
	$e > 0,70$	Рыхлый
Мелкий	$e < 0,60$	Плотный
	$0,60 \leq e \leq 0,75$	Средней плотности
	$e > 0,75$	Рыхлый
Пылеватый	$e < 0,60$	Плотный
	$0,60 \leq e \leq 0,80$	Средней плотности
	$e > 0,80$	Рыхлый

Пылевато-глинистые грунты (лессовидные) подразделяются на два вида:
 низкопористые $e \leq 0,8$;
 высокопористые $e > 0,8$.

Разновидность песчаного грунта и вид пылевато-глинистого ставят в строку 11.

5.6. Определяют коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести (строка 12 табл. 1.4), из выражения

$$e_L = \frac{\rho_S W_L}{100 \rho_W}, \% \quad (1.3)$$

где ρ_S – плотность частиц грунта, г/см³;
 W_L – влажность на границе текучести, %;
 ρ_W – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

5.7. Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделить группы, для которых характерны просадочность и набухание. Для этого определяем показатель I_{SS} (строка 13 табл. 1.4) из выражения

$$I_{SS} = \frac{e_L - e}{1 + e} \quad (1.4)$$

К просадочным относятся лессовые грунты со степенью влажности $S_r < 0,8$, для которых величина показателя I_{SS} меньше значений, приведенных в табл. 1.6. для определенного значения числа пластичности.

Таблица 1.6

Значения показателя I_{SS} в зависимости от числа пластичности

Показатели	Значения показателей		
Число пластичности грунта I_P	$1 \leq I_P < 10$	$10 \leq I_P < 14$	$14 \leq I_P < 22$
Показатель I_{SS}	0,10	0,17	0,24

Показатели e_L и I_{SS} определяют только для тех слоев, у которых в табл. 1.3 в типе грунта стоит обозначение ПГ (пылевато-глинистые грунты). Если показатель I_{SS} меньше значений, указанных в табл. 1.6, то в строке 14 табл. 1.4 («оценка просадочности») записывают «просадочный», если больше – «непросадочный».

К набухающим грунтам, которые увеличиваются в объеме при замачивании их водой, относятся такие пылевато-глинистые грунты, у которых значение показателя $I_{SS} > 0,3$. В строку 15 табл. 1.4 («оценка набухаемости») записывают «набухающий» или «ненабухающий».

5.8. Определяют степень влажности грунта (строка 16 табл. 1.4), которая равна отношению объема пор, заполненных водой, к общему объему пор, из выражения

$$S_r = \frac{\rho_s W}{100 e \rho_w}, \quad (1.5)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта (исходные данные), г/см³;
 W – естественная влажность грунта (исходные данные), %;
 e – коэффициент пористости (строка 10 табл. 1.4), доли единицы;
 ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Оценка влажности грунта по степени влажности производится только для песчаных грунтов, поскольку для пылевато-глинистых аналогичная оценка производится по показателю текучести.

Выбор разновидности песчаных грунтов по степени влажности S_r производят в соответствии со следующими данными:

- маловлажный $0 < S_r \leq 0,5$;
- влажный $0,5 < S_r \leq 0,8$;
- водонасыщенный $0,8 < S_r \leq 1$.

В строке 17 табл. 1.4 только для песчаного грунта записывают одну из трех вышеприведенных разновидностей.

5.9. В практике инженерно-геологических изысканий влажность глинистых грунтов оценивается показателем текучести. В некоторых документах этот показатель называют консистенцией. Показатель текучести учитывает весь диапазон влажностей, при которых может находиться грунт: естественную, влажность на границе раскатывания и влажность на границе текучести. Определяют показатель текучести (строка 18 табл. 1.4) из выражения

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}, \quad (1.6)$$

где W – естественная влажность грунта (исходные данные), %;
 W_L – влажность на границе текучести (исходные данные), %;
 W_p – влажность на границе раскатывания (исходные данные), %.

Найденные значения показателя текучести ставят в строке 18. Данный показатель определяют только для грунтов ПГ (пылевато-глинистых).

В зависимости от типа грунта (строка 9 табл. 1.4): супесь, суглинок или глина, разновидность определяют по следующей классификации:

для супеси:

- твердая $I_L < 0$;
- полутвердая $0 \leq I_L \leq 1,00$;
- текучая $I_L > 1,00$.

для суглинка и глины:

– твердая	$I_L < 0;$
– полутвердая	$0 \leq I_L \leq 0,25;$
– тугопластичная	$0,25 < I_L \leq 0,50;$
– мягкопластичная	$0,50 < I_L \leq 0,75;$
– текучепластичная	$0,75 < I_L \leq 1,00;$
– текучая	$I_L > 1,00.$

Наименование разновидности ставят в строку 19 табл. 1.4.

5.10. Деформируемость грунта оценивают с помощью таких показателей, как модуль деформации и модуль упругости.

Модуль деформации характеризует деформируемость грунта, которая происходит под действием постоянно приложенной нагрузки в течение длительного периода времени (например, осадка основания земляного полотна, сжимаемость основания под опорой моста или путепровода и т.д.).

Модуль деформации – отношение сжимающего напряжения к вызываемой им относительной деформации:

$$E = \frac{\sigma}{\ell_0},$$

где σ – нормальное сжимающее напряжение, МПа;

ℓ_0 – относительная деформация, представляющая собой отношение абсолютной деформации к общей.

В данном случае модуль деформации грунта (строка 21 табл. 1.4) определяют с учетом коэффициента уплотнения (сжимаемости), приведенного в исходных данных, из выражения

$$E = \frac{(1 + e)\beta}{a},$$

где e – коэффициент пористости (строка 10 табл. 1.4);

β – коэффициент поперечной деформации, зависящий от коэффициента Пуассона, и определяемый по величине полных относительных деформаций в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Ориентировочно коэффициент поперечной деформации равен:

– для песчаных грунтов	– 0,8;
– для супесей	– 0,7;
– для суглинков	– 0,5;
– для глин	– 0,4;

– коэффициент сжимаемости грунта (исходные данные прил. 4).

5.11. Модуль упругости оценивает деформируемость грунта под временно приложенной нагрузкой (воздействие колеса автомобиля на конструкцию). В настоящее время расчет конструкции дорожной одежды автомобильных дорог ведут с учетом модуля упругости. Основной принцип данного расчета заключается в том, что возникшая упругая деформация в грунтах или слоях

дорожной одежды должна быть полностью восстановлена после снятия нагрузки (после прохода колеса автомобиля).

Модуль упругости – отношение сжимающего напряжения к упругой деформации при кратковременном расчетном действии нагрузки:

$$E_y = \frac{\sigma}{\ell_y},$$

где σ – нормальное сжимающее напряжение, МПа;

ℓ_y – упругая деформация.

Если упругая деформация равна общей, то после снятия нагрузки осадки грунта не происходит. Это характерно для грунтов, уплотненных до максимума. Если упругая деформация является частью общей деформации, состоящей в свою очередь из упругой и остаточной, то после снятия нагрузки остается остаточная деформация, которая свидетельствует об осадке грунта или материала конструкции. Это возможно, если грунт не уплотнен до максимальной плотности.

Расчет модуля упругости (строка 22 табл. 1.4) производят с учетом относительного коэффициента, который равен 3,8:

$$E_y = 3,8E, \quad (1.7)$$

где E – модуль деформации, МПа.

Ориентировочные значения модуля упругости для различных видов грунта составляют:

- | | |
|--------------------------------|------------|
| – песка гравелистого, крупного | – 130 МПа; |
| – средней крупности | – 110 МПа; |
| – мелкого | – 80 МПа; |
| – пылеватого | – 60 МПа; |
| – супеси легкой крупной | – 100 МПа; |
| – супеси легкой | – 65 МПа; |
| – пылеватой, тяжелой пылеватой | – 45 МПа; |
| – суглинка легкого и тяжелого | – 40 МПа. |

В строке 23 записывают «тип грунта по деформационному показателю» из вышеприведенных значений.

5.12. На основании приведенных данных инженерно-геологических изысканий и расчета физико-механических характеристик грунтов проводим анализ и делаем заключение о наименовании грунта.

Для песчаных грунтов на основании табл. 1.4 делаем заключение с учетом следующей классификации:

- | | |
|---------------------|--|
| – песок гравелистый | – масса частиц крупнее 2 мм более 25 %; |
| – крупный | – масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 %; |
| – средний | – масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 %; |
| – мелкий | – масса частиц крупнее 0,1 мм более 75 %; |

– пылеватый – масса частиц крупнее 0,1 мм менее 75 %.

По результатам исследований (см. табл. 1.4) или по суммарной кривой гранулометрического состава (см. рис. 1.4) последовательно суммируют процентное содержание частиц исследуемого грунта: вначале – крупнее 10 мм, далее – крупнее 2 мм, затем – крупнее 0,5 мм и т.д. до тех пор, пока полученная сумма будет соответствовать вышеприведенной классификации.

Для пылевато-глинистых грунтов (супеси, суглинки, глины) заключение о наименовании грунта делается на основании показателей, приведенных в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Типы и подтипы глинистых грунтов

Грунты		Показатели	
Тип	Подтип	Содержание песчаных частиц, % по массе	Число пластичности, I_p
Супесь	Легкая крупная	Свыше 50 % частиц размером от 2 до 0,25 мм	1–7
	Легкая	Свыше 50 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	1–7
	Пылеватая	От 50 до 20 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	1–7
	Тяжелая пылеватая	Менее 20 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	1–7
Суглинок	Легкий	Свыше 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	7–12
	Легкий пылеватый	Менее 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	7–12
	Тяжелый	Свыше 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	12–17
	Тяжелый пылеватый	Менее 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	12–17
Глина	Песчанистая	Свыше 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	17–27
	Пылеватая	Менее 40 % частиц размером от 2 до 0,05 мм	17–27
	Жирная	Не нормируется	Свыше 27

Для определения песчаных частиц в табл. 1.4 отбрасывают фракцию 10–2 мм и начинают суммировать фракции 2–0,5 мм, 0,5–0,25 мм (если данная сумма превышает 50 % делают вывод, что это супесь легкая крупная); продолжают складывать фракции 0,25–0,1 мм, 0,1–0,05 мм.

Число пластичности принимают из строки 8 табл. 1.4.

Наименование грунта заносят в строку 24 табл. 1.4.

Закключение. На основании данных инженерно-геологических изысканий и лабораторных исследований построен геологический разрез местности, составлена стратиграфическая колонка. Построена суммарная кривая гранулометрического состава грунта. Определен вид грунта с учетом лабораторных данных и вычисленных физико-механических свойств.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Введение

Напряжение – это отношение действующего усилия к площади сечения, к которой приложено это усилие. При инженерных оценках прочности сооружения действующие напряжения сравнивают с допустимыми. Если действующее напряжение меньше допустимого, говорят, что сооружение обладает некоторым запасом прочности.

Для оценки напряженного состояния линейно-деформируемой среды необходимо знать напряжения, возникающие в каждой точке среды. Давление в грунтах передается частицами или структурными агрегатами через точки контакта, распределяясь по глубине на большую площадь. Давление от внешней нагрузки с глубиной затухает, а от собственного веса возрастает.

Различают два случая расчета напряжений.

1. От нагрузки, приложенной к бесконечным полосам постоянной ширины и одинаково распределенным по длине и ширине полосы в любом сечении (плоская задача) (рис. 2.1):

- а) длинные ленточные фундаменты;
- б) дорожные насыпи, плотины постоянного сечения.

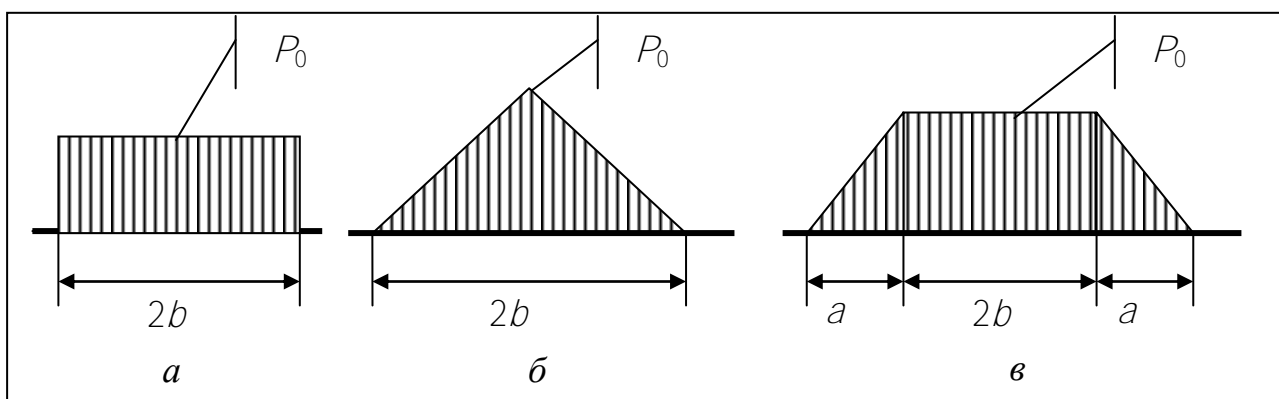


Рис. 2.1. Схемы расчета напряжений в грунтах при внешней полосообразной нагрузке (плоская задача):

- a* – равномерно распределенной (ленточный фундамент); *б* – треугольной;
- в* – трапециевидной (насыпь земляного полотна дороги)

2. От нагрузки, распределенной по ограниченной площади (пространственная задача):

- а) башмаки колонн, опоры мостов;
- б) дорожная плита, прямоугольная опора.

В условиях плоской задачи для оценки напряженного состояния грунта достаточно исследовать распределение напряжений в любом сечении массива, перпендикулярном оси нагруженной полосы.

Определение напряжений в грунте под нагрузкой, равномерно распределенной по ширине полосы (давление длинных полос ленточных фундаментов) для точек, расположенных по вертикальной оси симметрии, вычисляются из выражения

$$\sigma_z = \frac{P_0}{\pi} (\alpha - \sin \alpha) \approx K_1 P_0, \quad (2.1)$$

где P_0 – расчетное давление на грунт от внешней нагрузки;

K_1 – коэффициент влияния угла видимости. Для вертикальной оси симметрии величина $\frac{1}{\pi} (\alpha - \sin \alpha)$ может быть заменена отношением $\frac{2b}{z}$.

Значения $K_1 = \frac{1}{\pi} (\alpha - \sin \alpha)$ приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения коэффициента K_1

$\frac{2b}{z}$	K_1	$\frac{2b}{z}$	K_1	$\frac{2b}{z}$	K_1	$\frac{2b}{z}$	K_1
0,0	0,000	1,0	0,550	3,0	0,920	5,5	0,983
0,1	0,064	1,2	0,624	3,5	0,943	6,0	0,986
0,2	0,127	1,5	0,716	4,0	0,960	7,0	0,991
0,5	0,306	2,0	0,817	4,5	0,970	8,0	0,994
0,8	0,462	2,5	0,889	5,0	0,977	10,0	0,997

Основные напряжения в какой-либо точке при нагрузке, распределенной по трапеции (рис. 2.2) (давление дорожных насыпей и плотин) можно определить из выражений

$$\sigma_z = \left(\frac{P_0}{\pi n} \right) [n (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \mp (\alpha_1 + \alpha_3) \mp d (\alpha_1 - \alpha_3)];$$

$$\sigma_x = \left(\frac{P_0}{\pi n} \right) [n (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \mp (\alpha_1 + \alpha_3) \mp d (\alpha_1 - \alpha_3) \mp 2v \cdot \ln \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3}];$$

$$\tau_{zx} = \frac{P_0 v}{\pi n} (\alpha_1 - \alpha_3);$$

где P_0 – внешняя нагрузка;

b – половина ширины равномерно распределенной нагрузки;
 $2a$ – разность между верхним и нижним основаниями эпюры нагрузки;

$d = \frac{x}{b}$, $v = \frac{z}{b}$ – относительные координаты рассматриваемой точки;

$n = \frac{a}{b}$;

$R_1 - R_4$ – расстояния от рассматриваемой точки до точек 1-4 эпюры нагрузки;

$\alpha_1 - \alpha_3$ – углы между лучами $R_1 - R_4$.

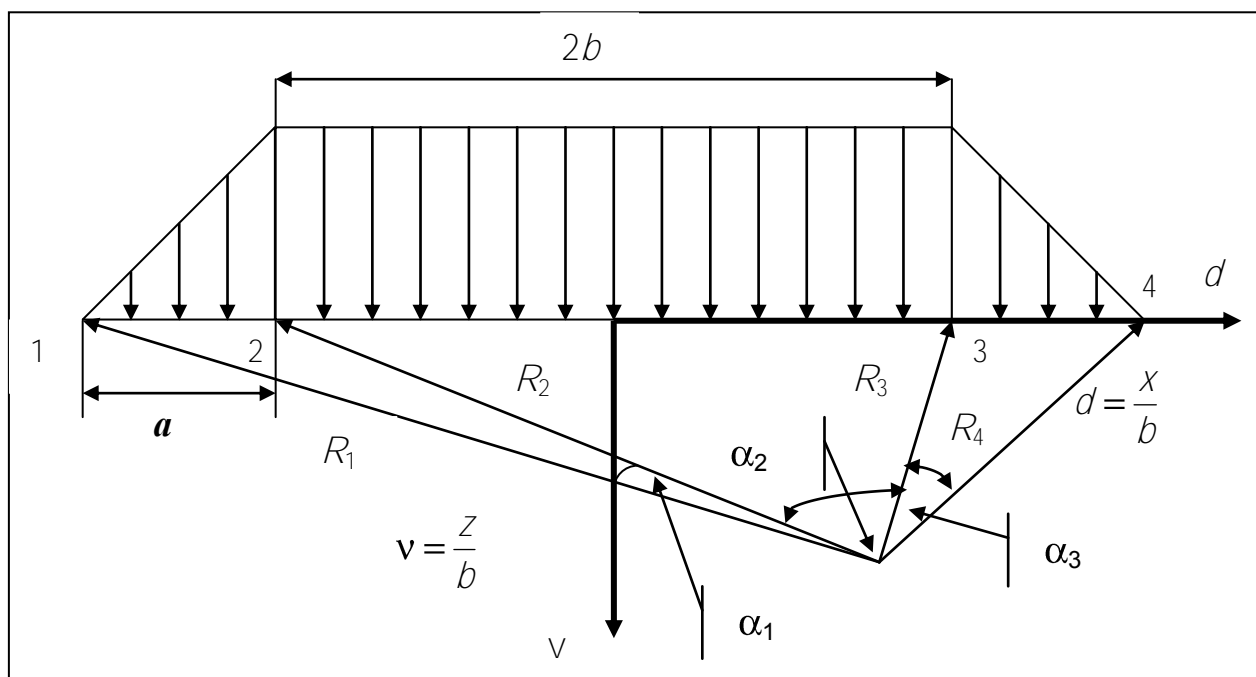


Рис. 2.2. Схема по определению напряжений в грунтовом основании при воздействии внешней нагрузки в виде равнобочной трапеции

При рассмотрении нагрузки от веса земляного полотна, распределенной по закону трапеции, применяется расчет по отдельным геометрическим фигурам. Давление делится на следующие участки: равномерно распределенная нагрузка посередине (прямоугольный элемент трапеции), треугольная нагрузка по бокам (откосная часть земляного полотна). Напряжения определяются отдельно для каждой части трапеции, а затем складываются. Данный метод может быть упрощен при использовании универсальной номограммы Остерберга (рис. 2.3).

Определение вертикальных сжимающих напряжений в грунте, подстилающем насыпь, от давления одной из ее половин в упрощенном виде выполняют по выражению

$$\sigma_z = K_2 P_0, \quad (2.2)$$

где K_2 – коэффициент, определяемый по графику Остерберга в зависимости от отношений $\frac{a}{z}$ и $\frac{b}{z}$.

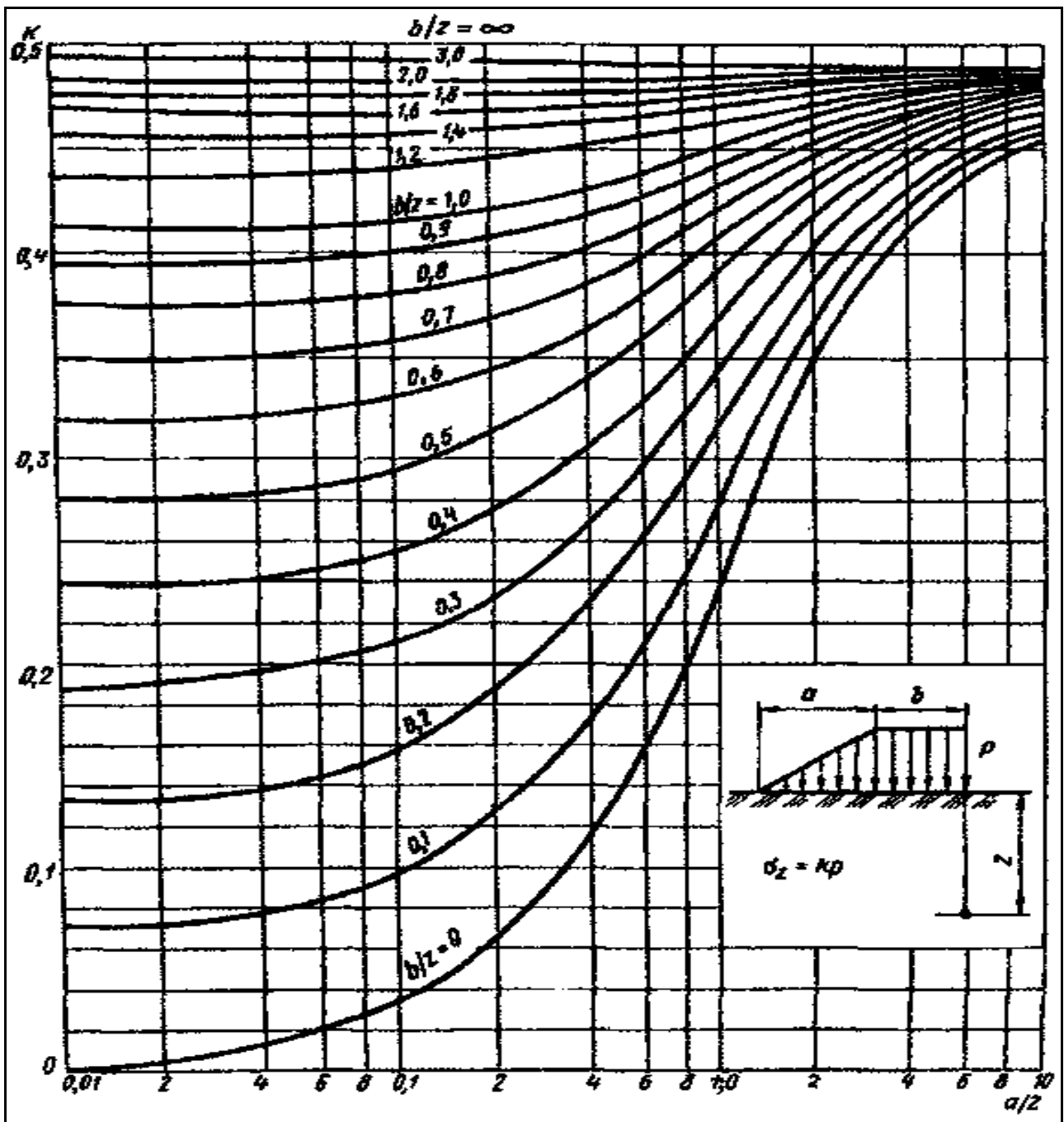


Рис. 2.3. Номограмма Остерберга для определения коэффициента влияния в зависимости от относительных координат

При равномерно распределенной по кругу нагрузке (опоры мостов и путепроводов) вертикальные нормальные напряжения по оси Z , проходящей через центр круга, определяют из выражения

$$\sigma_z = P_0(1 - \cos^2 \beta) \quad \text{или} \quad \sigma_z = K_3 P_0, \quad (2.3)$$

где P_0 – давление на грунт в центральной части насыпи;

β – угол между вертикальной осью и прямой, соединяющей рассматриваемую точку A с точкой на окружности;

r – радиус круга;

K_3 – коэффициент, определяемый по табл. 2.2 в зависимости от соотношения глубины рассматриваемой точки к радиусу круга.

Таблица 2.2

Значения коэффициента K_3

$\frac{z}{r}$	K_3	$\frac{z}{r}$	K_3	$\frac{z}{r}$	K_3
0,25	0,986	1,50	0,424	4,00	0,087
0,50	0,901	1,75	0,346	5,00	0,057
0,75	0,784	2,0	0,284	7,00	0,030
1,00	0,646	2,5	0,200	10,00	0,015
1,25	0,524	3,0	0,146		

Если нагрузка равномерно распределена по прямоугольной площадке, то вертикальные напряжения определяют по вертикальному сечению, проходящему через угол площадки, и рассчитывают по формуле

$$\sigma_z = K_4 P_0, \quad (2.4)$$

где K_4 – коэффициент, определяемый в зависимости от габаритов прямоугольной площадки по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Значения коэффициента K_4

$\frac{z}{B}$	Значения K_4 при $\frac{L}{B}$					
	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10,0
0,25	0,247	0,248	0,248	0,248	0,249	0,249
0,50	0,233	0,233	0,239	0,240	0,240	0,240
1,00	0,175	0,194	0,200	0,203	0,204	0,205
1,50	0,121	0,145	0,156	0,164	0,167	0,167
2,00	0,084	0,107	0,120	0,132	0,136	0,137
4,00	0,027	0,038	0,048	0,064	0,071	0,076
8,00	0,007	0,011	0,014	0,020	0,028	0,037
10,00	0,005	0,007	0,009	0,013	0,020	0,028
15,00	0,002	0,003	0,004	0,006	0,010	0,016
20,00	0,001	0,002	0,002	0,004	0,006	0,010

2.1. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще

под ленточным фундаментом

Задание

1. Представить краткое описание оценки напряженного состояния грунтового массива.
2. Построить расчетную схему для ленточного фундамента.
3. Определить величину равномерно распределенной нагрузки.
4. Определить значение коэффициента влияния угла видимости.
5. Определить величины вертикальных напряжений в грунтовой толще.
6. Построить эпюру распределения напряжений.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Давление сооружения $P_0 \text{ соор}$, МПа –	0,3.
3. Плотность грунта $\rho_{и\gamma}$, г/см ³ –	2,0.
4. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	2,5.
5. Ширина фундамента $2b$, м –	2,0.

Порядок расчета

1. Описывают методы расчета напряжений, возникающие в грунтовой толще под воздействием различных нагрузок, по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют схематически расчетную схему для ленточного фундамента (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 2.4).

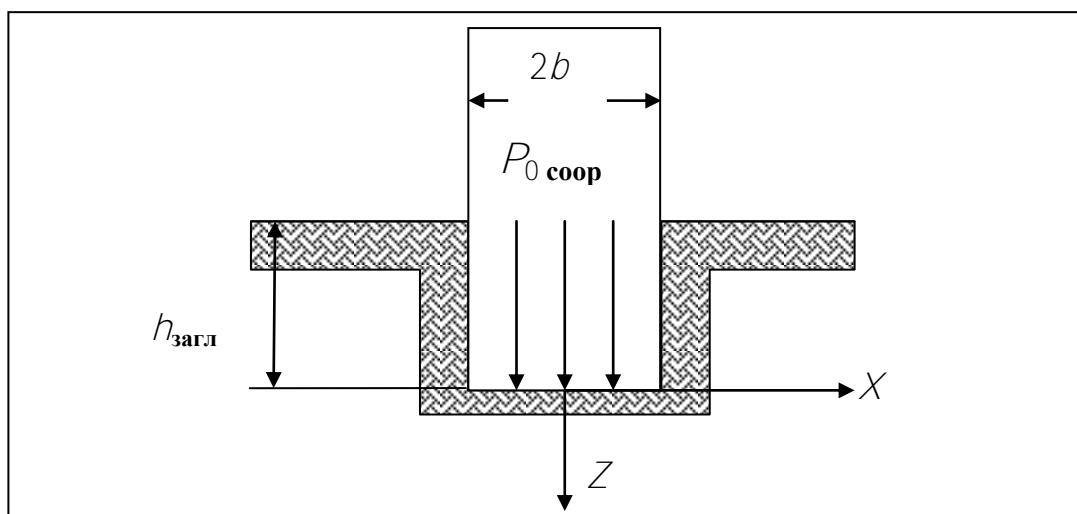


Рис. 2.4. Расчетная схема ленточного фундамента

3. Рассчитывают величину равномерно распределенной нагрузки из выражения

$$P_0 = P_{0 \text{ соор}} - 0,01 \rho_w h_{\text{загл}}, \quad (2.5)$$

где $P_{0 \text{ соор}}$ – давление сооружения, МПа (исходные данные);

ρ_w плотность грунта, г/см³ (исходные данные);

$h_{\text{загл}}$ величина заглубления фундамента, м (исходные данные).

Результаты расчетов записывают в рабочую табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты расчета величин напряжений

P_0	Z	$\frac{2B}{Z}$	K_1	σ_z
(2.5)	0,5	Расчет	табл. 2.1	(2.1)
	1,0			
	1,5			
	2,0			
	3,0			
	4,0			
	5,0			
	6,0			
	7,0			
	10,0			

4. Вычисляют значение коэффициента влияния угла видимости.

4.1. Задаются глубиной определения величины напряжения. Принимаем глубину, представленную в табл. 2.4.

4.2. Определяют частное от деления ширины фундамента на глубину точки (Z), в которой определяют напряжение (столбец 3).

4.3. По табл. 2.1. определяют значение K_1 . Если вычисленное значение соотношения $\frac{2B}{Z}$ не совпадает с табличным, то коэффициент определяют интерполированием.

5. Определяют величины вертикальных напряжений в грунтовой толще под ленточным фундаментом по формуле (2.1).

6. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) в масштабе 1:100 строят эпюру распределения напряжений по глубине под действием ленточного фундамента. Пример построения эпюры представлен на рис. 2.5.

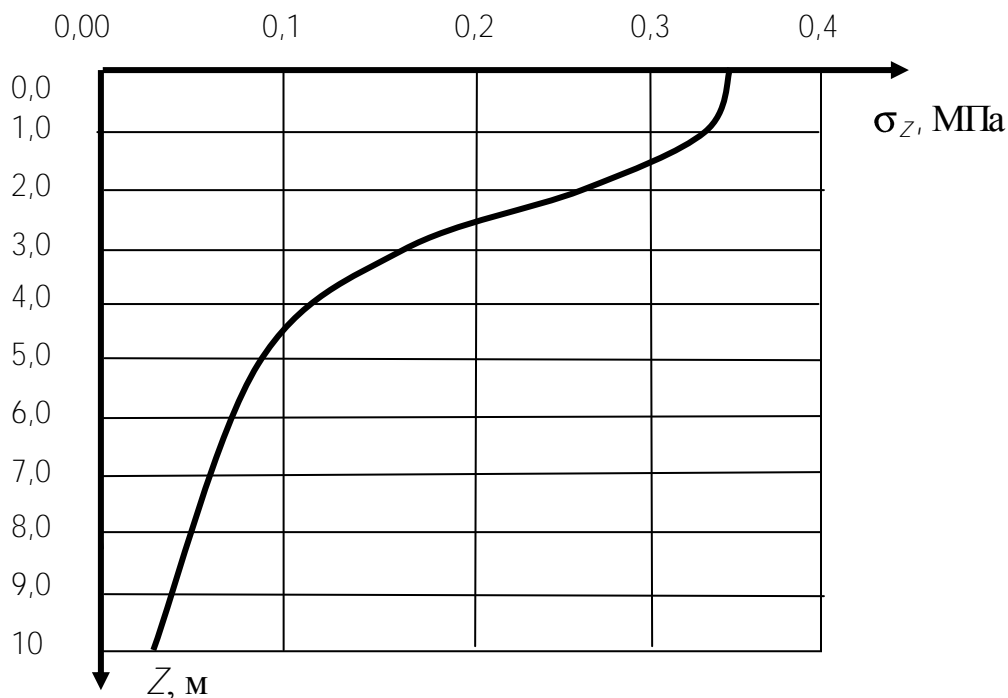


Рис. 2.5. Эпюра напряжений в грунтовом массиве под ленточным фундаментом

Заключение. Выполнен расчет величин напряжений на различной глубине по вертикальной оси, проходящей через центр полосообразной нагрузки (ленточный фундамент). Напряжения в грунтах с глубиной уменьшаются.

2.2. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под насыпью земляного полотна

Задание

1. Представить краткое описание оценки напряженного состояния грунтового массива
2. Построить расчетную схему для трапециевидной нагрузки.
3. Определить величину равномерно распределенной нагрузки.
4. Определить значение коэффициента, зависящего от относительных координат.
5. Определить величины вертикальных напряжений в грунтовой толще.
6. Построить эпюру распределения напряжений.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

- | | |
|--|------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Плотность грунта ρ_w , г/см ³ – | 2,0. |
| 3. Категория дороги – | II. |
| 4. Высота насыпи H , м – | 5. |
| 5. Заложение откоса 1: m – | 1,5. |

Порядок расчета

1. Описывают методы расчета напряжений, возникающие в грунтовой толще под воздействием различных нагрузок, по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют схематически расчетную схему для трапециевидной нагрузки (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 2.6).

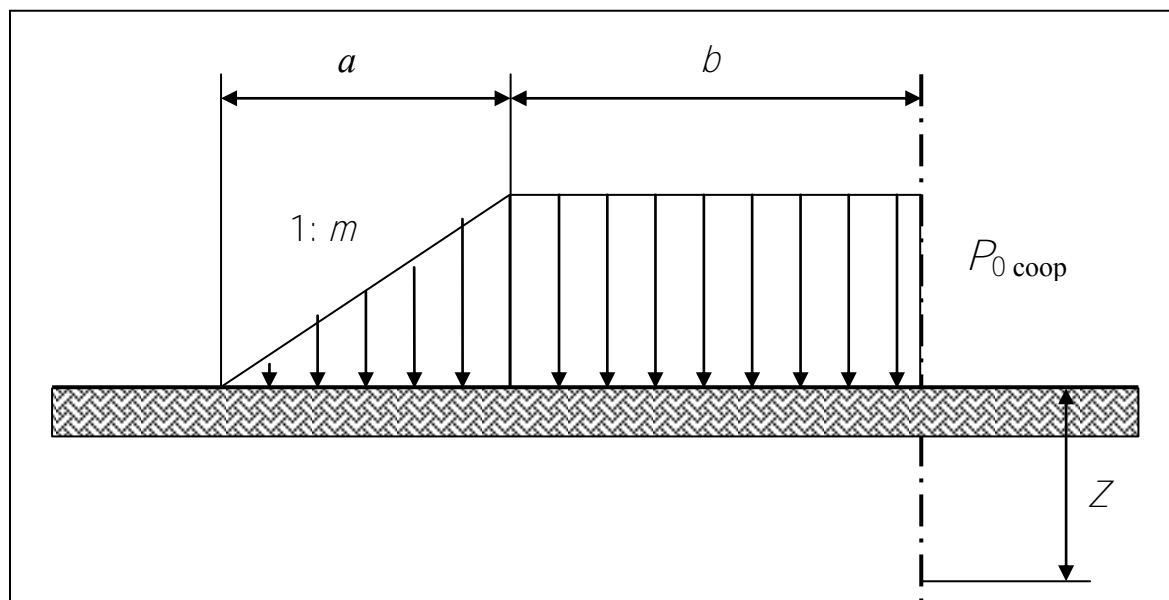


Рис. 2.6. Расчетная схема трапециевидной нагрузки

2.1. Определяют величину b в зависимости от категории дороги по табл. 2.5. Для II категории ширина $2b$ равна 13 м, $b = 6,5$ м.

Таблица 2.5

Ширина земляного полотна дороги

Параметр	Категория дороги					
	I а	I б; I в	II	III	IV	V
Ширина земляного полотна	24,5	22	13	12	10	8

2.2. В зависимости от заложения откоса определяют величину a по формуле

$$a = Hm,$$

где H – высота насыпи, м (исходные данные);
 m – заложение откоса (исходные данные).

3. Рассчитывают давление на грунт в центральной части насыпи из выражения

$$P_0 = 0,01\rho_w H,$$

где ρ_w – плотность грунта, г/см³ (исходные данные);

H – высота насыпи, м (исходные данные).

Результаты расчетов записывают в рабочую табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты расчета величин напряжений

P_0 , МПа	Z , м	$\frac{a}{Z}$	$\frac{b}{Z}$	K_2	σ_z , МПа
(2.1)	0,5	Расчет	Расчет	рис. 2.3	(2.2)
	1,0				
	1,5				
	2,0				
	3,0				
	4,0				
	5,0				
	6,0				
	7,0				
	10,0				

4. Вычисляют значение коэффициента влияния K_2 по номограмме Остерберга в зависимости от относительных координат.

4.1. Задаются глубиной определения величины напряжения. Принимаем глубину, представленную в табл. 2.6 (столбец 2).

4.2. Определяют значение относительных координат $\frac{a}{Z}$ и $\frac{b}{Z}$. Результаты записывают в столбцы 3 и 4.

4.3. По графику Остерберга (см. рис. 2.3) определяют значение коэффициента K_2 .

5. Определяют величины вертикальных напряжений в грунтовой толще под трапециевидной нагрузкой по формуле (2.2). Значения записывают в табл. 2.6.

6. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) в масштабе 1:100 строят эпюру распределения напряжений по глубине под насыпью земляного полотна дороги. Пример построения эпюры представлен на рис. 2.5.

Заклучение. Выполнен расчет величин напряжений на различной глубине по вертикальной оси, проходящей через центр трапециевидной нагрузки (насыпи земляного полотна автомобильной дороги). Напряжения в грунтах с глубиной уменьшаются.

2.3. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под круглой мостовой опорой

Задание

1. Представить краткое описание оценки напряженного состояния грунтового массива.
2. Построить расчетную схему для круглой опоры.
3. Определить величину равномерно распределенной нагрузки по кругу.
4. Определить значение коэффициента, зависящего от соотношения глубины определения напряжения к радиусу круга.
5. Определить величины вертикальных напряжений в грунтовой толще на оси, проходящей через центр круга.
6. Построить эпюру распределения напряжений.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

- | | |
|---|------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Давление сооружения P_0 соор, МПа – | 0,3. |
| 3. Плотность грунта $\rho_{вс}$, г/см ³ – | 2,0. |
| 4. Величина заглубления фундамента $h_{загл}$, м – | 2,5. |
| 5. Диаметр опоры d , м – | 1,0. |

Порядок расчета

1. Описывают методы расчета напряжений, возникающие в грунтовой толще под воздействием различных нагрузок, по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют схематически расчетную схему для нагрузки, распределенной по кругу (опоры мостов, путепроводов), (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 2.7).

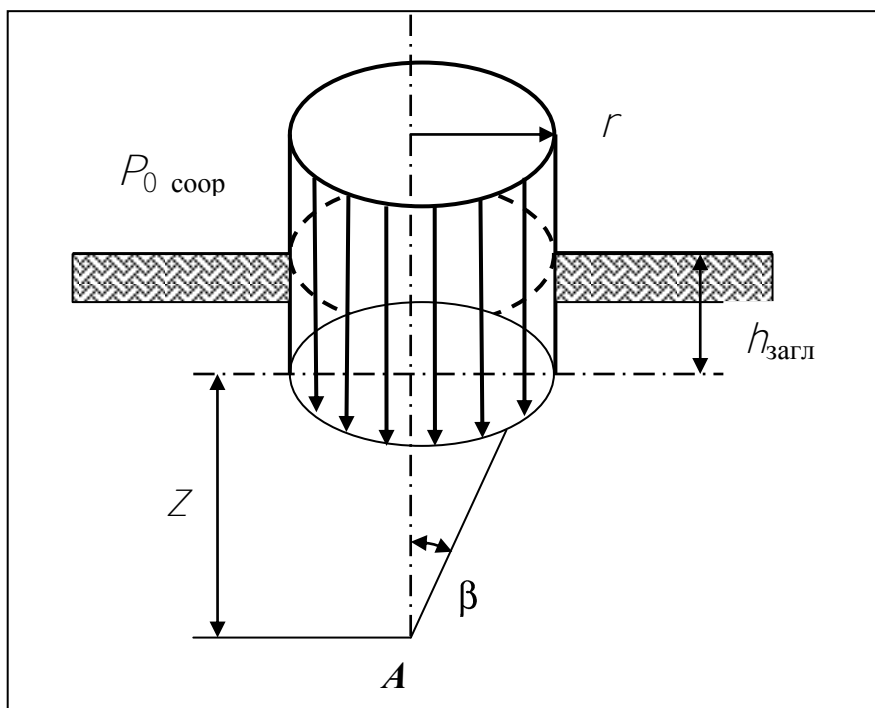


Рис. 2.7. Расчетная схема определения напряжений при нагрузке, распределенной по кругу

3. Рассчитывают величину равномерно распределенной нагрузки из выражения (2.5). Результаты расчетов записывают в рабочую табл. 2.7 (столбец 1).

4. Вычисляют значение коэффициента влияния угла видимости.

4.1. Задаются глубиной определения величины напряжения. Принимаем глубину, представленную в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты расчета величин напряжений

P_0 , МПа	Z , м	$\frac{Z}{r}$	K_3	σ_z
(2.5)	0,5	Расчет	табл. 2.2	(2.3)
	1,0			
	1,5			
	2,0			
	3,0			
	4,0			
	5,0			
	6,0			
	7,0			
	10,0			

4.2. Определяют частное от деления глубины определяемого напряжения на радиус круглой опоры (столбец 3).

4.3. По табл. 2.2 определяют значение K_3 . Если вычисленное значение соотношения $\frac{Z}{r}$ не совпадает с табличным значением, то коэффициент определяют интерполированием.

5. Определяют величины вертикальных напряжений в грунтовой толще под круглой опорой по формуле (2.3).

6. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) в масштабе 1:100 строят эпюру распределения напряжений по глубине под действием круглой опоры. Пример построения эпюры представлен на рис. 2.7.

Заключение. Из анализа численных значений величин напряжений можно сделать следующие выводы. На глубине 10 радиусов, т.е. 5 диаметров круглой площадки, напряжения не превышают 1,5 % от нагрузки на поверхности. На глубине полутора диаметров – не более 15 %, а на глубине одного диаметра – около 30 %. В то же время на глубине до 0,25 диаметров напряжения различаются не более чем на 10 %.

2.4. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под прямоугольной опорой

Задание

1. Представить краткое описание оценки напряженного состояния грунтового массива.
2. Построить расчетную схему для прямоугольной опоры.
3. Определить величину нагрузки, равномерно распределенной по прямоугольной площадке.
4. Определить значение коэффициента влияния.
5. Определить величины вертикальных напряжений в грунтовой толще.
6. Построить эпюру распределения напряжений.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Давление сооружения P_0 соор, МПа –	0,3.
3. Плотность грунта $\rho_{ис}$, г/см ³ –	2,0.
4. Величина заглубления фундамента $h_{загл}$, м –	2,5.
5. Длина прямоугольной нагрузки L , м –	4,0.
6. Ширина прямоугольной нагрузки B , м –	2,0.

1. Описывают методы расчета напряжений, возникающие в грунтовой толще под воздействием различных нагрузок, по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют схематически расчетную схему для нагрузки, распределенной по прямоугольной площадке (опоры мостов, путепроводов) (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 2.8).

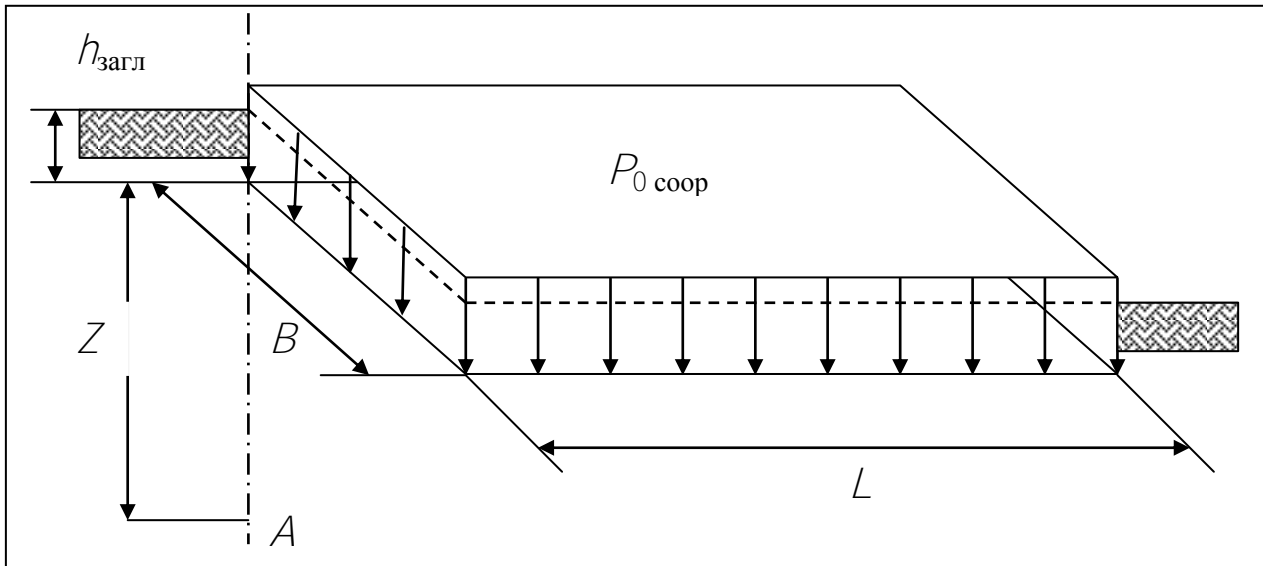


Рис. 2.8. Расчетная схема определения напряжений при нагрузке, распределенной по прямоугольной площадке

3. Рассчитывают величину равномерно распределенной нагрузки из выражения (2.5). Результаты расчетов записывают в рабочую табл. 2.8 (столбец 1).

Таблица 2.8

Результаты расчета величин напряжений

P_0 , МПа	Z , м	$\frac{Z}{B}$	$\frac{L}{B}$	K_4	σ_z
(2.5)	0,5	Расчет	Расчет	табл. 2.3	(2.4)
	1,0				
	1,5				
	2,0				
	3,0				
	4,0				
	5,0				
	6,0				
	7,0				
	10,0				

4. Вычисляют значение коэффициента, определяемого в зависимости от габаритов прямоугольной площадки.

4.1. Задаются глубиной определения величины напряжения. Принимаем глубину, представленную в табл. 2.8 (столбец 2).

4.2. Определяют значение отношений $\frac{Z}{B}$ и $\frac{L}{B}$. Результаты записывают в столбцы 3 и 4.

4.3. По табл. 2.3 определяют значение K_4 . Если вычисленное значение отношений $\frac{Z}{B}$ и $\frac{L}{B}$ не совпадает с табличным, то коэффициент определяют интерполированием.

5. Определяют вертикальные напряжения в грунтовой толще под нагрузкой, имеющей прямоугольный характер, по оси, проходящей через угол площадки, по формуле (2.4). Значения записывают в табл. 2.8 (столбец 6).

6. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) в масштабе 1:100 строят эпюру распределения напряжений по глубине под нагрузкой, имеющей прямоугольный характер. Пример построения эпюры представлен на рис. 2.5.

Заключение. Величина напряжения в грунтах представляет собой отношение действующего усилия к площади сечения. Выполнен расчет величин напряжений на различной глубине по вертикальной оси, проходящей через угол прямоугольной площадки. Напряжения в грунтах с глубиной уменьшаются.

3. УПЛОТНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВО ВРЕМЕНИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ СООРУЖЕНИЯ

Введение

Процесс осадки в зависимости от свойств грунта, мощности толщи, условий деформирования, размеров уплотняющей части сооружения, величины нагрузки протекает с различной интенсивностью. Если осадка нарастает медленно и захватывает кроме периода строительства и период эксплуатации, необходимо знать время ее практического завершения и осадку в конкретный момент времени.

Природа длительной осадки связана с многофазностью грунта и структурно-текстурными особенностями сжимаемого массива. При приложении нагрузки от инженерного сооружения частицы начинают сближаться, уменьшая объем пор, что вызывает отжатие жидкой фазы и уменьшение газообразной составляющей. Это длительный процесс. Постепенное выдавливание свободной воды сменяется выдавливанием пленочной воды с вытеснением воздуха.

Консолидация – уплотнение грунта под действием сжимающего усилия (в том числе от собственного веса) до полного окончания процесса деформации под данной нагрузкой.

Рассматривают две стадии процесса уплотнения (консолидации) грунта:

1) стадия первичной консолидации (фильтрационная), при которой уплотнению препятствует фильтрация свободной воды. Фильтрационная консолидация составляет порядка 90–95 % от общей консолидации;

2) стадия вторичной консолидации, при которой скорость уплотнения зависит от вязких свойств пленочной воды. Вторичная консолидация составляет 5–10 % от общей.

Теория фильтрационной консолидации в условиях одномерной задачи, основывается на равенстве объема отжимаемой из грунта воды и величины уменьшающейся пористости грунта. Данная теория имеет ряд допущений:

1) поры сжимаемого слоя полностью заполнены водой;

2) вода и частицы грунта считаются несжимаемыми;

3) коэффициент пористости грунта изменяется линейно с изменением действующей на него нагрузки;

4) коэффициент фильтрации грунта сжимаемого слоя в течение всей консолидации остается постоянным (уплотнение грунта не влияет на его величину).

При фильтрационной консолидации, т.е. при полностью водонасыщенных грунтах, время полной консолидации $T_{\text{стаб}}$ определяют из уравнения

$$T_{\text{стаб}} = \frac{1,13}{\zeta_{\text{к}}}, \quad (3.1)$$

где ζ_k – приведенный коэффициент консолидации, имеющий размерность, обратную времени t^{-1} :

$$\zeta_k = C_v \frac{1}{H^2} = \frac{K_\phi (1 + e_{\text{ср}})}{a \rho_w} \cdot \frac{1}{H^2}, \quad (3.2)$$

где C_v – коэффициент консолидации, см/с;
 K_ϕ – коэффициент фильтрации грунта, см/год;
 $e_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента пористости;
 ρ_w – плотность воды, т/м³;
 H – мощность глинистого грунта, см;
 a – коэффициент уплотнения (сжимаемости).

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}, \quad (3.3)$$

где e_1 и e_2 – начальное и конечное значение коэффициента пористости;
 P_2 и P_1 – интервал давления.

Начальное значение коэффициента пористости определяют из выражения

$$e_1 = e_n = \frac{W \rho_{\text{нач}}}{\rho_w}, \quad (3.4)$$

где W – влажность грунта (доли единицы);
 $\rho_{\text{нач}}$ – плотность грунта в начальном состоянии (до уплотнения нагрузкой);
 ρ_w – плотность воды (принимают равной 1 т/м³, 1 г/см³, 0,001 кг/см³).

Конечное значение коэффициента пористости грунта определяют из выражения

$$e_2 = e_{\text{кон}} = e_{\text{нач}} - \frac{e_p (1 + e_{\text{нач}})}{1000}, \quad (3.5)$$

где e_p – модуль осадки грунта. *Под модулем осадки* понимают величину осадки (в мм) слоя грунта мощностью 1 м под данной нагрузкой. Измеряется в единицах мм/м.

На уровне подошвы фундамента грунт находится в природном заложении, а на нижерасположенные слои воздействует природное давление, которое определяют из выражения

$$P_1 = P_{\text{пр}} = 0,01 h_{\text{загл}} \rho_{\text{кон}}, \quad (3.6)$$

где $h_{\text{загл}}$ – величина заглубления фундамента (м).

$\rho_{\text{кон}}$ – плотность грунта в конечном состоянии, т/м³ (после уплотнения нагрузкой).

3.1. Определение времени уплотнения суглинистого грунта

Задание

1. Представить краткое описание теории фильтрационной консолидации.
2. Построить расчетную схему для ленточного фундамента.
3. Определить значение коэффициента уплотнения суглинистого грунта.
4. Определить значение коэффициента консолидации грунта.
5. Определить время полной осадки ленточного фундамента, возведенного на мощном слое суглинка.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 5)

1. Вариант –	543.
2. Давление сооружения $P_{\text{соор}}$, МПа –	0,25.
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	2,5.
4. Плотность грунта в начальном состоянии $\rho_{\text{нач}}$, т/м ³ –	2,7.
5. Плотность грунта в конечном состоянии $\rho_{\text{кон}}$, т/м ³ –	2,0.
6. Влажность грунта W , доли единицы –	0,32.
7. Коэффициент фильтрации грунта $K_{\text{ф}}$, см/год –	0,63.
8. Модуль осадки e_p , мм/м –	20.
9. Мощность слоя суглинка H , см –	720.

Порядок расчета

1. Описывают особенности и общие принципы теории фильтрационной консолидации. Приводят формулы для расчета полной осадки грунта, приведенные во введении и рекомендуемой литературе.
2. Выполняют схематически расчетную схему для ленточного фундамента (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 3.1).

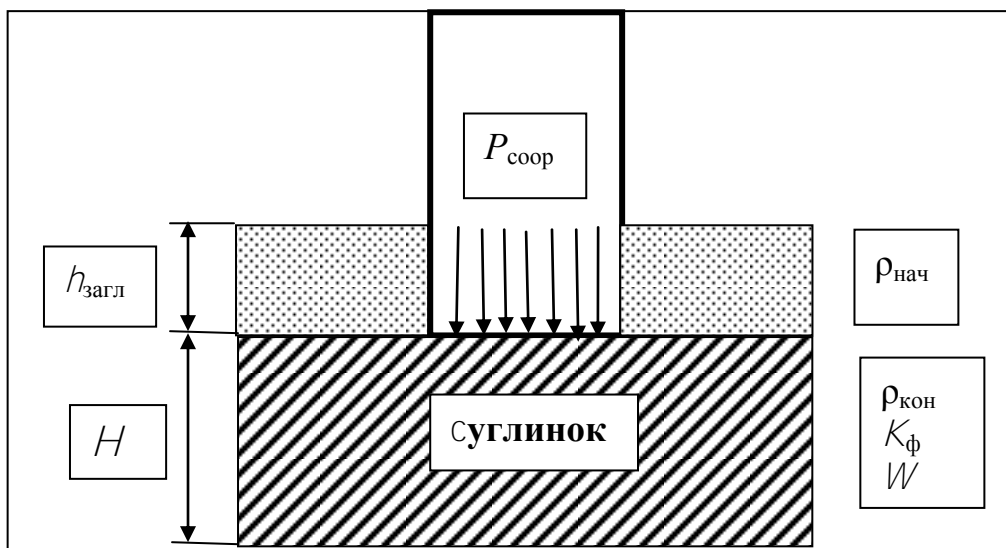


Рис. 3.1. Расчетная схема для ленточного фундамента

3. Определяют расчетное значение коэффициента уплотнения суглинистого грунта.

3.1. Рассчитывают начальное значение коэффициента пористости при заданных значениях влажности и начальной плотности грунта по формуле (3.4)

$$e_1 = e_H = \frac{W \rho_{\text{нач}}}{\rho_W} = \frac{0,32 \cdot 2,7}{1} = 0,864.$$

3.2. Рассчитывают конечное значение коэффициента пористости (формула (3.5)) после приложения нагрузки $P_{\text{соор}}$ и при модуле осадки, соответствующем данному грунту:

$$e_2 = e_{\text{кон}} = e_{\text{нач}} - \frac{e_p (1 + e_{\text{нач}})}{1000} = 0,864 - \frac{20(1 + 0,864)}{1000} = 0,827.$$

3.3. Определяют природное давление на уровне подошвы фундамента по формуле (3.6):

$$P_1 = P_{\text{пр}} = 0,01 h_{\text{загл}} \rho_{\text{кон}} = 0,01 \cdot 2,5 \cdot 2,0 = 0,05 \text{ МПа.}$$

3.4. Определяют значение коэффициента уплотнения для суглинистого грунта из выражения (3.3):

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = \frac{0,864 - 0,827}{0,25 - 0,05} = 0,185 \text{ МПа}^{-1},$$

где P_2 – давление на грунт от ленточного фундамента, определяют из условия

$$P_2 = P_{\text{соор}} = 0,25 \text{ МПа.}$$

4. Определяют значение коэффициента консолидации грунта.

4.1. Определяют среднее значение коэффициента пористости:

$$e_{\text{ср}} = \frac{e_{\text{нач}} + e_{\text{кон}}}{2} = \frac{0,864 + 0,827}{2} = 0,845.$$

4.2. Определяют значение обобщенного коэффициента консолидации из выражения (3.2):

$$\zeta_{\text{к}} = C_v \frac{1}{H^2} = \frac{K_{\text{ф}}(1 + e_{\text{ср}})}{a\rho_w} \cdot \frac{1}{H^2} = \frac{0,63(1 + 0,845)}{0,0185 \cdot 0,001} \cdot \frac{1}{720^2} = 0,12 \text{ год}^{-1},$$

где a – коэффициент уплотнения переводим из МПа⁻¹ в (кг/см²)⁻¹ из расчета 1 МПа⁻¹ = 0,1 (кг/см²)⁻¹;

ρ_w – плотность воды, которая равна 0,001 кг/см³.

5. Определяют время полной осадки ленточного фундамента, возведенного на мощном слое суглинка, из выражения (3.1):

$$T_{\text{стаб}} = \frac{1,13}{\zeta_{\text{к}}} = \frac{1,13}{0,12} = 9,4 \text{ года.}$$

Заключение. Слой суглинистого грунта мощностью 7,2 м уплотнится под нагрузкой ленточного фундамента через 9,4 года.

3.2. Определение времени полной осадки слоя суглинка и изменения влажности во времени

Задание

1. Представить краткое описание теории фильтрационной консолидации.
2. Построить расчетную схему для ленточного фундамента.
3. Определить значение обобщенного коэффициента консолидации грунта.
4. Определить значение коэффициента консолидации грунта и время полной стабилизации.
5. Рассчитать влажность на данный момент времени и построить график зависимости изменения влажности от времени.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 5)

- | | |
|--|------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Мощность слоя суглинка H , см – | 150. |
| Результаты лабораторных испытаний. | |
| 3. Высота лабораторного образца грунта h , см – | 3. |
| 4. Влажность грунта образца до испытания $W_{\text{н}}$, % – | 26. |
| 5. Влажность грунта образца после испытания $W_{\text{к}}$, % – | 21. |

6. Время полной консолидации образца грунта $T_{\text{стаб}}$, ч – 6.

Порядок расчета

1. Описывают особенности и общие принципы теории фильтрационной консолидации. Приводят формулы для расчета полной осадки грунта, рассмотренные во введении и рекомендуемой литературе.

2. Выполняют схематически расчетную схему для ленточного фундамента (пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 3.1).

3. Определяют значение обобщенного коэффициента консолидации грунта по данным лабораторного испытания образца по формуле (3.1):

$$\zeta_{\text{к}} = \frac{1,13}{T_{\text{стаб}}} = \frac{1,13}{6} = 0,19 \text{ ч}^{-1}.$$

4. Определяют значение коэффициента консолидации грунта и время полной стабилизации по данным лабораторного испытания образца из выражения (3.2):

$$C_V = \zeta_{\text{к}} \times H^2 = 0,19 \cdot 3^2 = 1,71.$$

4.1. Определяют обобщенный коэффициент консолидации слоя водонасыщенного суглинка мощностью H :

$$\zeta_{\text{к}} = C_V \frac{1}{H^2} = 1,71 \frac{1}{150^2} = 0,000076 \text{ ч}^{-1} = 0,66 \text{ г}^{-1},$$

где выполняют пересчет:

$$1 \text{ год} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч.}$$

$$0,000076 \text{ ч}^{-1} \cdot 8760 = 0,66 \text{ г}^{-1}.$$

4.2. Определяют время полной консолидации пласта суглинка из выражения (3.1):

$$T_{\text{стаб}} = \frac{1,13}{\zeta_{\text{к}}} = \frac{1,13}{0,66} = 1,7 \text{ года}.$$

5. Определяют влажность на данный момент времени и строят график зависимости влажности от времени.

5.1. Рассчитывают значение влажности на весь период – от начала загрузки до периода полной консолидации пласта суглинка, исходя из предположения, что нормальные нагрузки в пределах всей толщи остаются постоянными.

5.1.1. Определяют число N из выражения

$$N = \frac{\pi}{4} \zeta_{\text{к}} T_{\text{стаб}} = \frac{3,14}{4} 0,66 \cdot 1,7 = 0,88.$$

5.1.2. Определяют значение коэффициента времени $U_{вр}$ по значениям, приведенным в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Значение чисел N при постоянном давлении по глубине толщи при разных величинах коэффициента времени $U_{вр}$

$U_{вр}$	N	$U_{вр}$	N	$U_{вр}$	N	$U_{вр}$	N
0,05	0,005	0,30	0,17	0,55	0,59	0,80	1,40
0,10	0,02	0,35	0,24	0,60	0,71	0,85	1,69
0,15	0,04	0,40	0,31	0,65	0,84	0,90	2,09
0,20	0,08	0,45	0,39	0,70	1,00	0,95	2,80
0,25	0,12	0,50	0,49	0,75	1,18	—	—

При $N = 0,88$ $U_{вр} = 0,65$.

5.1.3. Определяют влажность грунта на заданный период от момента приложения нагрузки из выражения

$$W_t = W_H - U_{вр} (W_H - W_K) = 26 - 0,65(26 - 21) = 22,75 \%,$$

где W_H – влажность грунта образца перед испытанием, соответствующая природной влажности (исходные данные);

W_K – влажность грунта образца после испытания (исходные данные);

$U_{вр}$ – коэффициент времени, зависящий от числа N .

Результаты расчета сводят в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты расчета

Время T , год	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,7
N	0	0,13	0,26	0,39	0,52	0,88
$U_{вр}$	0	0,04	0,12	0,45	0,50	0,65
W_t	26	24,75	24,25	23,75	23,5	22,75

5.2. Строят график зависимости изменения влажности во времени (рис. 3.2).

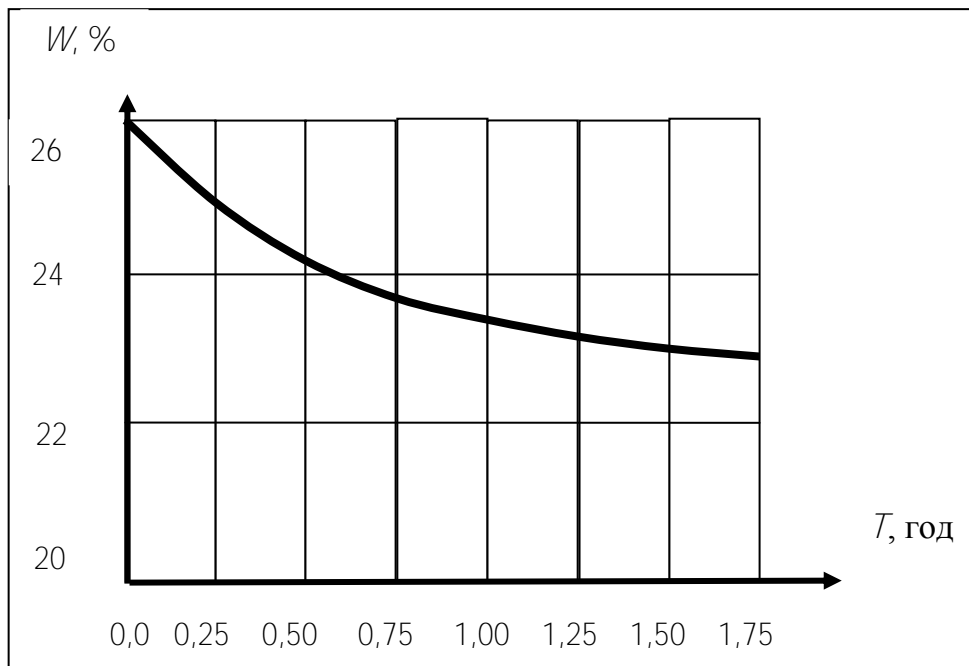


Рис. 3.2. График зависимости изменения влажности от времени при данных условиях консолидации

Закключение. Слой суглинистого грунта мощностью 150 см уплотнится под нагрузкой ленточного фундамента через 1,7 года. По рис. 3.2 можно определить влажность в любой момент времени в течение всего процесса консолидации.

Определение полных осадок сооружений

При определении осадки грунта под действием веса сооружения необходимо определить величину нормального напряжения σ_z через угол видимости α . Теоретическое решение задачи для случая равномерно распределенной нагрузки P_0 дает выражение для вертикальных нормальных напряжений

$$\sigma_z = \frac{P_0}{\pi} \left[k - \sin \alpha \cos (\alpha_1 + \alpha_2) \right] \quad (3.7)$$

где P_0 – равномерно распределенная нагрузка, МПа;

α – угол видимости, град.;

α_1 и α_2 – углы, обозначенные на рис. 3.3, град.

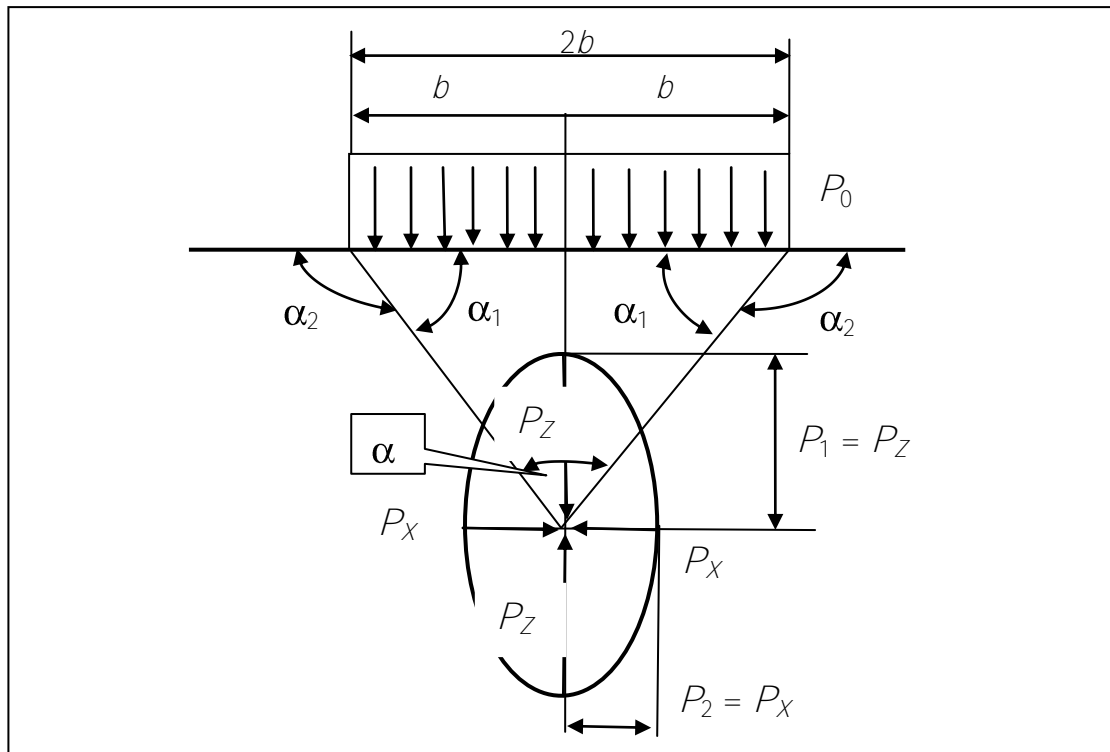


Рис. 3.3. Расчетная схема для определения вертикальных нормальных напряжений для случая равномерно распределенной нагрузки

Выражение (3.7), отражающее вертикальное напряжение, можно представить в долях от P_0 с учетом коэффициента μ , определяемого по относительным координатам:

$$\sigma_z = \mu P_0. \quad (3.8)$$

Относительные координаты v и d определяют из выражений

$$v = \frac{z}{b}; \quad d = \frac{x}{b}, \quad (3.9)$$

где z – вертикальная координата рассматриваемой точки;
 x – горизонтальная координата рассматриваемой точки;
 b – половина ширины равномерно распределенной нагрузки.

Значение коэффициента $\mu = \frac{\sigma_z}{P_0}$ определяют по табл. 3.3 в зависимости от относительных координат v и d .

Если грунтовый массив состоит из нескольких слоев грунта с различной плотностью и степенью сжимаемости (модулем осадки), то полная осадка

$$s_{\text{ос}} = \sum_{i=1}^{i=n} s_{\text{сл } i}, \quad (3.10)$$

где $s_{сл i}$ – осадка некоторого слоя мощностью h_i , которую определяют из выражения

$$s_{сл i} = \ell_0 h_i,$$

где ℓ_0 – относительная деформация слоя по оси Z , которая зависит от величины вертикального сжимающего напряжения σ_z и определяется из выражения

$$\ell_0 = \frac{\sigma_z}{E},$$

где E – модуль общей деформации, зависящий от глубины Z .

Это выражение является аналогом закона Гука.

Осадку грунта для случая одномерной задачи под нагрузкой σ_z мощностью h определяют из выражения

$$s_{сл} = e_p h, \quad (3.11)$$

где e_p – модуль осадки, отражающий деформацию грунта и представляющий собой величину сжатия в миллиметрах столба грунта высотой в 1 м, когда к нему приложена дополнительная нагрузка σ_z . Модуль деформации определяют из выражения

$$e_p = 1000 \cdot \ell_0 = 1000 \cdot \frac{\Delta h}{h},$$

где Δh – величина абсолютной деформации образца грунта высотой h .

Значения коэффициента $\mu = \frac{\sigma_z}{R_0}$ в зависимости от относительных координат

Относ. коорд. ν	Относительная координата d											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
	Значения коэффициента μ											
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	не опр.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,998	0,996	0,996	0,996	0,989	0,961	0,499	0,010	0,005	0,000	0,000	0,000
0,3	0,993	0,988	0,987	0,985	0,966	0,910	0,498	0,030	0,005	0,001	0,000	0,000
0,5	0,960	0,960	0,954	0,942	0,907	0,808	0,496	0,090	0,019	0,002	0,001	0,000
0,7	0,906	0,905	0,900	0,887	0,830	0,732	0,489	0,148	0,042	0,005	0,004	0,001
1,0	0,822	0,820	0,815	0,807	0,728	0,651	0,479	0,218	0,084	0,017	0,005	0,003
1,5	0,670	0,666	0,661	0,647	0,607	0,552	0,449	0,262	0,145	0,050	0,015	0,007
2,0	0,540	0,540	0,540	0,535	0,511	0,475	0,409	0,288	0,185	0,071	0,029	0,013
3,0	0,397	0,395	0,395	0,389	0,379	0,354	0,334	0,273	0,211	0,114	0,059	0,032
4,0	0,306	0,305	0,304	0,303	0,292	0,291	0,275	0,243	0,205	0,134	0,083	0,051
5,0	0,242	0,242	0,242	0,241	0,239	0,237	0,231	0,215	0,188	0,140	0,094	0,065

Определение времени полной осадки одного и того же грунта, находящегося в одинаковых условиях, но в пластах с различной мощностью (H и h) вычисляются по следующей зависимости:

$$T = t \cdot \left(\frac{H}{h} \right)^n,$$

где T – время, необходимое для консолидации глинистого грунта под заданной нагрузкой мощностью H ;

t – время, необходимое для консолидации того же грунта, но мощностью h ;

n – показатель консолидации, отражающий условия уплотнения данного грунта в соответствии с его составом и состоянием.

Величина показателя консолидации n находится в пределах $0 \leq n \leq 2$ и зависит от консистенции грунта, состава грунта по числу пластичности и его влажности.

Показатель $n = 2$ относится к текучей консистенции.

Показатель $n = 1,5$ – к тугопластичной консистенции.

Показатель $n = 0$ относится к твердой консистенции грунта.

3.3. Определение осадки суглинистого грунта

Задание

1. Представить краткое описание теории расчета полных осадок сооружений.
2. Выполнить расчетную схему грунтового массива, находящегося под полосообразной нагрузкой.
3. Определить вертикальное нормальное напряжение для середины слоя суглинка по оси полосообразной нагрузкой.
4. Определить природную нагрузку в середине слоя суглинка.
5. Определить расчетное значение модуля осадки.
6. Рассчитать осадку слоя суглинка.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 5)

- | | |
|--|-------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Мощность суглинка H_1 , м – | 0,5. |
| 3. Плотность суглинка ρ_w^c , т/м ³ – | 2,1. |
| 4. Мощность песка H_2 , м – | 2,75. |
| 5. Плотность песка $\rho_w^п$, т/м ³ – | 1,9. |
| 6. Ширина полосообразной нагрузки $2b$, м – | 6. |
| 7. Давление полосообразной нагрузки P_0 , кг/см ² – | 2,0. |

Порядок расчета

1. Описывают основные положения теории расчета полных осадок сооружений, приведенные выше и в рекомендуемой литературе.

2. Выполняют расчетную схему грунтового массива, находящегося под действием полосообразной нагрузки (насыпью земляного полотна автомобильной дороги). Пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 3.4.

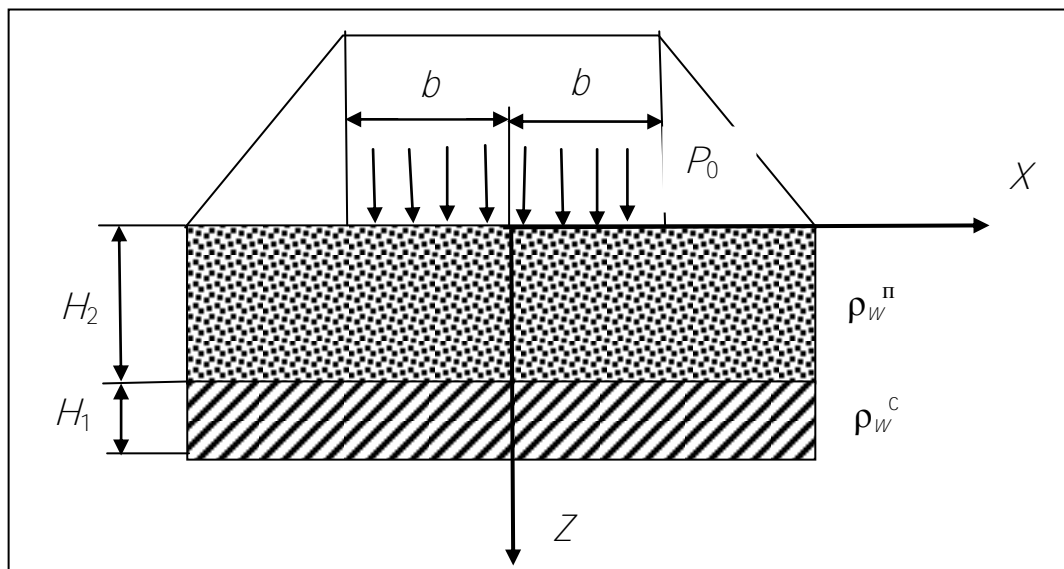


Рис. 3.4. Расчетная схема для определения осадки в условиях одномерной задачи

3. Определяют вертикальное нормальное напряжение для середины слоя суглинка по оси полосообразной нагрузки.

3.1. Определяют координаты середины слоя суглинка по оси полосообразной нагрузки, исходя из рис. 3.4:

$$X = 0;$$

$$Z = H_2 + \frac{H_1}{2} = 2,75 + \frac{0,5}{2} = 3,0 \text{ м},$$

где H_1 и H_2 – мощность соответственно суглинистого и песчаного слоев.

3.2. Определяют относительные координаты середины слоя суглинистого грунта из выражений (3.9):

$$d = \frac{X}{b} = \frac{0}{3} = 0; \quad v = \frac{Z}{b} = \frac{3}{3} = 1.$$

3.3. По табл. 3.3 в зависимости от относительных координат v и d определяют значение переходного коэффициента

$$\mu = 0,822.$$

3.4. Из выражения (3.8) определяют вертикальное нормальное напряжение

$$\sigma_z = \mu R_0 = 0,822 \cdot 2 = 1,644 \text{ кг/см}^2.$$

4. Определяют напряжение, возникающее в основании слоистой грунтовой системы, под действием природной нагрузки от вышележащих слоев грунта, в середине слоя суглинка по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{пр}} &= H_2 \rho_w^n + \frac{H_1}{2} \rho_w^c = 2,75 \cdot 1,9 + \frac{0,5}{2} 2,1 = 5,72 \text{ т/м}^2 = \\ &= 0,1 \cdot 5,72 = 0,572 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

5. Определяют расчетное значение модуля осадки от действия вертикального нормального напряжения по оси полосообразной нагрузки для середины слоя суглинка.

5.1. Находят модуль осадки (сжимаемости) в зависимости от $\sigma_{\text{пр}}$ по табл. 3.4, значения которого определены по компрессионной зависимости.

Таблица 3.4

Зависимость модуля осадки от нагрузки

Вертикальное давление σ_z , кг/см ²	0	1	2	3	4	5	6
Модуль осадки, e_{σ_z} , мм/м	0	27	45	58	70	78	90

$$\sigma_{\text{пр}} = 0,572 \text{ кг/см}^2; \quad e_{\sigma_{\text{пр}}} = 20 \text{ мм/м.}$$

Если давление не соответствует целым числам, то модуль осадки находят путем интерполирования.

5.2. Определяют суммарное значение природной нагрузки и полосообразной из выражения

$$\sigma_{\text{пр}} + \sigma_z = 0,572 + 1,644 = 2,216 \text{ кг/см}^2.$$

5.3. Определяют значение модуля осадки для суммарного значения природной и полосообразной нагрузок (см. табл. 3.4):

$$\sigma_{\text{пр}} + \sigma_z = 2,216 \text{ кг/см}^2; \quad e_{(\sigma_{\text{пр}} + \sigma_z)} = 50 \text{ мм/м.}$$

5.4. Определяют значение модуля осадки для P_z из выражения

$$e_{\sigma_z} = e_{(\sigma_{пр} + \sigma_z)} - e_{\sigma_{пр}} = 50 - 20 = 30 \text{ мм/м.}$$

6. Определяют осадку слоя суглинка из выражения (3.11):

$$s_{сл} = e_{\sigma_z} \cdot h = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ мм.}$$

Заключение. Модуль осадки суглинистого грунта под полосообразной нагрузкой составит 30 мм/м. В результате уплотнения слоя суглинистого грунта мощностью 50 см величина осадки составит 15 мм.

3.4. Определение времени полной стабилизации осадки фундамента

Задание

1. Представить краткое описание теории расчета полных осадок сооружений.
2. Выполнить расчетную схему грунтового массива, находящегося под фундаментом.
3. Определить в грунтовом массиве песчаные прослойки, представляющие собой дренажные пути отвода воды.
4. Определить полную осадку сооружения.
5. Определить время полной стабилизации осадки.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 5)

1. Вариант –	543.
2. Мощность суглинка первого слоя H_1 , м –	1,2.
3. Мощность суглинка второго слоя H_2 , м –	2,2.
Результаты лабораторных испытаний.	
4. Высота образца h , см –	3.
5. Время стабилизации суглинка первого слоя t_1 , ч –	6.
6. Модуль осадки суглинка первого слоя e_{p1} , мм/м –	15.
7. Время стабилизации суглинка второго слоя t_2 , ч –	20.
8. Модуль осадки суглинка второго слоя e_{p2} , мм/м –	9.

Порядок расчета

1. Описывают основные положения теории расчета полных осадок сооружений, приведенные выше и в рекомендуемой литературе.
2. Выполняют схематически расчетную схему грунтового массива, находящегося под фундаментом. Пример выполнения расчетной схемы представлен на рис. 3.5.

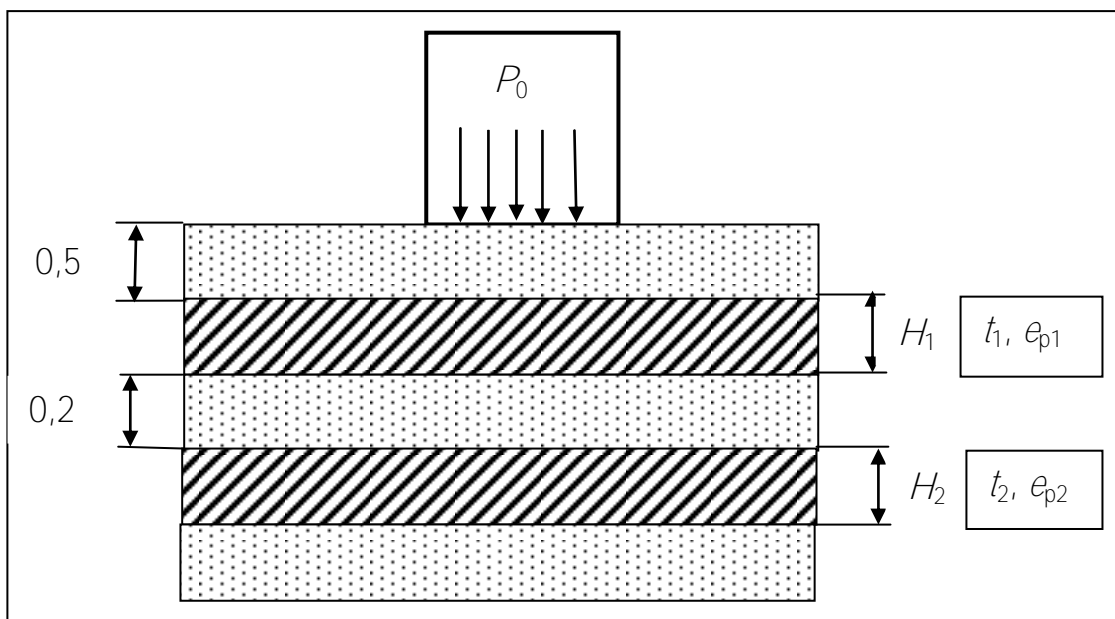


Рис 3.5. Расчетная схема для определения полной стабилизации осадки фундамента

3. Определяют в грунтовом массиве песчаные прослойки, представляющие собой дренажные пути отвода воды.

Расчетная схема грунтового массива показывает, что непосредственно под фундаментом залегает слой песка мощностью 0,5 м. Ниже следует слой суглинка мощностью H_1 . Под первым слоем суглинка расположен второй слой песка мощностью 0,2 м, за которым – второй слой суглинка мощностью H_2 . Ниже второго слоя суглинка залегает песок. Вся толща грунта полностью насыщена водой.

Суглинистый грунт, залегающий в первом и втором слоях, испытан в лабораторных условиях на компрессию (методика определения компрессионных характеристик грунтов представлена в лабораторной работе № 29, изложенной в учебном пособии Бабаскина Ю.Г. «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог», Минск, 2001, 223 с.).

При испытании на компрессию суглинка первого слоя образца высотой 3 см установлено, что при вертикальном нормальном напряжении σ_{z1} , действующем на уровне середины слоя и передаваемом на грунт от сооружения, время 95 % стабилизации составляет t_1 , а модуль осадки равен $e_{\sigma z1}$.

При испытании на компрессию суглинка второго слоя образца высотой 3 см установлено, что при вертикальном нормальном напряжении σ_{z2} , действующем на уровне середины второго слоя и передаваемом на грунт от сооружения, время полной стабилизации (100 %) составляет t_2 , а модуль осадки равен $e_{\sigma z2}$.

В результате анализа грунтового состояния основания фундамента можно заключить, что песчаные слои выполняют роль дренажных путей отвода воды, отжимаемой из глинистых пластов при их уплотнении под нагрузкой.

Расчет времени стабилизации осадки производят только для глинистых пластов, поскольку именно эти слои будут определять осадку сооружения и время ее завершения.

4. Определяют полную осадку сооружения за счет уплотнения двух слоев суглинка.

4.1. Определяют осадку первого слоя суглинка из выражения (3.11):

$$s_{\text{сл}1} = e_{\sigma z1} H_1 = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ мм.}$$

4.2. Определяют осадку второго слоя суглинка из выражения (3.11):

$$s_{\text{сл}2} = e_{\sigma z2} H_2 = 9 \cdot 2,2 = 19,8 \text{ мм.}$$

4.3. Определяют полную осадку грунтового слоистого массива из выражения (3.10):

$$s_{\text{ос}} = \sum_{i=1}^{i=n} s_{\text{сл} i} = s_{\text{сл}1} + s_{\text{сл}2} = 18 + 19,8 = 37,8 \text{ мм.}$$

5. Определяют время полной стабилизации осадки.

5.1. Определяют время стабилизации первого слоя из выражения (3.12):

$$T_1 = t_1 \cdot \left(\frac{H_1}{h} \right)^n = 6 \cdot \left(\frac{1,2}{0,03} \right)^2 = 9600 \text{ ч,}$$

где n – показатель консолидации, принимаем для текучей консистенции, поскольку по условию задачи вся толща полностью насыщена водой, $n = 2$.

Переводим часы в года: $9600 \text{ ч} : 8760 = 1,1$ года.

5.2. Определяют время стабилизации второго слоя из выражения (3.12):

$$T_2 = t_2 \cdot \left(\frac{H_2}{h} \right)^2 = 20 \cdot \left(\frac{2,2}{0,03} \right)^2 = 107555 \text{ ч.}$$

Переводим часы в года: $107555 \text{ ч} : 8760 = 12,3$ года.

За время полной стабилизации слоистой грунтовой системы принимаем время стабилизации второго слоя, поскольку оба процесса сжатия грунтов происходят одновременно и по окончании стабилизации второго слоя осадка первого слоя уже завершится.

Заключение. Полная осадка слоистой водонасыщенной грунтовой системы, состоящей из двух слоев суглинистого грунта, подстилаемых песчаным грунтом, составит 37,8 мм, которая будет протекать в течение 12,3 лет.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СДВИГУ СКРЫТОПЛАСТИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Введение

Процесс уплотнения грунта при постоянной нагрузке называется консолидацией. С консолидацией грунта связано изменение во времени осадки, прочности и устойчивости основания в целом.

Сопротивление возникновению сдвиговых деформаций может быть связано со сцеплением, возникающим между частицами за счет наличия пленки воды и пылевато-глинистых частиц, либо с силами внутреннего трения между частицами.

Любой массив грунта считается устойчивым, пока сдвигающие напряжения не вызовут в нем смещения частиц, т.е. должно выполняться условие

$$\tau \leq f(\sigma)$$

Сопротивление грунтов сдвигу выражается зависимостью Закона Кулона для связных грунтов (рис. 4.1):

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C, \text{ МПа,}$$

где τ – сдвигающее напряжение, МПа;
 φ – угол внутреннего трения, град.;
 σ – нормальное напряжение, МПа;
 $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения.

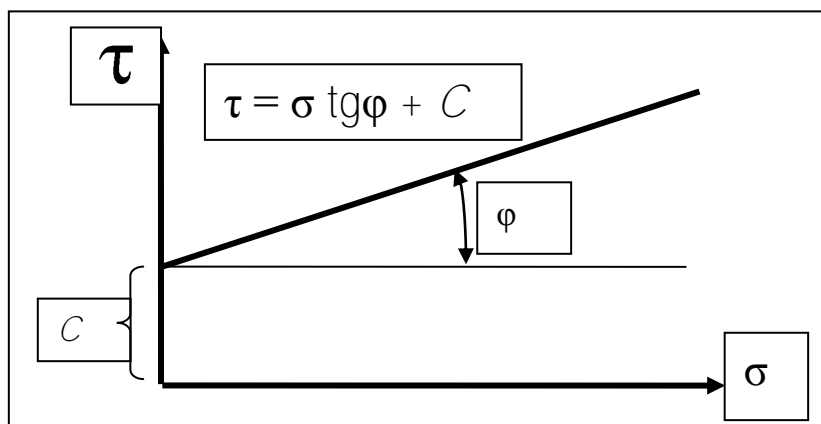


Рис. 4.1. Графическое изображение Закона Кулона

Величины ϕ и C являются основными характеристиками прочности грунта на сдвиг. В зависимости от содержания воды в связном грунте он может приобретать различную консистенцию.

Сопrotивление грунтов срезу экспериментальным путем может быть определено следующими методами:

- консолидированного среза;
- неконсолидированного среза.

Метод консолидированного среза – это испытание на срез грунта, предварительно уплотненного вертикальной нагрузкой, проводимое в условиях дренирования путем повышения сдвигающей нагрузки с такой скоростью, при которой обеспечивается полная консолидация грунта.

Метод неконсолидированного среза – испытание на срез грунта без предварительного уплотнения, проводимое в условиях отсутствия дренирования путем приложения вертикальной и сдвигающей нагрузок с такой скоростью, при которой обеспечивается практическая неизменность начальных значений плотности и влажности грунта.

Изменение прочности грунта в основании сооружения может быть объяснено двумя теоретическими подходами:

- 1) использованием теории порового давления;
- 2) использованием теории «плотности-влажности».

Применение теории порового давления позволяет связать изменение сопротивляемости грунта сдвигу в процессе консолидации с изменением давления в поровой воде по мере ее отжатия из грунта, при этом прочность грунта описывается зависимостью

$$S_p = (\sigma - P_p) \cdot \operatorname{tg} \phi' + C', \quad (4.1)$$

где S_p – сопротивляемость грунта сдвигу;

σ – нормальное напряжение на рассматриваемой площадке;

P_p – поровое давление в грунте;

$\operatorname{tg} \phi'$ – коэффициент внутреннего трения грунта в данный момент времени, зависящий от количества воды в порах;

C' – сцепление в грунте в данный момент времени, зависящее от количества воды в порах.

Параметром, отражающим зависимость сопротивляемости сдвигу от времени, является поровое давление, которое может изменяться от P_p при времени равном нулю ($T = 0$) до $P_p = 0$ при времени $T = T_{\max}$.

Поровое давление в процессе консолидации изменяется от некоторой начальной величины до нуля при полной консолидации. Тогда в начальный момент (при $T = 0$ $\sigma = P_p$) выражение (4.1) примет вид

$$S_p = C',$$

а в конечный момент ($T = T_{\max}$)

$$S_P = \nu \cdot \operatorname{tg} \varphi' + C'.$$

При втором теоретическом подходе (по теории «плотность-влажность») сопротивляемость сдвигу изменяется в процессе консолидации, поскольку меняется плотность и влажность грунта по мере отжатия воды. Прочность грунта описывается выражением

$$S_P = \sigma \operatorname{tg} \varphi_W + C_W, \quad (4.2)$$

где φ_W и C_W – соответственно угол внутреннего трения и сцепление в момент времени T , зависящий от влажности грунта W в данный момент времени.

Учитывая, что влажность изменяется от некоторой величины $W_{\text{нач}}$ при $T_{\text{нач}}$ до величины $W_{\text{кон}}$ при $T_{\text{кон}}$, выражение (4.2) может иметь вид для различной степени консолидации:

$$\begin{aligned} \text{при } T=0 & \quad S_{PW} = \sigma \operatorname{tg} \varphi_{W_{\text{нач}}} + C_{W_{\text{нач}}}; \\ \text{при } T=T_{\text{стаб}} & \quad S_{PW} = \sigma \operatorname{tg} \varphi_{W_{\text{кон}}} + C_{W_{\text{кон}}}. \end{aligned}$$

Очевидно, что сопротивляемость грунта сдвигу в конечном состоянии по теории порового давления и по теории «плотности-влажности» будет больше, чем в начальном состоянии, только по первой теории – за счет падения порового давления, а по второй – за счет снижения плотности-влажности грунта. Следовательно:

$$S_{T_{\text{нач}}} < S_T < S_{T_{\text{кон}}},$$

где $S_{T_{\text{нач}}}$ – сопротивляемость грунтов сдвигу в начальный период времени при влажности $W_{\text{нач}}$;

S_T – сопротивляемость грунтов сдвигу в данный момент времени при влажности W_T ;

$S_{T_{\text{кон}}}$ – сопротивляемость грунтов сдвигу в конечный период времени при влажности $W_{\text{кон}}$.

Н.Н. Маслов развил теорию прочности глинистых грунтов и на основании Закона Кулона предложил выражение, в котором сцепление грунтовых частиц C рассматривается с двух позиций:

– с одной стороны, как жесткое структурное сцепление C_C ;

– с другой, как связность горной породы водно-коллоидной природы и обратимого характера, зависящая от изменения влажности C_W .

Формула Маслова Н.Н. имеет вид

$$S_P = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C_W + C_C. \quad (4.3)$$

При таком рассмотрении прочности глинистых грунтов, можно разделить на три вида:

- 1) жесткие, у которых $C_W = 0$;
- 2) пластичные, у которых $\varphi = 0$ и $C_C = 0$;
- 3) скрытопластичные, у которых все члены выражения (4.3) имеют большую значимость и это выражение имеет полный вид.

Сопротивляемость сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов происходит по методу незавершенной консолидации как от вертикальной, так и от горизонтальной нагрузки.

Задание

1. Представить краткое описание оценки сопротивляемости скрытопластичных глинистых грунтов сдвигу.
2. Построить график зависимости сопротивляемости грунта сдвигу от влажности при постоянном нормальном напряжении.
3. Построить график зависимости сопротивляемости грунта сдвигу от нормального напряжения при постоянном значении влажности.
4. Определить значения угла внутреннего трения и сцепления.
5. Построить график зависимости изменения угла внутреннего трения и сцепления от влажности грунта.
6. Определить вид грунта, для которого свойственны полученные параметры.

ПРИМЕР

Исходные данные (табл. П 5)

1. Вариант – 26.
2. Исходные данные представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для решения задачи

Нормальное напряжение σ , МПа					
$\sigma_1 = 0,1$ МПа		$\sigma_2 = 0,2$ МПа		$\sigma_3 = 0,3$ МПа	
Влажность после сдвига W , %	Сопротивляемость сдвигу S_{ρ} , МПа	Влажность после сдвига W , %	Сопротивляемость сдвигу S_{ρ} , МПа	Влажность после сдвига W , %	Сопротивляемость сдвигу S_{ρ} , МПа
22	0,105	22	0,120	22	0,135
31	0,040	31	0,055	31	0,070
34	0,030	34	0,050	34	0,065

Порядок расчета

1. Описывают изменение прочности грунта в основании сооружения по теории порового давления и теории «плотности-влажности» по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Строят график зависимости сопротивляемости грунта сдвигу от влажности при постоянном нормальном напряжении (первый график).

2.1. Вначале выполняют построение координатных осей для трех графиков.

2.1.1. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297) выполняют рамку в соответствии с данными, представленными в разделе «Содержание курсовой работы и порядок ее оформления». Ориентируют лист вдоль большего размера страницы.

2.1.2. Разбивают общее поле внутри рамки на три равновеликих прямоугольника. В пределах каждого прямоугольника вычерчивают и подписывают оси координат:

– в первом прямоугольнике график $S_p = f(W)$ при $\sigma = \text{const}$;

– во втором прямоугольнике $S_p = f(\sigma)$ при $W = \text{const}$;

– в третьем $\varphi = f(W)$ и $C = f(W)$.

Для соблюдения пропорций принимают следующие масштабы шкал графиков, оси ординат:

S_p – 0,01 МПа – 5 мм (первый и второй графики – вертикальная ось);

φ – 1° – 5 мм (третий график – вертикальная ось (дополнительная));

C – 0,01 МПа – 7,5 мм (третий график – вертикальная ось);

оси абсцисс всех трех графиков вычерчивают на одном уровне:

W – 2 % – 10 мм (первый и третий графики – горизонтальная ось) (в целях экономии места в начале координат ставят цифру, предшествующую минимальной цифре исходных данных);

σ – 0,1 МПа – 25 мм (второй график – горизонтальная ось).

2.2. Строят первый график. По координатным осям откладывают значения сопротивляемости грунтов сдвигу S_p и влажности W в соответствии с исходными данными. Получают три кривые зависимости $S_p = f(W)$ при $\sigma = \text{const}$.

3. Строят график зависимости сопротивляемости грунта сдвигу от нормального напряжения при постоянном значении влажности (второй график).

3.1. На первом графике определяют точки пересечения сопротивляемости грунта сдвигу с обозначенными в исходных данных значениями влажности ($W_1 = 22$ %; $W_2 = 31$ %; $W_3 = 34$ %). Из этих точек проводят горизонтальные проекции на второй график. По оси абсцисс восстанавливают перпендикуляры из значений нормальных давлений ($\sigma_1 = 0,1$ МПа; $\sigma_2 = 0,2$ МПа; $\sigma_3 = 0,3$ МПа). Через точки пересечения проводят три прямые линии до пересечения с осью ординат. Полученная зависимость характеризует прочность скрытопластичных глинистых грунтов, в которых связность зависит от влажности.

4. Определяют значения угла внутреннего трения и сцепления.

По второму графику с помощью транспортира определяют угол наклона каждой прямой линии. Этот угол наклона равен углу внутреннего трения грунта φ . Полученные значения угла внутреннего трения характерны для определенной влажности грунта.

По оси ординат второго графика определяют значения сцепления грунта C , соответствующие значению сопротивляемости грунта сдвигу, определяемые по точке пересечения прямых линий с осью.

5. Строят график зависимости изменения угла внутреннего трения и сцепления от влажности грунта (третий график).

Третий график имеет сдвоенную шкалу ординат, соответствующую значениям угла внутреннего трения φ и сцепления грунта C .

График зависимости $\varphi = f(W)$ строят по вычисленным значениям угла внутреннего трения грунта (углы наклона прямых линий к их горизонтальным проекциям) и значениям влажности, приведенным в исходных данных.

График зависимости $C = f(W)$ строят по вычисленным значениям связности грунта (точки пересечения прямых линий с осью ординат) и значениям влажности, приведенным в исходных данных.

Пример построения графиков изменения прочностных показателей скрытопластичных глинистых грунтов приведен на рис. 4.2. На основании этого графика можно сделать прогноз об изменении таких показателей, как:

- угол внутреннего трения;
- связность;
- сопротивляемость грунта сдвигу в зависимости от влажности грунта и нормальной нагрузки от сооружения.

6. Определяют вид грунта, для которого характерны полученные показатели.

При естественном залегании глинистые грунты характеризуются определенными значениями угла внутреннего трения и сцепления, которые определяют состояние (консистенцию) связных грунтов (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Значения показателей прочности грунта на сдвиг

Состояние глинистого грунта	Значения показателей								
	супесь			суглинок			глина		
	φ	C	I_L	φ	C	I_L	φ	C	I_L
Твердое	28	0,020	$I_L < 0$	25	0,060	$I_L < 0$	22	0,100	$I_L < 0$
Полутвердое	26	0,015		23	0,040	$0 \leq I_L \leq 0,25$	20	0,060	$0 \leq I_L \leq 0,25$
Тугопластичное	24	0,010		21	0,025	$0,25 < I_L \leq 0,5$	18	0,040	$0,25 < I_L \leq 0,5$
Мягкопластичное	20	0,005	$0 \leq I_L \leq 1$	17	0,015	$0,5 < I_L \leq 0,75$	14	0,020	$0,5 < I_L \leq 0,75$

Текуче-пластичное	18	0,002		13	0,010	$0,75 < I_L \leq 1$	8	0,010	$0,75 < I_L \leq 1$
Текучее	14	0,000	$I_L > 1$	10	0,005	$I_L > 1$	6	0,005	$I_L > 1$

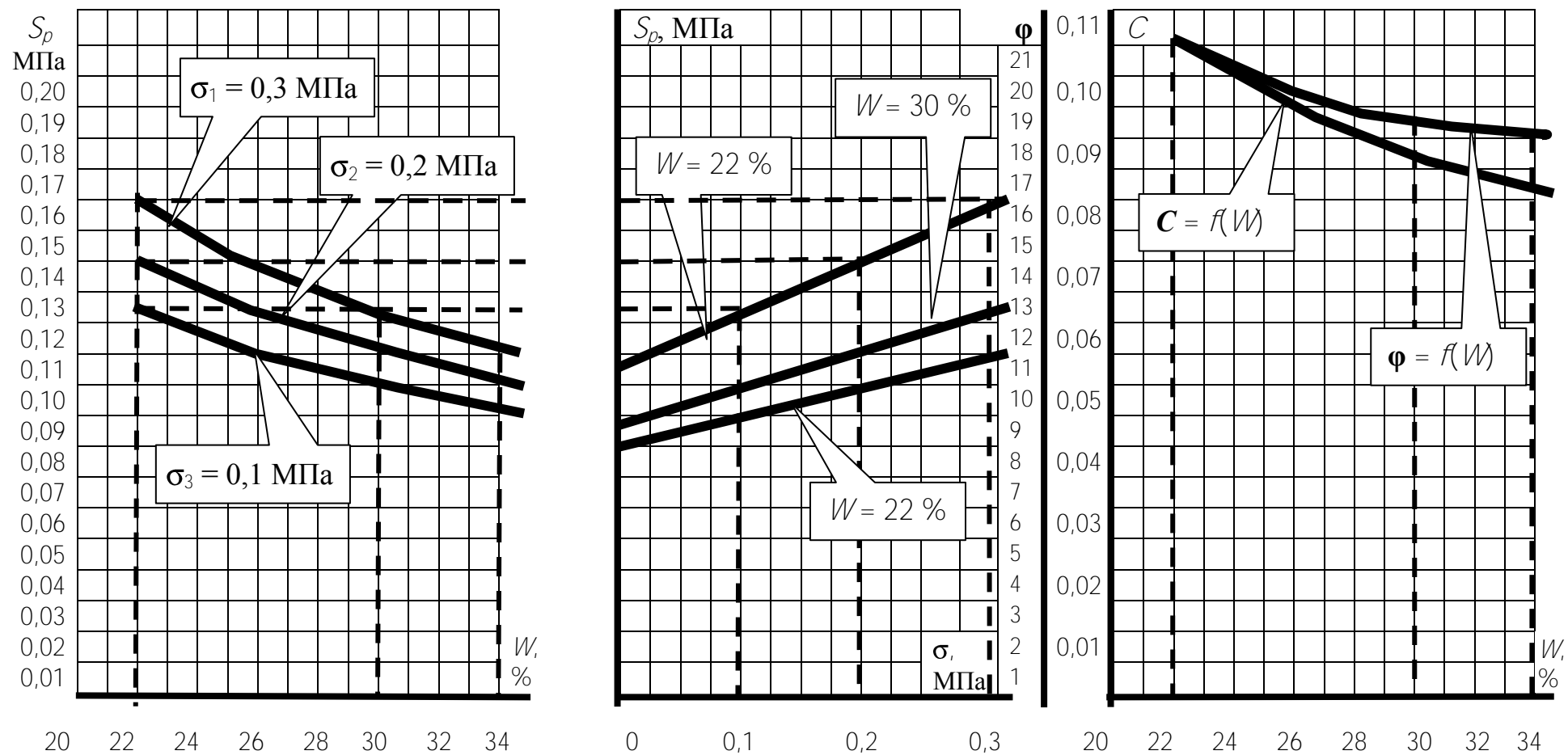


Рис. 4.2. График зависимости сопротивляемости сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов

В соответствии с этой таблицей супесь может находиться в трех состояниях: твердом, пластичном и текучем. Суглинок и глина могут находиться в шести состояниях: от твердого до текучего.

6.1. По третьему графику определяют показатели грунта.

Угол внутреннего трения и сцепление:

$$\begin{array}{lll} W_1 = 22 \% & \varphi_1 = & ; C_1 = \\ W_2 = 22 \% & \varphi_2 = & ; C_2 = \\ W_3 = 22 \% & \varphi_3 = & ; C_3 = \end{array}$$

6.2. По табл. 4.2 определяют вид грунта и его консистенцию.

Заключение. Полученные значения угла внутреннего трения и сцепления грунта свидетельствуют о том, что исследуемый грунт (например) суглинистый и находится в состоянии консистенции (например) от тугопластичной до твердой.

5. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА, СЛОЖЕННОГО ИЗ ОДНОРОДНОГО ГРУНТА

Введение

Откосы земляных сооружений являются самыми уязвимыми местами дорожной конструкции, поскольку они испытывают различные воздействия погодно-климатических факторов, а также давление от подвижной нагрузки и собственного веса. Откосы насыпей могут быть подтопляемыми и неподтопляемыми. Откосы выемок по степени обводненности подземными водами могут быть сухими, мокрыми и обводненными.

Основной геотехнической задачей при проектировании высоких насыпей и глубоких выемок является оценка и обеспечение устойчивости откосов. Для решения этой задачи необходимо:

- 1) установить индекс классификационной группы откоса;
- 2) выбрать метод расчета для проверки устойчивости откоса с учетом его классификационной группы;
- 3) провести расчеты по выбранному методу и определить коэффициент устойчивости;
- 4) сопоставить полученное значение коэффициента устойчивости с требуемыми значениями и сделать заключение о достаточной или недостаточной степени устойчивости;
- 5) при недостаточной устойчивости выбрать мероприятия по повышению устойчивости откоса.

В зависимости от инженерно-геологических особенностей грунтов, образующих откос, и гидрогеологических условий грунтовой толщи, откосы насыпей и выемок классифицируют в соответствии с табл. 5.1.

Таблица 5.1

Классификация откосов насыпей и выемок

Тип земляного полотна	Вид строения откоса по наличию слоистости	Разновидность по характеру слоистости	Разновидность по воздействию подземных и поверхностных вод
Насыпь (Н)	А. Однородный	–	1. Безводный
	Б. Слоистый	–	2. Подверженный силовому воздействию воды
Выемка (В)	А. Однородный	–	1. Безводный
	Б. Слоистый	I. Горизонтальные слои	2. Несущий поток грунтовых вод
		II. Падение в сторону выемки	
		III. Падение от выемки	
IV. Сложное расположение слоев			

По табл. 5.1 устанавливают индекс классификационной группы откоса. Например, откосу выемки, имеющему слоистый характер со сложным расположением слоев, несущих поток грунтовых вод, соответствует индекс В-Б-IV-2.

Наиболее распространенным методом оценки устойчивости склонов является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС), основанный на том, что смещение одной части грунтового массива относительно неподвижной, происходит по кривой поверхности, имеющей очертание, близкое к круглоцилиндрической.

Другой метод предполагает, что часть грунтового массива смещается по плоской поверхности, либо по комбинации плоских поверхностей. Такой метод называется методом плоских поверхностей скольжения (ППС).

Выбрать метод расчета можно на основании табл. 5.2.

Методы расчета устойчивости откосов насыпей и выемок

Метод расчета	Индекс классификационной группы		Условия применения
	насыпь (Н)	выемка (В)	
КЦПС	А-1,2	А-1,2	При прочном основании
ППС	–	Б-I-1,2	При прочном основании и явно выраженной структуре откоса
		Б-II-1,2	
Комплексный расчет по КЦПС и ППС	Б-1,2	–	При прочном основании и невозможности установления наи-более вероятной поверхности скольжения
Комплексный расчет по КЦПС и ППС		Б-I,II,III,IV-1,2	При прочном основании и невозможности установления наиболее вероятной поверхности скольжения

При расчете проектируемых насыпей или выемок необходимо обеспечить определенное значение коэффициента устойчивости, величина которого зависит от применяемого метода расчета (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Наименьшие требуемые значения коэффициента устойчивости

№ п/п	Метод расчета	Инженерно-геологические условия	
		Однородный сухой откос, сложенный песчаными грунтами при прочном основании	Прочие случаи
1	Метод КЦПС	1,2	1,3
2	Метод ППС	–	1,3

Для насыпей разрешается без ограничений применять грунты и отходы промышленности, незначительно меняющие прочность и устойчивость под воздействием погодно-климатических факторов (ТКП 45-3.03-19-2006). Крутизну откосов насыпей назначают в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки и вида грунта (табл. 5.4).

Наибольшая крутизна откосов

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м		
	До 6	До 12, в т.ч.	
		в нижней части – до 6	в верхней части – от 6 до 12
Крупнообломочные грунты, пески: крупные, средней крупности	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески: мелкие, пылеватые	1:1,5	1:2	1:1,5
Глинистые грунты	1:1,75	1:2	1:1,75

При недостаточной устойчивости, когда расчетное значение коэффициента устойчивости меньше требуемого, необходимо предложить мероприятия по повышению устойчивости откоса. Предлагаемые мероприятия должны быть основаны на снижении напряженного состояния или повышении сдвиговых характеристик грунта (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Мероприятия по повышению устойчивости откосов и склонов

№ п/п	Мероприятия	Механизм проявления эффекта
1	2	3
1	Уполаживание откоса	Уменьшение напряженного состояния
2	Устройство разгрузочных берм на насыпях	
3	Устройство контрбанкетов на выемках	
4	Снижение высоты откоса	
5	Использование в откосе легких материалов	
6	Защита от насыщения грунта водой с поверхности	
7	Дренажное устройство для снижения силового воздействия подземных вод	
8	Дренажное устройство с целью снижения влажности грунта	Повышение сдвиговых характеристик
9	Защита от проникания воды в грунт откоса	
10	Использование в насыпи грунтов с повышенными значениями ϕ и c	

Окончание табл. 5.5

1	2	3
11	Укрепление грунта откосов: – биологической защитой; – сборными решетчатыми конструкциями – бетонными, железобетонными и асфальтобетонными конструкциями; – монолитными конструкциями	Защита поверхности откоса
12	Устройство подпорных стенок	Уменьшение высоты или ликвидация откоса

5.1. Определение устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения описывает сложный вид деформации грунтового массива, характеризующийся срезом с вращением. Нарушение устойчивости в данном случае связано со сдвигом-срезом и перемещением некоторой части грунта по поверхности скольжения.

Оценка устойчивости грунтовых массивов против сдвига сводится к определению коэффициента устойчивости, характеризующего отношение моментов сил, удерживающих оползающую часть массива, к моменту сдвигающих сил

$$K_{уст} = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{сд}} \quad (5.1)$$

В общем виде коэффициент устойчивости откоса определяется из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i \operatorname{tg} \varphi_w + C_w L}{\sum P_i X_i} R, \quad (5.2)$$

где $\sum P_i$ – общий вес блоков, кН;

$\operatorname{tg} \varphi_w$ – коэффициент внутреннего трения (φ_w – угол внутреннего трения, град.);

C_w – сцепление грунта, кН/м²;

L – длина кривой скольжения, м;

X_i – плечо блока, равное отрезку от средней линии блока до вертикальной оси Y , м;

$\sum P_i X_i$ – сумма сдвигающих моментов, кН · м;

R – радиус кривой скольжения, м.

Задание

1. Установить индекс классификационной группы откоса.
2. Обосновать условия применения способа расчета.
3. Выполнить расчет коэффициента устойчивости откоса по методу КЦПС без учета дополнительных силовых воздействий.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Категория дороги –	II.
3. Высота откоса H , м –	8.
4. Крутизна откоса 1: m –	1:2; 1:1,5.
5. Удельный вес грунта ρ_w , кН/м ³ –	18,7.
6. Сцепление грунта C , кН/м ²	20.
7. Угол внутреннего трения φ , град. –	12.

Порядок расчета

1. Определяют индекс классификационной группы откоса по табл. 5.1. Например: индекс откоса соответствует группе В-Б-IV-2.

2. Обосновывают условия применения способа расчета по табл. 5.2. Например: индекс В-Б-IV-2 соответствует откосу, для которого характерны прочное основание и невозможность установления наиболее вероятной поверхности скольжения. Для такого откоса необходимо провести комплексный расчет по методам КЦПС и ППС.

3. Рассчитывают коэффициент устойчивости откоса по методу КЦПС без учета дополнительных силовых воздействий.

3.1. Определяют координаты кривой скольжения.

3.1.1. Вычисляют параметр $\lambda_{\text{ср}}$ из выражения

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\gamma_w H \operatorname{tg} \varphi_w}{C_w} = \frac{18,7 \cdot 8 \cdot 0,2126}{20} = 1,6,$$

где γ_w – расчетное значение удельного веса грунта, кН/м³ (исходные данные);

H – высота откоса, м (исходные данные);

φ_w – угол внутреннего трения, град. (исходные данные);

C_w – сцепление, кН/м² (исходные данные).

3.1.2. Определяют угол наклона поверхности откоса у подошвы.

Откос имеет высоту 8 м (исходные данные). В соответствии с ТКП 45-3.03-19–2006 в зависимости от вида грунта откос может иметь сложный контур (см. табл. 5.4):

– нижняя часть (от подошвы откоса и до 6 м) с большим заложением (согласно исходным данным 1:2);

– верхняя часть (от 6 м и до верха земляного полотна) с меньшим заложением (согласно исходным данным 1:1,5).

Вычисляем угол наклона поверхности откоса:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{H}{Hm} = \frac{8}{8 \cdot 2} = 0,5; \quad (5.3)$$

$$\operatorname{arctg} 0,5 = 26^{\circ}36' \approx 27^{\circ},$$

где m – заложение откоса (исходные данные).

3.1.3. Определяют относительные координаты центра опасной кривой скольжения по графику Янбу с учетом параметров $\lambda_{\text{ср}} = 1,6$ и $\beta = 27^{\circ}$.

Например: $X_0 = 0,82$; $Y_0 = 1,6$.

График Янбу (рис. 5.1) представляет собой номограмму, состоящую из двух графиков, совмещенных по общим осям.

Вертикальная ось представляет собой численные значения горизонтальной координаты X и вертикальной Y .

Горизонтальная ось представляет собой угол наклона поверхности контура откоса к горизонтальной проекции.

График состоит из двух наборов криволинейных зависимостей: верхний набор соответствует координате Y при различных значениях $\lambda_{\text{ср}}$, нижний – координате X также при различных значениях $\lambda_{\text{ср}}$.

Из графика видно, что координаты Y могут быть только положительными, а координаты X при угле β более 35° (для различных значений $\lambda_{\text{ср}}$) могут иметь отрицательные значения.

3.1.4. Определяют абсолютные координаты центра кривой скольжения из выражений

$$\begin{aligned} X &= X_0 H = 0,82 \cdot 8 = 6,56 \text{ м}; \\ Y &= Y_0 H = 1,6 \cdot 8 = 12,8 \text{ м}. \end{aligned} \quad (5.4)$$

3.2. Вычерчивают расчетную схему контура откоса с нанесением кривой скольжения и разбивкой на блоки.

3.2.1. На отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4 (210 × 297 мм) по исходным данным (в масштабе 1:100) вычерчивают контуры откоса (рис. 5.2). Если высота насыпи более 6 м, контур откоса представляет собой ломаную линию с заложением от подошвы до 6 м 1:2, и более 6 м до верха земляного полотна 1:1,5 (в соответствии с исходными данными).

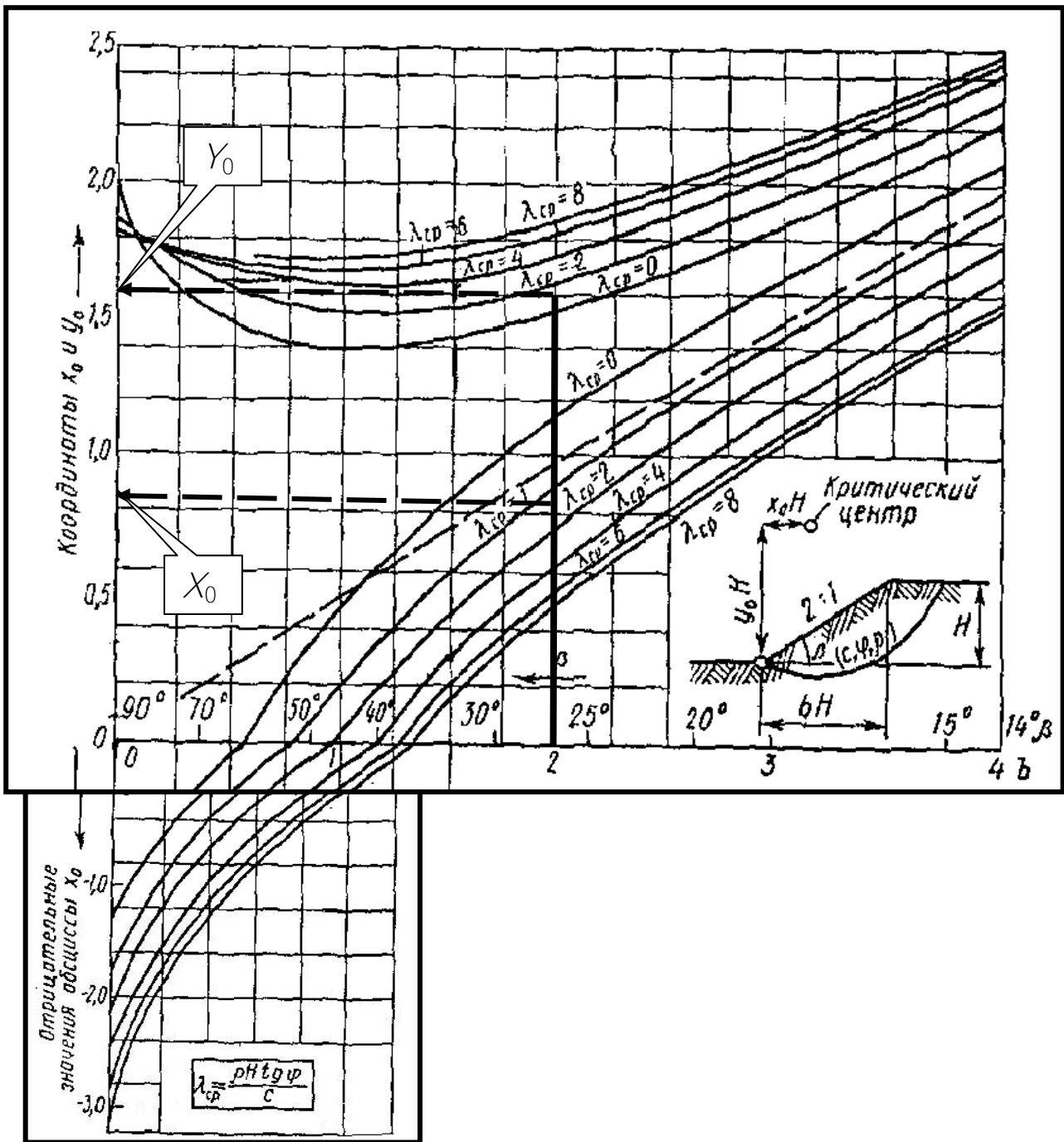


Рис. 5.1. График Ямбу для определения координат центра наиболее опасной кривой скольжения

В зависимости от категории дороги (табл. 5.6) по верху откоса откладывают половину ширины дорожного полотна и проводят осевую линию.

3.2.2. Из точки подошвы откоса восстанавливают перпендикуляр и откладывают координату Y . Из полученной точки откладывают горизонтальную координату X . Если значение X положительное, то отрезок откладывают вправо, если отрицательное – влево. Получают положение центра кривой скольжения, которое обозначают – O .

Размеры дорожного полотна

Наименование	Значение параметра для категории, м							
	I-а	I-б, I-в	II	III	IV	V	VI-а	VI-б
Ширина дорожного полотна	24,5 + s 32 + s	22 + s 29 + s	13	12	10	8	6,5	4,5

Примечание: s – ширина барьерного ограждения, устанавливаемого на разделительной полосе.

3.2.3. Из найденного центра O радиусом R , равным расстоянию от точки O до подошвы откоса, проводят дугу кривой скольжения и опускают перпендикуляр, который обозначает ось Y . Объем грунта, находящийся справа от перпендикуляра (оси Y) и ограниченный дугой скольжения, будет способствовать возникновению вращающих моментов $M_{вр}$, а объем, находящийся слева, – возникновению удерживающих моментов $M_{уд}$.

3.2.4. Полученный отсек обрушения делят на расчетные блоки вертикальными сечениями. Ширину блока принимают равной 1,0–1,5 м. Разделение на блоки начинают от оси Y влево и вправо.

Следует соблюдать обязательное условие при разбивке массива на блоки:

- 1) ось Y должна лежать на границе блоков;
- 2) через точку изменения наклона контура откоса (точку изменения заложения откоса) должна проходить граница между блоками;
- 3) через верхнюю бровку дорожного полотна должна проходить граница между блоками.

После разбивки всего массива на блоки внизу схемы проставляют численные значения ширины каждого блока.

3.2.5. В каждом блоке проводят среднюю линию. В блоке, представляющем трапецию, средняя линия проходит посередине блока.

Исключение составляют первый и последний блоки, представляющие собой не трапеции, а треугольники. В таких геометрических фигурах центр тяжести лежит на линии, находящейся на удалении от вершины, равном $2/3$ основания треугольника. Поэтому средние линии этих двух блоков будут находиться не посередине блока, а на расстоянии $2/3$ основания от вершины треугольника.

Среднюю линию проводят пунктирной линией и рядом проставляют ее длину.

3.3. Определяют удерживающие и сдвигающие моменты, действующие на массив обрушения. Результаты расчетов заносят в табл. 5.7.

Результаты определения моментов по методу КЦПС без учета дополнительных силовых воздействий

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Удельный вес грунта, кН/м ³	Вес блока P_i , кН	Угол внутреннего трения грунта φ_w , град.	Коэффициент внутреннего трения грунта $\text{tg } \varphi_w$	$P_i \text{ tg } \varphi_w$	Длина плеча X_i , м	Сдвигающий момент $P_i X_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Расч. сх.	Расч. сх.	2 × 3	Исх. дан.	4 × 5	Исх. дан.	Расчет	6 × 8	Расч. сх.	6 × 10
1										
2										
...										
n										
Σ								Σ		Σ

3.3.1. Вычисляют среднюю высоту блока из расчетной схемы, выполненной в масштабе 1:100.

3.3.2. Вычисляют ширину блока.

3.3.3. Рассчитывают объем блока путем умножения средней высоты на ширину блока.

3.3.4. Удельный вес грунта принимают в соответствии с исходными данными.

3.3.5. Вычисляют вес блока P_i путем умножения объема блока на удельный вес грунта.

3.3.6. Угол внутреннего трения принимают в соответствии с исходными данными.

3.3.7. Определяют коэффициент внутреннего трения (тангенс угла) путем взятия тригонометрической функции угла внутреннего трения.

3.3.8. Определяют суммарную величину произведения веса блока на коэффициент внутреннего трения.

3.3.9. Определяют длину плеча из расчетной схемы. Плечо равняется отрезку, равному расстоянию от оси Y до средней линии соответствующего блока. Плечо, откладываемое вправо, записывают со знаком плюс, влево – со знаком минус.

3.3.10. Определяют величину сдвигающего момента путем умножения веса блока на длину плеча. Момент имеет тот же знак, что и плечо.

3.3.11. После расчета всех блоков вычисляют суммарное значение $\sum P_i \operatorname{tg} \varphi_w$ (столбец 9 табл. 5.7) и алгебраическую сумму $\sum P_i X_i$ (столбец 11).

3.4. Определяют коэффициент устойчивости откоса.

3.4.1. Определяют длину дуги скольжения L , для чего вначале находят показатель

$$\operatorname{arc} \alpha = \frac{\pi \times \alpha}{180},$$

где α – угол, взятый из расчетной схемы, составляемый двумя радиусами, соединяющими центр кривой вращения (точку O) и концы кривой скольжения.

3.4.2. Определяют длину дуги скольжения:

$$L = \operatorname{arc} \alpha R,$$

где R – радиус кривой скольжения, взятый из расчетной схемы.

3.4.3. Рассчитывают коэффициент устойчивости K_y по формуле (5.1).

4. Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости (см. табл. 5.3). Если вычисленный коэффициент равен или больше 1,3, то откос считается устойчивым, если меньше – неустойчивым.

5. Для неустойчивых откосов выбирают мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, уменьшения высоты или ликвидации откоса за счет устройства подпорной стенки (см. табл. 5.5).

Заключение. Индекс классификационной группы откоса соответствует группе В-Б-IV-2. Для данного откоса выполнен расчет коэффициента устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий. Коэффициент устойчивости равен 1,3, что соответствует устойчивому состоянию откоса.

5.2. Определение устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом гидростатического давления

Поверхностные и грунтовые воды понижают прочностные свойства грунтов и способствуют снижению устойчивости склонов и откосов, вызывая тем самым оползневые явления.

Гидростатическое взвешивание по-разному проявляется для сыпучих (зернистых) и глинистых грунтов. Для глинистых грунтов это явление оказывается более сложным, чем для песков, ввиду того, что пылевато-глинистые грунты могут находиться в различной консистенции и начальный градиент напора препятствует проникновению гравитационной воды в поры глинистого грунта.

В подтопленной водой насыпи трение и сцепление у водонасыщенного грунта меньше, чем у сухого, поэтому устойчивость части грунта, расположенного ниже поверхности депрессии, может значительно понизиться. При расчете подтопленной насыпи считается, что грунт выше горизонта вод находится в сухом состоянии, а ниже – в водонасыщенном. Это явление отражается на удельном весе, применяемом для определения веса грунта. Учитывая, что любой предмет в воде легче, можно предположить, что частичка грунта также становится легче, а, следовательно, вес уменьшается. Поэтому земляное полотно необходимо рассматривать как сооружение, состоящее из двух массивов: одного, расположенного выше уровня затопления насыпи, а второго – ниже.

При расчете устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжений с учетом гидростатического давления грунтовый массив, обозначенный кривой скольжения, разбивают на блоки и проводят горизонтальную прямую, отражающую уровень затопления грунта. В тех блоках, где прямая горизонта вод пересекает среднюю высоту блока, среднюю линию разбивают на два отрезка: выше и ниже прямой горизонта вод. Определяют два объема блока, каждый из которых умножают на удельный вес, только нижний блок умножают на удельный вес взвешенного в воде грунта, а верхний – на удельный вес сухого грунта.

Задание

1. Установить индекс классификационной группы откоса.
2. Обосновать условия применения способа расчета.

3. Выполнить расчет коэффициента устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом гидростатического давления.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Категория дороги –	II.
3. Высота откоса H , м –	8.
4. Крутизна откоса 1: m –	1:2; 1:1,5.
5. Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³ –	18,7.
6. Сцепление грунта C , кН/м ² –	20.
7. Угол внутреннего трения φ , град. –	12.
8. Уровень горизонта вод ГВ, м –	5.

Порядок расчета

1. Определяют индекс классификационной группы откоса по табл. 5.1. Например: индекс откоса соответствует группе В-Б-IV-2.

2. Обосновывают условия применения способа расчета по табл. 5.2. Например: индекс В-Б-IV-2 соответствует откосу, для которого характерны прочное основание и невозможность установления наиболее вероятной поверхности скольжения. Для такого откоса необходимо провести комплексный расчет по методам КЦПС и ППС.

3. Рассчитывают коэффициент устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом гидростатического давления.

3.1. Определяют координаты кривой скольжения.

3.1.1. Вычисляют удельный вес грунта, взвешенного в воде:

$$\gamma_w^{B3} = \gamma_w - \gamma_B = 18,7 - 10 = 8,7 \text{ кН/м}^3, \quad (5.5)$$

где γ_w – удельный вес грунта, кН/м³ (исходные данные);

γ_B – удельный вес воды (принимается равным 10 кН/м³).

3.1.2. Вычисляют средневзвешенное значение удельного веса грунта:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_w \cdot h_c + \gamma_w^{B3} \cdot h_3}{H} = \frac{18,7 \cdot 3 + 8,7 \cdot 5}{8} = 12,45 \text{ кН/м}^3,$$

где h_c – высота сухой части грунта, определяемая из выражения

$$h_c = H - h_3 = 8 - 5 = 3 \text{ м},$$

где H – высота откоса (исходные данные), м;

h_3 – высота зоны затопления, равная горизонту вод ГВ (исходные данные), м.

3.1.3. Определяют параметр λ_{cp} по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma_{cp} H \operatorname{tg} \varphi_w}{C_w} = \frac{12,45 \cdot 8 \cdot 0,2126}{20} = 1,1,$$

где γ_{cp} – средневзвешенное значение удельного веса грунта, кН/м³;

H – высота откоса, м (исходные данные);

φ_w – угол внутреннего трения, град. (исходные данные);

$\operatorname{tg} \varphi_w$ – коэффициент внутреннего трения;

C_w – сцепление, кН/м² (исходные данные).

3.1.4. Определяют угол наклона поверхности β с учетом коэффициента заложения откоса из выражения (5.3).

3.1.5. Зная λ_{cp} и β определяют относительные координаты по графику Ямбу (см. рис. 5.1).

3.1.6. Определяют абсолютные координаты центра опасной дуги скольжения из выражения (5.4).

3.2. Вычерчивают расчетную схему контура откоса с нанесением кривой скольжения, разбивкой обозначенного массива на блоки и прямой уровня горизонта вод, соответствующей затоплению откоса.

3.2.1. На отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4 (210 × 297 мм) по исходным данным (в масштабе 1:100) вычерчивают контуры откоса (рис. 5.3). Если высота насыпи более 6 м, контур откоса представляет собой ломаную линию с заложением от подошвы до 6 м – 1:2, более 6 м до верха земляного полотна – 1:1,5, согласно условию задачи (см. рис. 5.2).

В зависимости от категории дороги (см. табл. 5.6) по верху откоса откладывают половину ширины земляного полотна и проводят осевую линию.

3.2.2. Из точки подошвы откоса восстанавливают перпендикуляр и откладывают координату Y . Из полученной точки откладывают горизонтальную координату X . Получают положение центра кривой скольжения, которое обозначают O .

3.2.3. Из найденного центра O радиусом R проводят дугу кривой скольжения и опускают перпендикуляр, который обозначают ось Y .

3.2.4. Полученный отсек обрушения делят на расчетные блоки вертикальными сечениями. Ширину блока принимают не более 1,0 м. Разделение на блоки начинают от оси Y влево и вправо.

После разбивки всего массива на блоки внизу схемы проставляют численные значения ширины каждого блока.

3.2.5. В каждом блоке проводят среднюю линию. В блоке, представляющем трапецию, средняя линия проходит посередине блока. В треугольных блоках средняя линия находится на расстоянии, равном $2/3$ основания от вершины треугольника. Среднюю линию проводят пунктирной линией.

3.2.6. Проводят горизонтальную линию, которая обозначает уровень затопления откоса. Рядом со средней линией проставляют численное значение ее длины.

Если кривая горизонта вод (ГВ) делит среднюю линию на отрезки, то рядом проставляют длины этих отрезков.

3.3. Определяют удерживающие и сдвигающие моменты, действующие на массив обрушения. Результаты расчетов заносят в табл. 5.8.

3.3.1. Вычисляют среднюю высоту блока из расчетной схемы, выполненной в масштабе 1:100. В блоках, в которых горизонт вод разделил среднюю линию на отрезки, проставляют две высоты: выше и ниже горизонта вод.

3.3.2. Вычисляют ширину блока.

3.3.3. Рассчитывают объем блока путем умножения средней высоты на ширину блока. Если в блоке записаны две высоты (ниже и выше горизонта вод), то объем вычисляют для каждой высоты. Таким образом, в строке блоков с разделенной средней линией, вычисляют два объема.

3.3.4. Удельный вес сухого грунта принимают в соответствии с исходными данными, а удельный вес взвешенного в воде грунта получают из выражения (5.5).

3.3.5. Вычисляют вес блока P_i :

– находящегося ниже уровня горизонта вод – путем умножения объема на удельный вес взвешенного в воде грунта;

– находящегося выше уровня горизонта вод – умножением объема на удельный вес сухого грунта;

– блока, в котором горизонт вод разделяет среднюю линию на отрезки:

– объем части блока, находящейся выше уровня горизонта вод, умножают на удельный вес сухого грунта;

– объем части блока, находящейся ниже уровня горизонта вод, умножают на удельный вес грунта, взвешенного в воде.

3.3.6. Определяют общий вес блока путем сложения весов отдельных объемов.

3.3.7. Угол внутреннего трения принимают в соответствии с исходными данными.

3.3.8. Определяют коэффициент внутреннего трения (тангенс угла) путем взятия тригонометрической функции угла внутреннего трения.

3.3.9. Определяют суммарную величину произведения веса блока на коэффициент внутреннего трения.

3.3.10. Определяют длину плеча из расчетной схемы. Плечо равняется отрезку, равному расстоянию от оси Y до средней линии соответствующего блока. Плечо, откладываемое вправо, записывают со знаком плюс, влево – со знаком минус.

3.3.11. Определяют величину сдвигающего момента путем умножения веса блока на длину плеча. Момент имеет тот же знак, что и плечо.

3.3.12. После расчета всех блоков вычисляют суммарные значения $\sum P_i \operatorname{tg} \varphi_w$ (столбец 11 табл. 5.8) и $\sum P_i X_i$ (столбец 13).

3.4. Определяют коэффициент устойчивости откоса.

Расчет составляющих для определения коэффициента устойчивости откоса
с учетом гидростатического давления

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Удельный вес грунта, кН/м ³	Удельный вес грунта во взвешенном состоянии, кН/м ³	Вес отдельных частей блока, кН	Общий вес блока P_i кН	Угол внутреннего трения φ_w град.	Коэффициент внутреннего трения $\text{tg}\varphi_w$	$P_i \text{tg}\varphi_w$	Плечо X_i м	Момент $P_i X_i$ кН м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Расч. схема	Расч. схема	2 × 3	Исх. дан.	Расчет	4 × 5, 4 × 6	$\Sigma 7$	Исх. дан.	Расчет	8 × 10	Расч. схема	8 × 12
2												
3												
...												
n												
Σ										Σ		Σ

3.4.1. Определяют длину дуги скольжения L , для чего вначале находят показатель

$$\operatorname{arc} \alpha = \frac{\pi \alpha}{180},$$

где α – угол, взятый из расчетной схемы, составляемый двумя радиусами, соединяющими центр кривой вращения (точку O) и концы кривой скольжения.

3.4.2. Определяют длину дуги скольжения:

$$L = \operatorname{arc} \alpha R,$$

где R – радиус кривой скольжения, взятый из расчетной схемы.

3.4.3. Рассчитывают коэффициент устойчивости K_y из выражения (5.2).

4. Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости (см. табл. 5.3). Если вычисленный коэффициент больше 1,3, то откос считается устойчивым, если меньше – неустойчивым.

5. Для неустойчивых откосов выбирается мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, уменьшения высоты или лик-видации откоса за счет устройства подпорной стенки (см. табл. 5.5).

Для неустойчивых откосов могут быть выполнены следующие мероприятия:

- произведено уполаживание откоса;
- устройство разгрузочных берм (берма – горизонтальная или слегка наклонная полка шириной 2–3 м, устраиваемая на высоких откосах насыпей или выемок, для обеспечения устойчивости грунта земляного полотна);
- устройство контрбанкетов.

Банкет – это сооружение правильной формы трапецевидного или треугольного сечения из грунта, отсыпаемого вдоль верхней бровки выемки для ограждения и защиты ее откосов от размыва поверхностными водами.

Контрбанкет – инженерное сооружение из камня или грунта, устраиваемое в виде присыпки к насыпи взамен подпорных стенок. Сооружают на особо крутых косогорах у подошвы насыпей или полунасыпей-полувыемок в целях их укрепления или борьбы с выпором основания. В последнем случае их называют бермами боковыми (пригрузочными);

- снижение высоты откоса;
- использование в откосе легких материалов;
- защита от насыщения грунта водой с поверхности;
- дренирование для снижения силового воздействия подземных вод.

Заключение. Индекс классификационной группы откоса соответствует группе В-Б-IV-2. Для данного откоса выполнен расчет коэффициента устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом гидростатического давления. Коэффициент устойчивости равен 1,3, что соответствует устойчивому состоянию откоса.

5.3. Оценка устойчивости откоса

по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления

При наличии в откосе водонасыщенных слоев, по которым происходит движение грунтовых вод, необходимо вводить в расчет гидродинамическое (фильтрационное) давление. Учет фильтрационного давления в методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения осуществляется через фиктивный угол трения. Отношение коэффициента фиктивного угла трения к коэффициенту угла внутреннего трения при его влажности W равно отношению удельного веса грунта, взвешенного в воде, к удельному весу грунта.

При затоплении части насыпи и последующем спаде воды возникают случаи, когда в порах грунта остается определенное количество воды, которая начинает свое движение в сторону откоса параллельно кривой депрессии. Таким образом возникает фильтрационное давление. Кривую депрессии строят по трем точкам, соединяют их с помощью лекала и обозначают направление фильтрации воды. Точки кривой депрессии:

1) точка M – пересечение поверхности откоса с уровнем горизонта вод (ГВ) (уровень стояния воды после спада);

2) точка N – пересечение оси земляного полотна (насыпи автомобильной дороги) с верхним уровнем горизонта вод (ГВВ) (уровень максимального затопления насыпи);

3) точка A определяется расчетным путем с учетом размеров насыпи и наличия гидравлического градиента напора, зависящего от вида грунта. Гидравлический градиент соответствует среднему уклону линии депрессии. Точку A откладывают в вертикальном сечении верхней бровки земляного полотна от уровня ГВВ вниз.

Гидравлический градиент (средний уклон линии депрессии) зависит от вида грунта и имеет следующие значения:

- для гравелистого и крупного песка – 0,003–0,006;
- песка среднего и мелкого – 0,006–0,02;
- супесей – 0,02–0,05;
- суглинков – 0,05–0,1;
- глины песчанистой – 0,1–0,15;
- глины пылеватой – 0,15–0,2;
- грунтов заторфованных – 0,02–0,12.

Кривая депрессии, уровень ГВ и подошва откоса разбивают весь объем насыпи на отдельные зоны, которые учитывают состояние отдельных частей насыпи. В соответствии с ними откос земляного полотна разбивается:

- на a – зону сухого грунта, лежащую выше кривой депрессии;
- b – зону фильтрации, лежащую между кривой депрессии и уровнем ГВ;
- c – зону затопления, лежащую между уровнем ГВ и подошвой откоса или кривой скольжения;
- d – зону застоя, лежащую ниже подошвы откоса до кривой скольжения.

Эти зоны, измеренные в метрах по средним высотам блока, входят в выражение для определения коэффициента B , учитывающего соотношение

между удельным весом грунта и удельным весом грунта, измеренного во взвешенном состоянии. Коэффициент B определяют из выражения

$$B = \frac{a + \frac{b}{2} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}{a + b + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}. \quad (5.6)$$

Применение этого коэффициента в расчете позволяет учитывать сухое и водонасыщенное состояние грунта.

Задание

1. Установить индекс классификационной группы откоса.
2. Обосновать условия применения способа расчета.
3. Выполнить расчет коэффициента устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом фильтрационного давления.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Категория дороги –	II.
3. Высота откоса H , м –	8
4. Крутизна откоса 1: m –	1:2; 1:1,5.
5. Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³ –	18,7.
6. Сцепление грунта C , кН/м ² –	20.
7. Угол внутреннего трения φ , град. –	12.
8. Уровень горизонта верхних вод (ГВВ), м	5.
9. Уровень горизонта вод (ГВ), м –	2.
10. Тип грунта –	средний песок.

Порядок расчета

1. Определяют индекс классификационной группы откоса по табл. 5.1. Например: индекс откоса соответствует группе В-Б-IV-2.

2. Обосновывают условия применения способа расчета по табл. 5.2. Например: индекс В-Б-IV-2 соответствует откосу, для которого характерны прочное основание и невозможность установления наиболее вероятной поверхности скольжения. Для такого откоса необходимо провести комплексный расчет по методам КЦПС и ППС.

3. Рассчитывают коэффициент устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом фильтрационного давления.

3.1. Определяют координаты кривой скольжения.

3.1.1. Вычисляют удельный вес грунта, взвешенного в воде:

$$\gamma_w^{B3} = \gamma_w - \gamma_B = 18,7 - 10 = 8,7 \text{ кН/м}^3,$$

где γ_w – удельный вес грунта, кН/м^3 (исходные данные);

γ_B – удельный вес воды (принимают равным 10 кН/м^3).

3.1.2. Вычисляют средневзвешенное значение удельного веса грунта при максимальном его затоплении из выражения

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_w \cdot h_c + \gamma_w^{B3} \cdot h_3}{H} = \frac{18,7 \cdot 3 + 8,7 \cdot 5}{8} = 12,45 \text{ кН/м}^3,$$

где h_c – высота сухой части грунта, определяемая из выражения

$$h_c = H - h_3 = 8 - 5 = 3 \text{ м},$$

где H – высота откоса (исходные данные), м;

h_3 – высота зоны затоплений, равная горизонту вод ГВВ (исходные данные), м.

3.1.3. Определяют параметр $\lambda_{\text{ср}}$ по формуле

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{ср}} H \text{tg}\varphi_w}{C_w} = \frac{12,45 \cdot 8 \cdot 0,2126}{20} = 1,1,$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение удельного веса грунта, кН/м^3 ;

H – высота откоса, м (исходные данные);

φ_w – угол внутреннего трения, град. (исходные данные);

$\text{tg}\varphi_w$ – коэффициент внутреннего трения;

C_w – сцепление, кН/м^2 (исходные данные).

3.1.4. Определяют угол наклона поверхности β с учетом коэффициента заложения откоса:

$$\text{tg}\beta = \frac{H}{H \cdot m} = \frac{8}{8 \cdot 2} = 0,5;$$

$$\text{arctg} 0,5 = 26^\circ 36' \approx 27^\circ,$$

где m – заложение откоса (1: m).

3.1.5. Зная $\lambda_{\text{ср}} = 1,1$ и $\beta = 27^\circ$ определяют относительные координаты по графику Янбу (см. рис. 5.1)

$$X_0 = 1,0; \quad Y_0 = 1,6.$$

3.1.6. Определяют абсолютные координаты центра кривой скольжения из выражений

$$X = X_0 H = 1,0 \cdot 8 = 8,0 \text{ м};$$

$$Y = Y_0 H = 1,6 \cdot 8 = 12,8 \text{ м}.$$

3.2. Вычерчивают расчетную схему контура откоса с нанесением фильтрационной кривой и разбивкой контура на блоки.

3.2.1. На отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4 (210 × 297 мм) по исходным данным (в масштабе 1:100) вычерчивают контуры откоса (рис. 5.4). Если высота насыпи более 6 м, контур откоса представляет собой ломаную линию с заложением от подошвы до 6 м – 1:2, и более 6 м до верха земляного полотна – 1:1,5 (см. рис. 5.2).

В зависимости от категории дороги (см. табл. 5.6) по верху откоса откладывают половину ширины земляного полотна и проводят осевую линию.

3.2.2. Из точки подошвы откоса восстанавливают перпендикуляр и откладывают координату Y . Из полученной точки откладывают горизонтальную координату X , получают положение центра кривой скольжения, которое обозначают O .

3.2.3. Из найденного центра O радиусом R , равным расстоянию от точки O до подошвы откоса, проводят дугу кривой скольжения и опускают перпендикуляр, который обозначают ось Y .

3.2.4. Полученный отсек обрушения делят на расчетные блоки вертикальными сечениями. Ширину блока принимают 1,0–1,5.

После разбивки всего массива на блоки внизу схемы проставляют численные значения ширины каждого блока.

3.2.5. В каждом блоке пунктиром проводят среднюю линию и проставляют ее длину.

3.2.6. На откосе насыпи наносят две горизонтальные линии:

- 1) линию горизонта верхних вод ГВВ (исходные данные);
- 2) линию спада воды до уровня горизонта вод ГВ (исходные данные).

3.2.7. Вычисляют среднюю точку A кривой депрессии из выражения

$$A = \frac{B}{2} J = \frac{13}{2} \cdot 0,02 = 0,13 \approx 0,2 \text{ м},$$

где B – ширина земляного полотна;

J – гидравлический градиент или средний уклон линии депрессии, зависящий от вида грунта. Для песка среднего $J = 0,006–0,02$ (см. стр. 85).

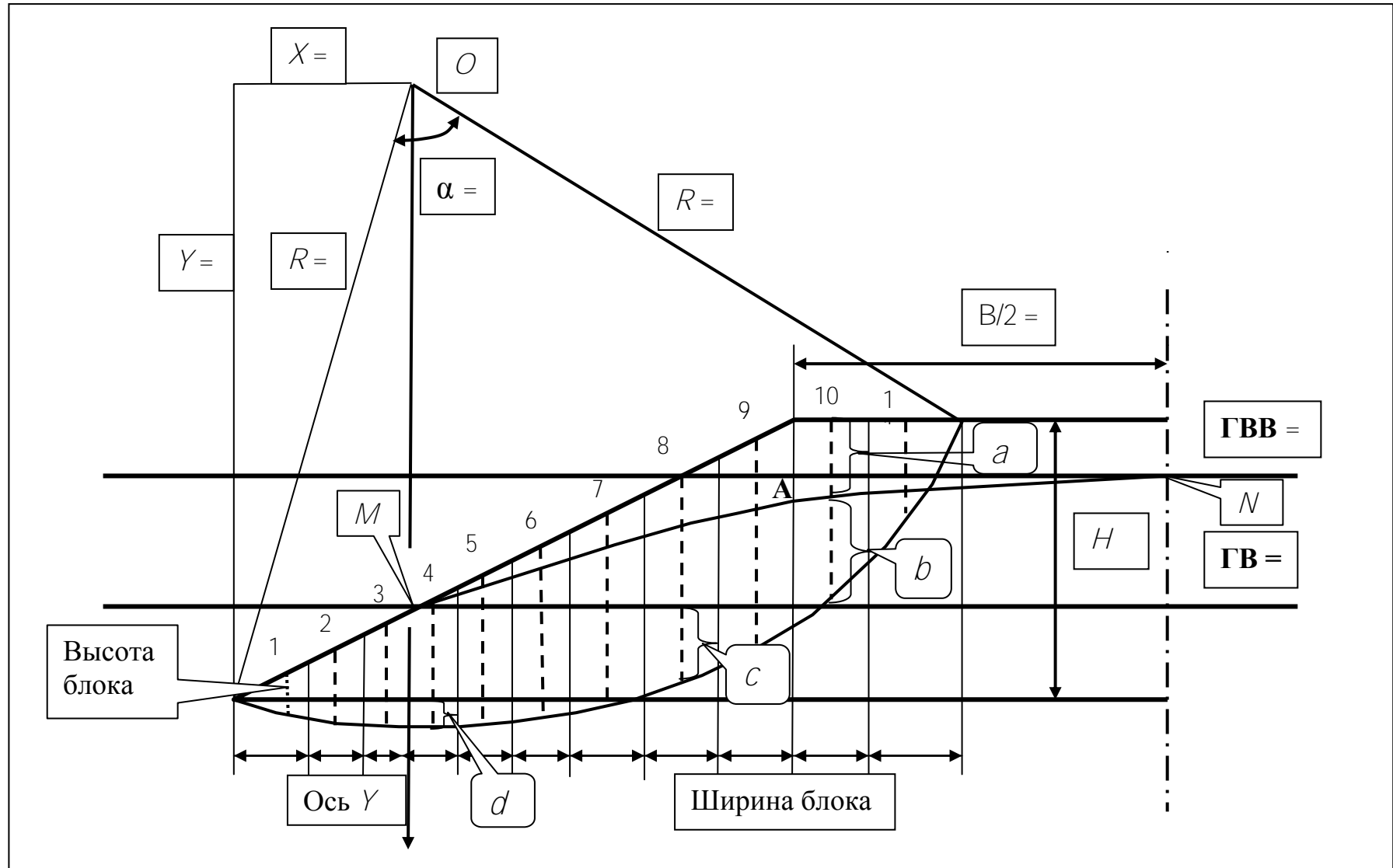


Рис. 5.4. Расчетная схема к методу определения устойчивости откоса с помощью круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС) с учетом фильтрационного давления

3.2.8. Проводят кривую депрессии, через которую осуществляется фильтрация воды. Кривую проводят по трем точкам:

1) M – точка пересечения плоскости откоса с уровнем ГВ;
 2) N – точка пересечения осевой линии земляного полотна дороги с уровнем ГВВ;

3) A – точка, которая находится на вертикальной прямой, опущенной через бровку земляного полотна путем отложения отрезка A от уровня ГВВ.

Три точки плавно с помощью лекала соединяют между собой.

3.3. Определяют фиктивный коэффициент внутреннего трения и коэффициент B .

3.3.1. Фиктивный коэффициент внутреннего трения определяют из выражения

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ф}} = B\operatorname{tg}\varphi_w, \quad (5.7)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_{\text{ф}}$ – фиктивный коэффициент угла внутреннего трения;

φ_w – угол внутреннего трения (исходные данные);

B – коэффициент, учитывающий соотношение между γ_w и $\gamma_w^{\text{вз}}$, определяют из выражения (5.6).

На средней линии подписывают высоту каждой зоны, на которые блок разделен посредством кривой депрессии и линией горизонта вод (ГВ). Коэффициент B вычисляют для каждого блока. В случае отсутствия в блоке какой-либо зоны она в расчете не учитывается (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Расчет коэффициента B

№ блока	Значение средней высоты блока в пределах зоны, м				Значение B
	сухой, a	фильтрационного давления, b	затопления, c	застоя, d	
1					
2					
...					
n					

3.4. Определяют коэффициент устойчивости откоса. Результаты измерений расчетной схемы, вычисления показателей и моментов заносят в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Расчет составляющих для определения коэффициента устойчивости откоса
с учетом фильтрационного давления

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Удельный вес грунта, кН/м ³	Вес блока P_i , кН	Угол внутреннего трения φ_w , град.	Коэффициент внутреннего трения $\text{tg } \varphi_w$	$P_i \times \text{tg } \varphi_w$	Плечо X_i , м	Момент $P_i X_i$, кН м	B	Фиктивный коэф. внутреннего трения $\text{tg } \varphi_\phi$	$P_i \text{tg } \varphi_\phi$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Расч. схема	Расч. схема	2 × 3	Исх. дан.	4 × 5	Исх. дан.	Расчет	6 × 8	Расч. сх.	6 × 10	См. табл. 5.1	8 × 12	6 × 13
2													
...													
n													
Σ										Σ			Σ

3.4.1. Измеряют среднюю высоту блока из расчетной схемы, выполненной в масштабе 1:100. Высота блока является суммой высот зон, на которые делит блок кривая депрессии и линия горизонта вод (ГВ).

3.4.2. Измеряют ширину блока.

3.4.3. Рассчитывают объем блока путем умножения средней высоты на ширину блока.

3.4.4. Удельный вес грунта принимают в соответствии с исходными данными.

3.4.5. Вычисляют вес блока P_i путем умножения объема блока на удельный вес грунта.

3.4.6. Угол внутреннего трения принимают в соответствии с исходными данными.

3.4.7. Вычисляют коэффициент внутреннего трения (тангенс угла) путем взятия тригонометрической функции угла внутреннего трения.

3.4.8. Определяют суммарную величину произведения веса блока на коэффициент внутреннего трения.

3.4.9. Измеряют длину плеча из расчетной схемы. Плечо равняется отрезку, равному расстоянию от оси Y до средней линии соответствующего блока. Плечо, откладываемое вправо, записывают со знаком плюс, влево – со знаком минус.

3.4.10. Рассчитывают величину сдвигающего момента путем умножения веса блока на длину плеча. Момент имеет тот же знак, что и плечо.

3.4.11. Переносят из табл. 5.8. значения коэффициента B для каждого блока в соответствующий столбец табл. 5.9 (столбец 12).

3.4.12. Рассчитывают для каждого блока фиктивный коэффициент внутреннего трения из выражения (5.7).

3.4.13. Рассчитывают произведение веса блока на фиктивный коэффициент внутреннего трения.

3.4.14. Определяют длину дуги скольжения L , для чего вначале находят показатель

$$\arcsin \alpha = \frac{\pi \alpha}{180},$$

где α – угол, взятый из расчетной схемы, составляемый двумя радиусами, соединяющими центр кривой вращения (точку O) и концы кривой скольжения.

3.4.15. Определяют длину дуги скольжения из выражения

$$L = \arcsin \alpha R,$$

где R – радиус кривой скольжения, взятый из расчетной схемы.

3.5. Рассчитывают коэффициент устойчивости K_y по выражению (5.1).

4. Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости (см. табл. 5.3). Если вычисленный коэффициент равен или больше 1,3, то откос считается устойчивым, если меньше – неустойчивым.

5. Для неустойчивых откосов выбирают мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, уменьшения высоты или ликвидации откоса за счет устройства подпорной стенки (см. табл. 5.5).

Заключение. Индекс классификационной группы откоса соответствует группе В-Б-IV-2. Для данного откоса выполнен расчет коэффициента устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления. Коэффициент устойчивости равен 1,3, что соответствует устойчивому состоянию откоса.

6. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ВЫЕМКИ, СЛОЖЕННОГО ИЗ СЛОЕВ РАЗНОРОДНЫХ ГРУНТОВ

Введение

Расчет устойчивости склона в природном состоянии, системы «склон-земляное полотно» в целом, верховой части при устройстве земляного полотна в виде выемки или полувыемки, низовой части склона в случае наличия насыпной части склона производится по формуле Маслова–Берера, построенной на гипотезе плоских поверхностей скольжения.

Метод плоских поверхностей скольжения применяется в тех случаях, когда склон или откос сложен из слоев разнородного грунта. При этом сдвиговые деформации грунта происходят по ломаной поверхности скольжения.

В условиях плоской задачи поверхности скольжения можно заменить совокупностью прямых линий. Сопrotivляемость грунта сдвигу может быть выражена через угол внутреннего трения φ_w , сцепление C_w или угол сопротивляемости сдвигу ψ_p и коэффициент F_p . Последние два показателя связаны между собой выражениями

$$F_p = \operatorname{tg} \psi_p; \quad \psi_p = \operatorname{arctg} F_p.$$

Коэффициент F_p и угол ψ_p сопротивляемости сдвигу зависят от прикладываемой нагрузки (рис. 6.1).

При $P = 0$ коэффициент F_p и угол ψ_p равны соответственно бесконечности и углу 90° . Вместе с тем при равенстве нагрузки P бесконечности $F_p = \operatorname{tg} \varphi$ и угол $\psi_p = \varphi_w$. В результате можно заключить, что критический угол откоса равен углу ψ_p сопротивления сдвигу грунта при нормальном напряжении P .

Причем следует учитывать, что у сыпучего грунта сцепление равно нулю, следовательно, угол сопротивления сдвигу равен углу внутреннего трения.

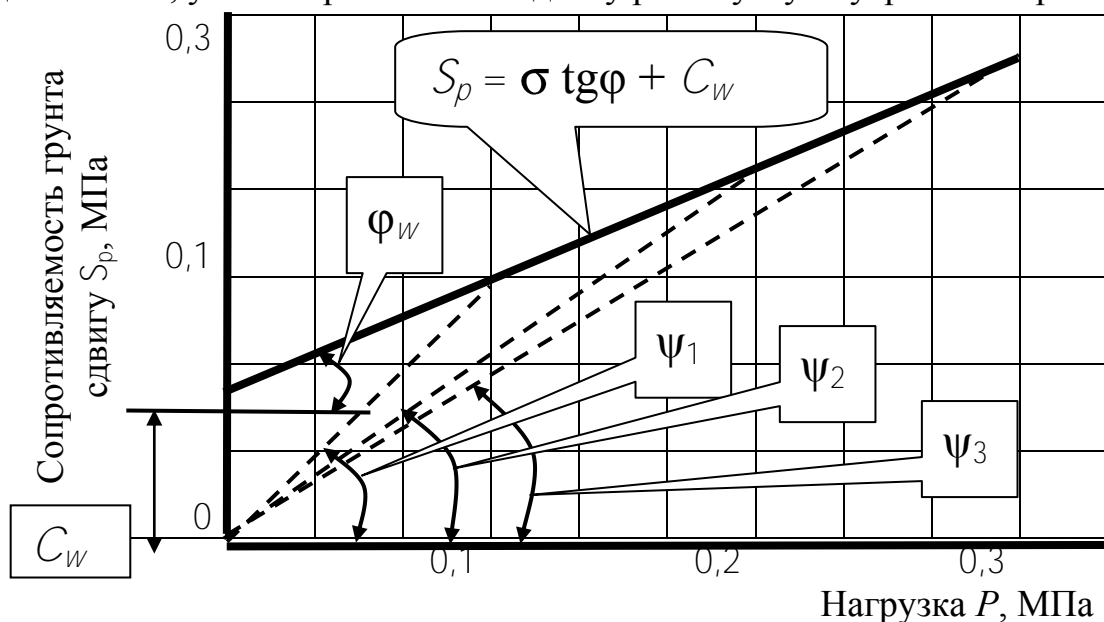


Рис. 6.1. Зависимость сопротивляемости сдвигу грунта через коэффициент F_p и угол ψ_p сопротивления сдвигу

На схеме (рис. 6.2) представлены следующие силы:

P – реакция массы грунта;

N – нормальная составляющая реакции массы P к поверхности скольжения;

H – проекция на горизонтальную ось силы N , представляет собой давление на вертикальную стенку грунта при отсутствии в нем трения и сцепления;

Q – результирующая двух сил: массы грунта и горизонтальной составляющей давления на вертикальные стенки;

T – часть давления на вертикальную стенку, воспринимаемая трением и сцеплением;

E – сила, представляющая разность между силами H и T ;

ψ_p – угол сопротивления сдвигу;

α – угол откоса.

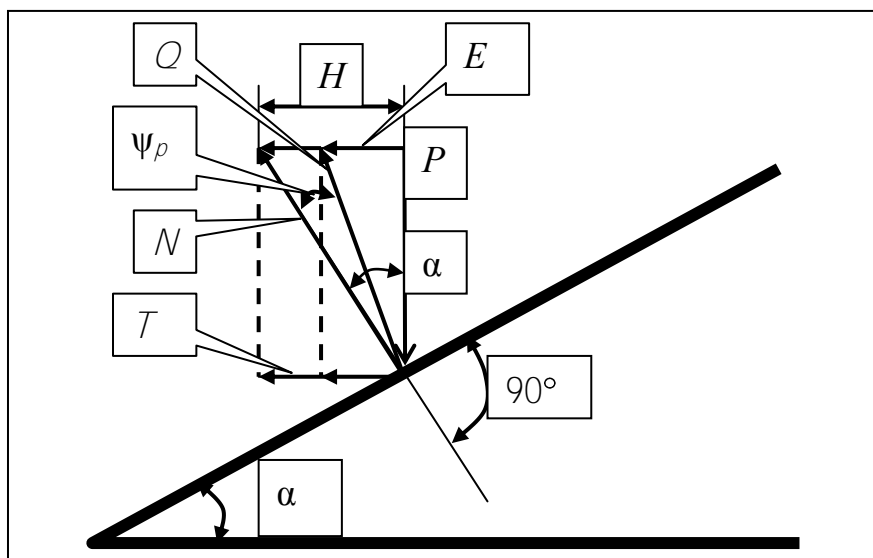


Рис. 6.2. Схема сил, применяемая для вывода метода горизонтальных сил

На основании приведенной схемы можно вывести выражения для обозначенных сил:

$$\begin{aligned} H &= P \operatorname{tg} \alpha; \\ E &= P \operatorname{tg} (\alpha - \psi_p); \\ T &= H - E = P [\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} (\alpha - \psi_p)] \end{aligned}$$

Определение степени устойчивости откоса по методу горизонтальных сил производят по следующей формуле:

$$K_y = \frac{\sum T_j}{\sum H_j} = \frac{\sum (H_j - E_j)}{\sum H_j}.$$

Коэффициент устойчивости по методу ППС определяют из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_j [\operatorname{tg} \alpha_j - \operatorname{tg} (\alpha_j - \psi_{pi})]}{\sum P_j \cdot \operatorname{tg} \alpha_j}, \quad (6.1)$$

где P_j – вес блока, кН;

α_j – угол наклона поверхности скольжения в пределах блока;

ψ_{pi} – угол сдвига, который определяют из выражения

$$\psi_{pi} = \operatorname{arctg} \left(\operatorname{tg} \varphi_j + \frac{C_w l_j}{P_j} \right), \quad (6.2)$$

где φ_j – угол внутреннего трения,

$\operatorname{tg} \varphi_j$ – коэффициент внутреннего трения;

C_w – сцепление, кН/м²;

l_j – длина участка поверхности скольжения в пределах блока, м.

Наличие в откосе фильтрационного давления оказывает дополнительное давление на оползающие массы грунта. Величину этого давления в каждом блоке определяют из выражения

$$W_\phi = \gamma_w J V,$$

где γ_w – удельный вес воды, кН/м³;

J – гидравлический градиент напора;

V – объем блока, м³.

Направление линии действия фильтрационной силы в пределах каждого блока принимают параллельным кривой депрессии.

Коэффициент устойчивости откоса или склона при учете фильтрационного давления определяют из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i [\rho g \alpha_j - \text{tg}(\psi_j - \psi_{pi})]}{\sum [\text{tg} \alpha_j + W_{\phi} \cos \beta]}$$

где β – угол, образуемый кривой депрессии с горизонтальной плоскостью в пределах каждого блока.

6.1. Определение устойчивости откоса выемки по методу плоских поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий

В отличие от метода КЦПС, при котором наиболее опасную поверхность скольжения приходится искать, схема плоских поверхностей скольжения применяется в тех случаях, когда поверхность скольжения предопределяется геологическим строением толщи, т.е. наличием наклонных ослабленных прослоек. По классификации Н.Н. Маслова эта форма нарушения устойчивости называется «скольжением».

Задание

1. Представить краткое описание метода плоских поверхностей скольжения (ППС).
2. Вычертить расчетную схему к методу ППС.
3. Рассчитать коэффициент устойчивости откоса.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

- | | |
|--|------|
| 1. Вариант – | 543. |
| 2. Глубина выемки H , м – | 8. |
| 3. Заложение откоса 1: m – | 1:1. |
| 4. Среднее значение удельного веса грунта γ_w , кН/м ³ – | 8,7. |
| 5. Среднее значение сцепления грунта C , кН/м ² – | 20. |
| 6. Среднее значение угла внутреннего трения ϕ , град. – | 12. |

Порядок расчета

1. Описывают метод плоских поверхностей скольжения с учетом материала, представленного во введении и рекомендуемой литературе.

2. Вычерчивают расчетную схему контура выемки с постоянным заложением откоса, обозначают поверхность скольжения и разбивают ее на блоки (рис. 6.3).

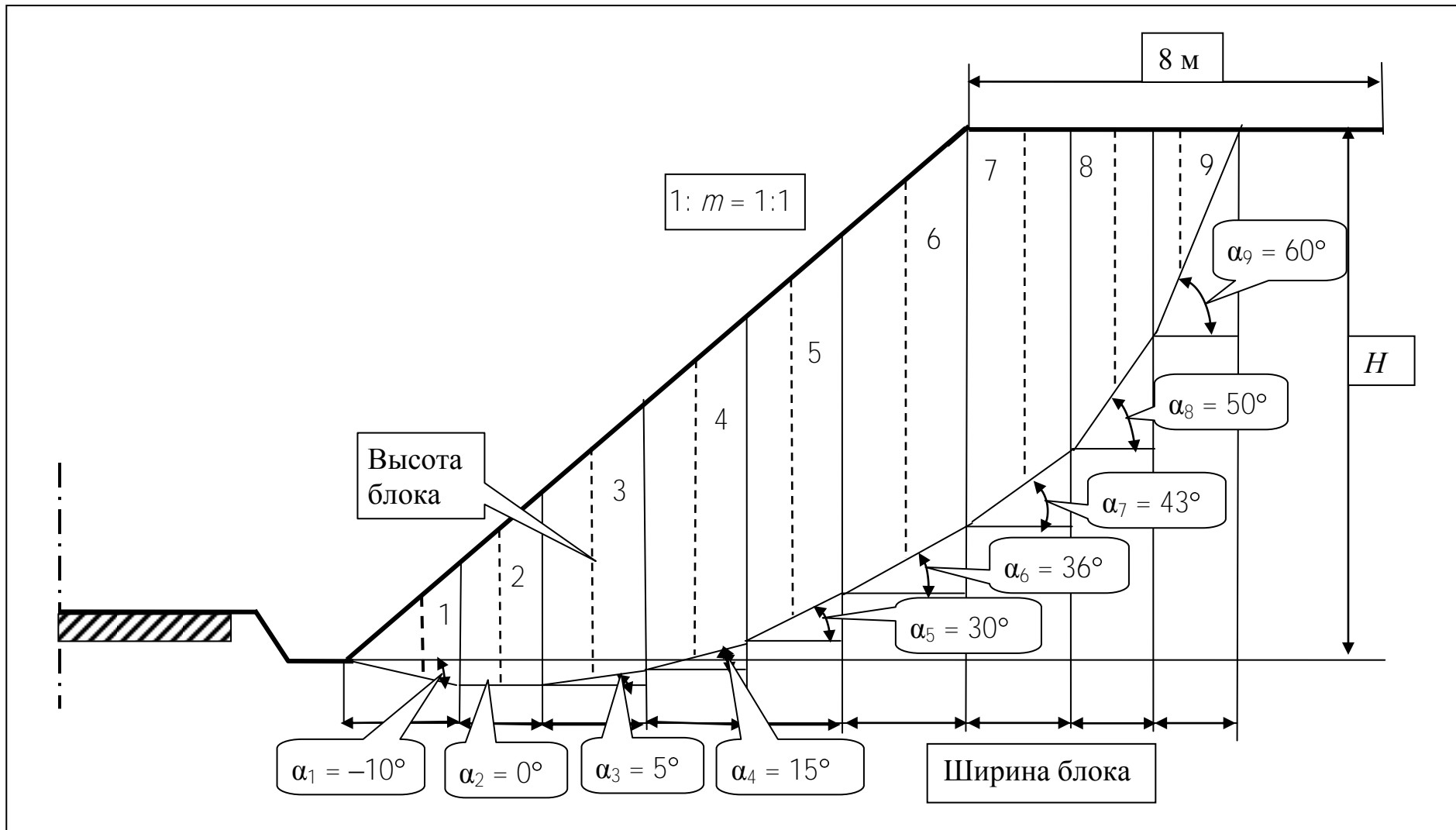


Рис. 6.3. Расчетная схема к методу плоских поверхностей скольжения (ППС) без учета дополнительных силовых воздействий

2.1. На основании исходных данных (H – глубина выемки и m – заложение откоса) на миллиметровой бумаге формата А4 строят очертание откоса выемки в масштабе 1 : 100. Верхнюю линию откоса выемки проводят длиной 8 м и откладывают от верхней бровки выемки.

2.2. Разбивают откос выемки на блоки шириной 1–1,5 м с учетом того, что после верхней бровки выемки на горизонтальной поверхности проводят 2–3 блока той же ширины. Внизу схемы проставляют размеры ширины блоков.

2.3. В пределах каждого блока проводят горизонтальную или наклонную прямую линию, отражающую плоскость скольжения грунта в блоке. Получают линию, напоминающую круговую кривую скольжения, но имеющую ломаный профиль. Такая линия отражает слоистый характер геологического строения грунтовой толщи, из грунтов различных физико-механических свойств.

Угол наклона плоскости скольжения α_i принимают положительным при наклоне поверхности скольжения вверх, отрицательным – вниз.

2.4. Транспортиром измеряют угол наклона поверхности скольжения в пределах блока α_i и подписывают каждый угол.

2.5. Для каждого блока проводят среднюю линию. В трапеции она проходит посередине (пунктирная линия), в треугольниках средняя линия расположена на расстоянии $2/3$ высоты треугольника от его вершины. По миллиметровой бумаге измеряют среднюю линию и подписывают в соответствующем блоке.

3. Данные, полученные из расчетной схемы, переносят в рабочую таблицу (табл. 6.1), включающую 18 столбцов. Расчетные параметры вычисляют по соответствующим выражениям.

3.1. Столбцы 2 и 3 содержат данные расчетной схемы.

3.2. Объем блока (столбец 4) определяют путем умножения средней высоты на ширину блока.

3.3. Удельный вес грунта (столбец 5) рассчитывают следующим образом.

Метод ППС применяется, когда откос сложен из слоев грунта с различными физическими свойствами. Поэтому принимаем, что в каждом блоке грунты будут отличаться друг от друга по таким показателям, как удельный вес, сцепление и угол внутреннего трения.

Из исходных данных принимают среднее значение удельного веса, например, $18,7 \text{ кН/м}^3$, и создают вариационный ряд из пяти показателей. Интервал варьирования составляет $0,1 \text{ кН/м}^3$. Значения рассчитывают в большую и меньшую сторону. Например, $18,7 + 0,1 = 18,8$; $18,7 - 0,1 = 18,6$. Вариационный ряд представляет следующие значения: 18,9; 18,8; 18,7; 18,6; 18,5 и т.д. Если откос выемки разбит на большее количество блоков, чем 5, то вариационный ряд увеличивают на дополнительное количество блоков. В каждом блоке проставляют свое значение удельного веса.

3.4. Вес блока (столбец 6) рассчитывают путем умножения объема блока на удельный вес.

Таблица 6.1

Сводная ведомость результатов расчета

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³	Вес блока P_i , кН	Угол наклона ПС α_i , град.	$tg\alpha_i$	$P_i tg\alpha_i$	Угол внутреннего трения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Расч. сх.	Расч. сх.	2 × 3	Исх. дан. Расчет	4 × 5	Расч. сх.	Расчет	Расчет	Исх. дан. Расчет
2									
...									
<i>n</i>									
Σ									

$$\Sigma P_i \times tg\alpha_i$$

Окончание табл. 6.1

Сводная ведомость результатов расчета

$tg\alpha_i$	Сцепление C_w , кН/м ²	Длина участка ПС l_i , м	Угол сдвига ψ_{pi}	$\alpha_i - \psi_{pi}$	$tg(\alpha_i - \psi_{pi})$	$tg\alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})$	$P_i [tg\alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]$
11	12	13	14	15	16	17	18
Расчет	Исх. дан. Расчет	Расч. сх.	Расчет	7 – 14	Расчет	8 – 16	6 × 17

$$\Sigma P_i [tg\alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]$$

3.5. Угол наклона плоскости скольжения (столбец 7) определяют в соответствии с п. 2.4. Угол наклона поверхности скольжения α_i принимают положительным при наклоне поверхности скольжения выше горизонтальной проекции и отрицательным при наклоне ниже той же горизонтальной проекции.

3.6. Тригонометрическую функцию угла наклона и множитель веса на тригонометрическую функцию (столбцы 8 и 9) определяют в результате расчета.

3.7. Угол внутреннего трения (столбец 10) рассчитывают следующим образом.

Из исходных данных принимают среднее значение угла внутреннего трения (например, 12) и создают вариационный ряд. Интервал варьирования равен 1,0. Значения расписывают в большую и меньшую сторону, например, 12 + 1 = 13; 12 – 1 = 11. Вариационный ряд составит 10, 11, 12, 13, 14. При количестве блоков

больше пяти вариационный ряд увеличивают на дополнительное количество блоков. В каждом блоке проставляют свое значение угла внутреннего трения.

3.8. Тригонометрическую функцию угла внутреннего трения определяют расчетным путем (столбец 11).

3.9. Сцепление (столбец 12) рассчитывают точно так, как рассчитывали удельный вес и угол внутреннего трения. Интервал варьирования равен 1,0. Среднее значение сцепления принимают по исходным данным, например 20 кН/м². Вариационный ряд составит 18, 19, 20, 21, 22 кН/м². При количестве блоков больше пяти вариационный ряд увеличивают на дополнительное количество блоков. В каждом блоке проставляют свое значение сцепления.

3.10. Длина участка поверхности скольжения в метрах (столбец 13) измеряется линейкой по расчетной схеме с учетом выбранного масштаба (М 1 : 100).

3.11. Угол сдвига (столбец 14) определяют из выражения (6.2). Для расчета этого показателя составляющие φ, C, l, P принимают по табл. 6.1 для соответствующего блока.

3.12. Столбцы 15–18 рассчитывают по соответствующим выражениям.

3.13. В столбцах 9 и 18 определяют алгебраическую сумму выражений и подписывают внизу.

4. Определяют коэффициент устойчивости из выражения (6.1).

5. Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости (см. табл. 5.3). Если вычисленный коэффициент больше 1,3, то откос считается устойчивым, если меньше – неустойчивым.

6. Для неустойчивых откосов выбирают мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, устройства подпорной стенки (см. табл. 5.5).

Заключение. Для откоса, сложенного из разнородного грунта, выполнен расчет устойчивости по методу плоских поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий. Коэффициент устойчивости равен 1,3, что соответствует устойчивому состоянию откоса.

6.2. Определение устойчивости откоса по методу плоских поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления

Задание

1. Представить краткое описание метода плоских поверхностей скольжения (ППС).

2. Вычертить расчетную схему к методу ППС с нанесением кривой депрессии.

3. Рассчитать коэффициент устойчивости откоса выемки.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Категория дороги (принимаем из раздела 5) –	II.
3. Высота откоса H , м –	8.
4. Крутизна откоса 1: m –	1:1.
5. Среднее значение удельного веса грунта γ_w , кН/м ³ –	18,7.
6. Среднее значение сцепления грунта C , кН/м ² –	20.
7. Среднее значение угла внутреннего трения φ , град. –	12.
8. Уровень горизонта верхних вод (ГВВ), м –	5.
9. Уровень горизонта вод (ГВ), м –	2.
10. Вид грунта –	песок средний.

Порядок расчета

1. Описывают метод плоских поверхностей скольжения с учетом материала, представленного во введении и рекомендуемой литературе.

2. Вычерчивают расчетную схему к методу плоских поверхностей скольжения с нанесением поверхностей скольжения, разбивкой на блоки и нанесением кривой депрессии (рис. 6.4). В зависимости от категории дороги (табл. 5.6) по верху откоса откладывают половину ширины земляного полотна и проводят осевую линию.

2.1. Построение откоса, разбивку на блоки, нанесение плоскостей скольжения в пределах каждого блока, измерение угла наклона выполняют в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 6.1.

2.2. На откос наносят две горизонтальные линии, соответствующие ГВВ и ГВ.

2.3. Определяют среднюю точку кривой депрессии из выражения

$$A = \frac{B}{2} \cdot J = 6,5 \cdot 0,02 = 0,13 \approx 0,2 \text{ м}, \quad (6.3)$$

где B – ширина земляного полотна, принимаемая в зависимости от категории дороги по табл. 5.6;

J – гидравлический градиент или средний уклон кривой депрессии, зависящий от вида грунта. Для песка среднего принимают $J = 0,006–0,02$.

Гидравлический градиент (средний уклон линии депрессии) зависит от вида грунта и имеет следующие значения:

– для гравелистого и крупного песка – 0,003–0,006;

– песка среднего и мелкого – 0,006–0,02;

– супесей – 0,02–0,05;

– суглинков – 0,05–0,1;

– глины песчанистой – 0,1–0,15;

– глины пылеватой – 0,15–0,2;

– грунтов заторфованных – 0,02–0,12.

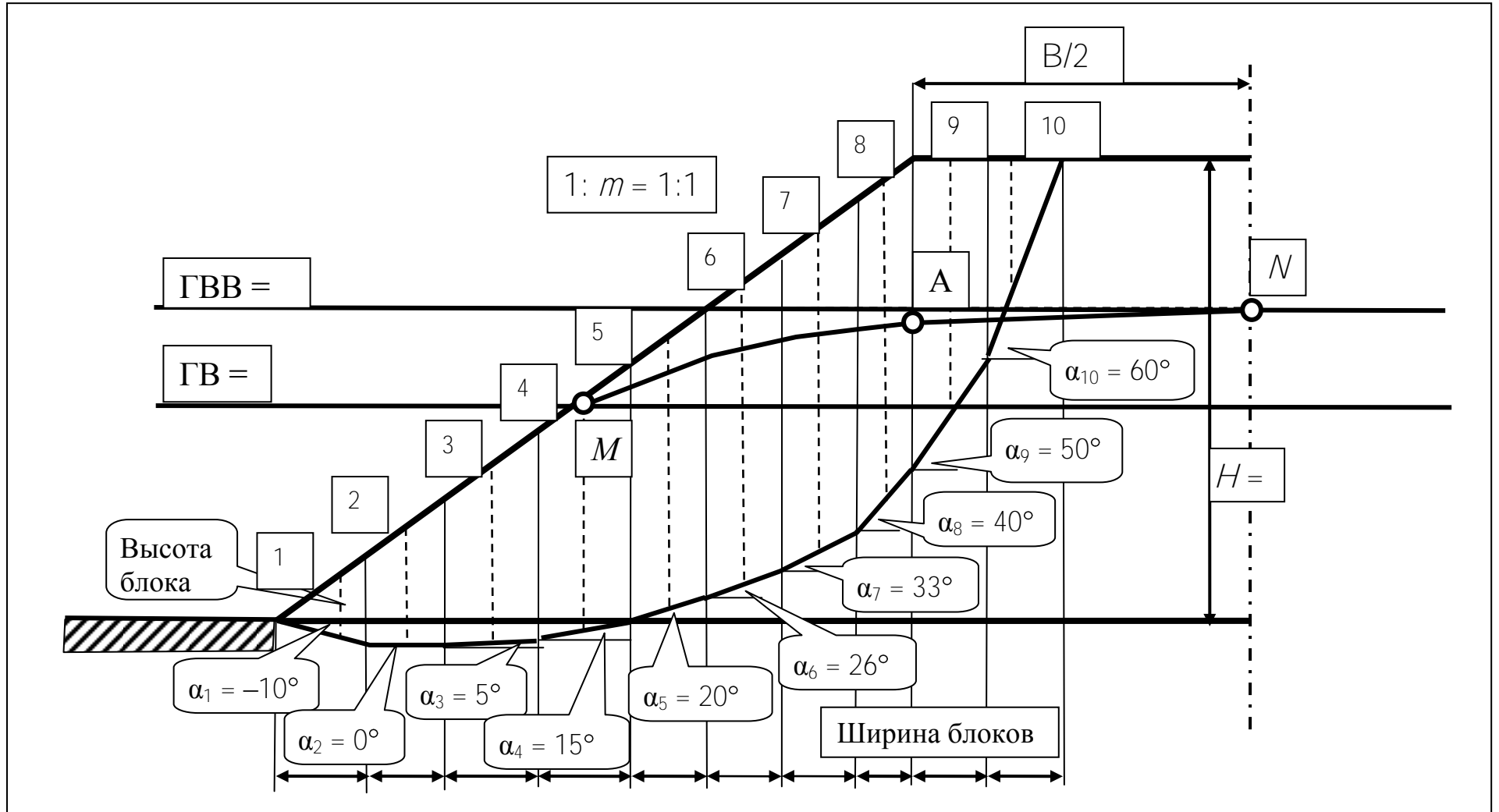


Рис. 6.4. Расчетная схема метода плоских поверхностей скольжения (ППС) с учетом фильтрационного давления

2.4. Проводят кривую депрессии по трем точкам с помощью лекала:

1) M – точка пересечения плоскости откоса с уровнем ГВ;

2) N – точка пересечения линии ГВВ с осевой линией земляного полотна, находящейся на расстоянии равном половине ширины земляного полотна и откладываемом от верхней бровки выемки;

3) A – точка, которая находится на вертикальной прямой, опущенной через верхнюю бровку насыпи, и расположена на расстоянии, равном отрезку A (6.3) от уровня ГВВ.

2.5. Для каждого блока проводят среднюю линию, измеряют ее и подписывают. В трапеции она проходит посередине (пунктирная линия), в треугольниках средняя линия расположена на расстоянии $2/3$ высоты треугольника от его вершины.

На средней линии проставляют общую длину средней линии, а в тех блоках, в которых кривая депрессии делит среднюю линию на отрезки, дополнительно проставляют длины отрезков:

– от верха земляного полотна до кривой депрессии;

– от кривой депрессии до линии ГВ;

– от линии ГВ до кривой скольжения.

3. Данные, полученные из расчетной схемы, переносят в рабочую таблицу (табл. 6.2), включающую 28 столбцов. Расчетные параметры вычисляют по соответствующим выражениям.

3.1. Столбцы 2 и 3 содержат данные расчетной схемы.

Если средняя линия блока (например, блоки 1, 2, 3, 4) расположены ниже уровня ГВ, рядом с пунктирной линией ставят высоту блока.

Если средняя линия блока (например, блоки 5, 6, 7, 8, 9) пересекается кривой депрессии, а также линиями ГВВ и ГВ, то пунктирную линию разбивают на три отрезка:

– от ГВВ до кривой депрессии;

– от кривой депрессии до линии ГВ;

– от линии ГВ до кривой скольжения.

Если средняя линия лежит выше кривой ГВВ, то рядом с пунктирной линией ставят высоту блока.

3.2. Объем блока (столбец 4) определяют путем умножения средней высоты на ширину блока. Если блок разделен кривой депрессии на две зоны – сухую и водонасыщенную, то рассчитывают три части объема блока:

– для лежащего выше кривой депрессии до плоскости откоса;

– лежащего между кривой депрессии и линией ГВ;

– лежащего ниже линии ГВ до кривой скольжения.

3.3. Удельный вес грунта (столбец 5) рассчитывают аналогично, как это выполнено в подразделе 6.1 (п. 3.3).

Сводная ведомость результатов расчета

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Удельный вес грунта, γ_w , кН/м ³	Удельный вес грунта во взвешенном состоянии $\gamma_w^{вз}$, кН/м ³	Вес отдельных частей блока, кН
1	2	3	4	5	6	7
	Расч. сх.	Расч. сх.	2 × 3	Исх. дан. Расчет	Исх. дан. Расчет	4 × 5 4 × 6
1						
2						
...						
<i>n</i>						
Σ						

Продолжение табл. 6.2

Общий вес блока P_i , кН	Угол наклона ПС α_j , град.	$tg\alpha_j$	Длина поверхности скольжения l_j , м	Среднее удельное давление $P_0 = \frac{P_i}{l_j}$, кН/м ²	Сцепление C_w , кН/м ²	$\frac{C_w}{P_0}$
8	9	10	11	12	13	14
$\Sigma 7$	Расч. сх.	Расчет	Расч. сх.	8 : 11	Исх. дан. Расчет	13 : 12

Продолжение табл. 6.2

Угол внутреннего трения	$\operatorname{tg}\varphi_i$	Тангенс угла сдвига $\operatorname{tg}\psi_{pi}$	Угол сдвига ψ_{pi}	$\alpha_i - \psi_{pi}$	$\operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})$	$\operatorname{tg}\alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})$
15	16	17	18	19	20	21
Исх. дан. Расчет	Расчет	16 + 14	Расчет	9 – 18	Расчет	10 – 20

Окончание табл. 6.2

$P_i[\operatorname{tg}\alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})]$	$P_i \operatorname{tg}\alpha_i$	Градиент J	$W_\phi = \gamma_w \cdot V$	β_ϕ	$\cos \beta_\phi$	$W_{\phi \text{ гор}} = W_\phi \cos \beta_\phi$
22	23	24	25	26	27	28
8 × 21	8 × 10	От вида грунта	Расчет	Расч. сх.	Расчет	Расчет
Σ	Σ					Σ

3.4. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии (столбец 6) определяют для каждого блока с учетом варьирования, выполненного для удельного веса сухого грунта, из выражения

$$\gamma_w^{\text{вз}} = \gamma_w - \gamma_w = 18,7 - 10 = 8,7 \text{ кН/м}^3,$$

где γ_w – удельный вес грунта, кН/м^3 (принятый в соответствии с вариационным рядом);

γ_w – удельный вес воды (принимают равным 10 кН/м^3).

3.5. Определяют вес отдельных частей блока с учетом состояния грунта (сухое или водонасыщенное). В расчете используют удельный вес грунта и

удельный вес грунта, находящегося в водонасыщенном состоянии, которые рассчитаны для каждого отдельного блока. Часть блока, находящуюся в сухом состоянии (выше кривой депрессии) умножают на удельный вес грунта. Часть блока, находящуюся между кривой депрессии и линией ГВ, умножают на удельный вес во взвешенном состоянии. Часть блока, находящуюся между линией ГВ и кривой скольжения также умножают на удельный вес во взвешенном состоянии (столбец 7).

3.6. Определяют общий вес всего блока путем суммирования отдельных частей блока (столбец 8).

3.7. Из расчетной схемы переносят углы наклона поверхности скольжения (в градусах), измеренные с помощью транспортира, в столбец 9.

3.8. Рассчитывают тангенс угла наклона поверхности скольжения (столбец 10).

3.9. С помощью линейки измеряют длину поверхности скольжения в каждом блоке и записывают в столбец 11.

3.10. Определяют среднее удельное давление блока (столбец 12) из выражения

$$P_0 = \frac{P_i}{l_i},$$

где P_i – вес блока, кН;

l_i – длина плоскости скольжения в пределах блока, м;

P_0 – удельное давление, кН/м². Этот показатель рассчитывают на длину блока, равную 1 м.

3.11. Значение сцепления грунта (C_i , кН/м²) (столбец 13) записывают в соответствии с результатами варьирования (подраздел 6.1 п. 3.9).

3.12. Рассчитывают частное от деления сцепления грунта на удельное давление $\frac{C_w}{P_0}$. Результат вычисления записывают в столбец 14.

3.13. Угол внутреннего трения (столбец 15) рассчитывают аналогичным образом, как определяли этот показатель в подразделе 6.1 п. 3.7.

3.14. Рассчитывают тангенс угла внутреннего трения грунта и записывают в столбец 16.

3.15. Определяют тангенс угла сдвига (столбец 17) из выражения

$$\operatorname{tg} \psi_{pi} = \operatorname{tg} \varphi_w + \frac{C_w}{P_0},$$

где φ_w – угол внутреннего трения с учетом вариационного ряда;

C – сцепление с учетом вариационного ряда, кН/м²;

P_0 – удельное давление, кН/м².

Для расчета вышеприведенного выражения в табличной форме производят последовательное определение составных частей.

3.16. Определяют угол сдвига ψ_{pi} (столбец 18), рассчитав значения $\text{arctg}\varphi_j$.

3.17. Значения столбцов 19–23 рассчитывают по выражениям соответственно (6.4)–(6.8).

$$\alpha_j - \psi_{pi} \text{ (столбец 19);} \quad (6.4)$$

$$\text{tg } \alpha_j - \psi_{pi} \text{ (столбец 20);} \quad (6.5)$$

$$\text{tg } \alpha_j - \text{tg } \alpha_j - \psi_{pi} \text{ (столбец 21);} \quad (6.6)$$

$$P_j \text{tg } \alpha_j - \text{tg } \alpha_j - \psi_{pi} \text{ (столбец 22);} \quad (6.7)$$

$$P_j \text{tg } \alpha_j \text{ (столбец 23).} \quad (6.8)$$

3.18. В столбце 24 ставят выбранное значение гидравлического градиента в соответствии с п. 2.3.

3.19. Фильтрационное давление (столбец 25) определяют только для тех блоков, у которых кривая депрессии делит среднюю линию на части. Причем за объем блока в выражении (6.9), принимают ту часть общего блока, которая лежит между кривой депрессии и линией ГВ (столбец 4 табл. 6.2). Части блока, которые лежат выше кривой депрессии и ниже линии ГВ в расчет не принимаются, т.к. в них фильтрационное давление отсутствует. Величину фильтрационного давления определяют из формулы К. Терцаги –

$$W_{\phi} = \gamma_v l V \text{ (столбец 25),} \quad (6.9)$$

где γ_v – удельный вес воды, равный 10 кН/м^3 ;

l – гидравлический градиент, принимают в соответствии с пунктом 2.3;

V – объем блока фильтрации, м^3 , принимают в соответствии с п. 3.19.

3.20. Направление линии действия фильтрационной силы W_{ϕ} в пределах каждого блока принимают параллельной кривой депрессии в данном блоке. Таким образом, можно определить угол β_{ϕ} , который образует линия действия фильтрационной силы с горизонтом.

Определяют угол β_{ϕ} . С помощью линейки и транспортира измеряют угол наклона кривой депрессии в пределах блока (столбец 26).

3.21. Рассчитывают косинус угла β_{ϕ} (столбец 27).

3.22. Определяют горизонтальную фильтрационную силу (столбец 28), действующую на вертикальную стенку грунта в пределах фильтрационного блока:

$$W_{\phi \text{ гор}} = W_{\phi} \cos \beta_{\phi}.$$

4. Определяют коэффициент устойчивости откоса с учетом фильтрационного давления из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i \left[\rho \alpha_i - \operatorname{tg} (\rho_i - \psi) \right]}{\sum \left[\rho \operatorname{tg} \alpha_i + W_{\text{ф гор}} \right]}$$

где числитель представляет собой суммарное значение столбца 22;
знаменатель – сумму столбцов 23 и 28.

Если коэффициент устойчивости откоса равен или больше 1,3, откос считается устойчивым.

5. Для неустойчивых откосов выбирают мероприятие, повышающее устойчивость земляного сооружения за счет уменьшения напряжений, увеличения сдвиговых характеристик, защиты поверхности откоса, устройства подпорной стенки (см. табл. 5.5).

Заключение. Для откоса, сложенного из разнородного грунта, выполнен расчет устойчивости по методу плоских поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления. Коэффициент устойчивости равен 1,3, что соответствует устойчивому состоянию откоса.

7. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ

Введение

Подпорная стенка – геотехническая конструкция, предназначенная для обеспечения устойчивости вертикальных или крутых склонов, обсыпных мостовых устоев, опор арочных мостов и анкерных опор висячих мостов (рис. 7.1). Монолитные массивные стены по форме поперечного сечения и наклону лицевой и тыльной граней могут быть:

- а) с двумя вертикальными гранями;
- б) с вертикальной лицевой и наклонной тыльной;
- в) с наклонной лицевой и вертикальной тыльной;
- г) с наклоном обеих граней (лицевой и тыльной) в сторону засыпки.

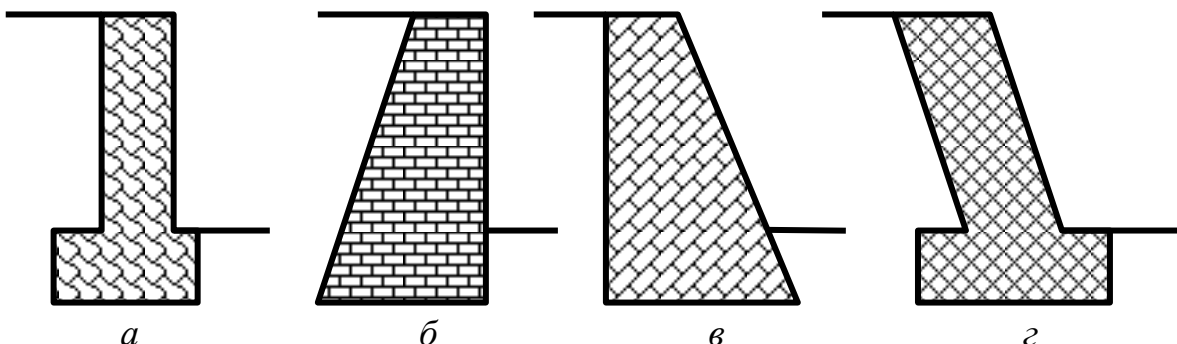


Рис. 7.1. Схемы массивных подпорных стенок

Фундамент подпорной стенки заглубляется в грунт на величину заглубления. Верх фундамента выходит на уровень нижнего горизонта грунта. Верх подпорной стенки находится на уровне верхнего горизонта грунта. Разница между верхним и нижним горизонтами грунта составляет высоту грунтового массива, удерживаемого подпорной стенкой в устойчивом состоянии. Высота подпорной стенки равна превышению верхнего горизонта грунта над нижним плюс глубина фундамента (рис. 7.2).

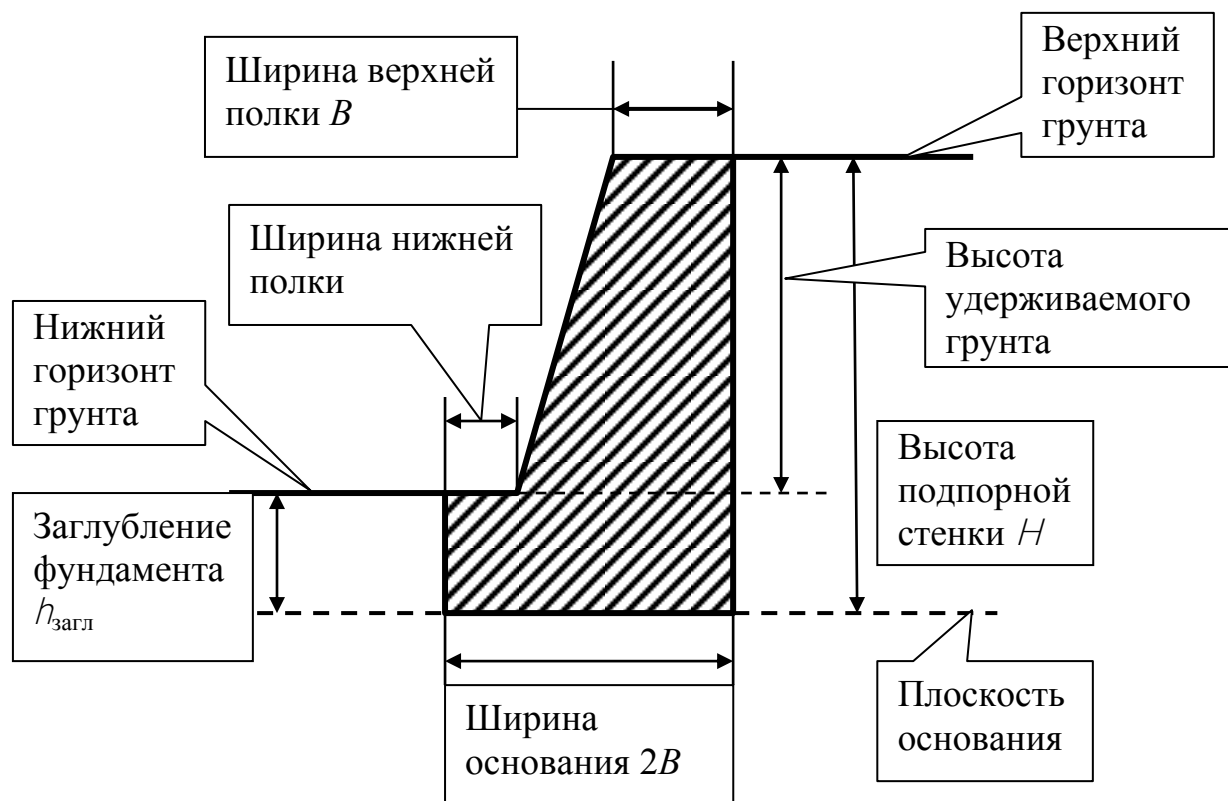


Рис. 7.2. Конструктивная схема подпорной стенки

В зависимости от принятого конструктивного решения материалом для подпорных стенок может быть бетон, железобетон, бутовый камень (валуны, глыбы), металл, дерево либо комбинированное сочетание этих материалов.

При оценке надежности сооружения, находящегося под одновременным воздействием вертикальных и горизонтальных нагрузок, необходимо учитывать возможность нарушения устойчивости сооружения в результате плоского или глубокого сдвига (рис. 7.3). Плоский сдвиг выражается в поступательном смещении сооружения по некоторой плоской поверхности скольжения, совпадающей с контактом грунтовой толщи и подошвы сооружения. Плоский сдвиг происходит в сооружениях при относительно низких вертикальных нагрузках и относительно высоком сдвигающем усилии, приложенном к сооружению с широко развитой подошвой.

При глубоком сдвиге сооружение испытывает просадку, поворот и смещение по криволинейной поверхности скольжения. Этот процесс

происходит с нарушением устойчивости основания сооружения, которое резко деформируется. Сдвиг происходит по принципу «сдвиг грунта по грунту», а общее сопротивление сдвигу включает силы трения, связность и структурное сцепление.

Глубокий сдвиг происходит при недостаточной несущей способности основания и большой массе сооружения.

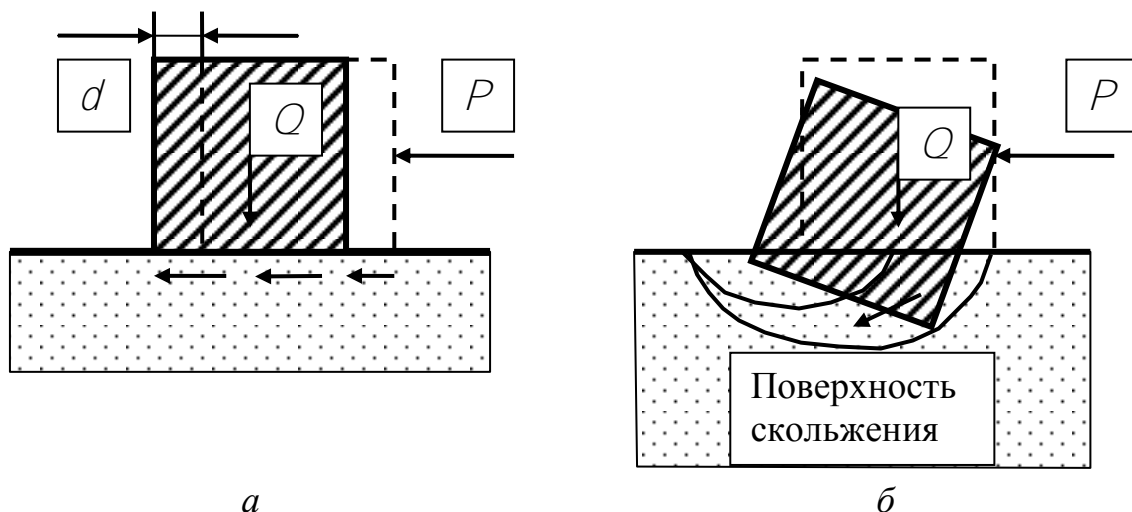


Рис. 7.3. Схема сдвига подпорного сооружения:
а – плоского сдвига; б – глубокого сдвига

Проектирование подпорных стен осуществляется с учетом требований П17-02 к СНБ 5.01.01–99 (Проектирование и устройства подпорных стен и крепление котлованов).

На подпорную стенку со стороны засыпки действует активное давление, а со стороны фундамента – пассивное.

Активное боковое давление грунта – минимальное значение бокового давления от грунта на смещающуюся в горизонтальном направлении от него конструкцию.

Пассивное боковое давление грунта – максимальное значение бокового давления от грунта на смещающуюся в горизонтальном направлении к нему конструкцию.

Если на поверхность засыпки действует сплошная равномерно распределенная нагрузка P_0 , то ее действие заменяют давлением приведенного столба грунта

$$h = \frac{P_0}{\gamma_w}, \quad (7.1)$$

где P_0 – равномерно распределенная нагрузка, кН/м^2 ;
 γ_w – удельный вес грунта, кН/м^3 .

Равномерно распределенная нагрузка на поверхности увеличивает активное давление на подпорную стенку. При расчете применяют метод профессора Г.И. Покровского «метод эквивалентного слоя», при котором равномерно распределенную нагрузку заменяют столбом грунта такой высоты h , чтобы давление на верхнем горизонте грунта соответствовало давлению от равномерно распределенной нагрузки.

Проверять на плоский сдвиг требуется обязательно все сооружения, воспринимающие горизонтальную нагрузку, при неглубоко заложенных фундаментах.

Оценка степени устойчивости сооружения на плоский сдвиг с возможностью его смещения по подошве заключается в определении величины коэффициента устойчивости, который определяют из выражения

$$K_y = \frac{R}{S}, \quad (7.2)$$

где R – пассивные удерживающие силы;

S – активные сдвигающие силы.

Активные сдвигающие силы в общем случае определяют из выражения

$$S = Q_B - Q_H + E_a - E_n,$$

где Q_B – сдвигающее усилие с верховой стороны в случае наличия верхнего бьефа воды;

Q_H – сдвигающее усилие с низовой стороны в случае наличия нижнего бьефа воды;

E_a – активное давление грунта на подпорную стенку, действующее со стороны засыпки;

E_n – пассивное давление грунта на фундамент подпорной стенки, удерживающее стенку от плоского сдвига.

Силы сопротивления сдвигу сооружения (пассивные удерживающие силы) определяют из выражения

$$R = T + C,$$

где T – силы трения, возникающие под сооружением в плоскости основания, определяемые из выражения

$$T = P - U \operatorname{tg} \varphi,$$

где P – вес подпорной стенки;

U – равнодействующая взвешивающего противодействия со стороны грунта основания с учетом наличия воды со стороны Q_B или Q_H ;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта;

C – силы сцепления грунта по контактной площади по подошве сооружения, определяемые из выражения

$$C = \omega c,$$

где c – сцепление грунта;

ω – площадь основания, определяемая из выражения

$$\omega = 2Ba,$$

где B – половина ширины основания;

a – длина основания.

Подставив значения S и R в выражение (7.2), получают формулу для определения коэффициента запаса устойчивости в общем виде

$$K_y = \frac{(P - U) \tan \varphi + \omega c}{Q_B - Q_H + E_a - E_{\Pi}}$$

7.1. Определение устойчивости подпорной стенки при песчаной засыпке

Задание

1. Представить краткое описание подпорной стенки как геотехнического сооружения, изложить варианты возможного сдвига и дать оценку устойчивости сооружения на плоский сдвиг.
2. Определить активное и пассивное давление при песчаной засыпке.
3. Определить полное активное и пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки.
4. Построить эпюры активного и пассивного давлений.
5. Определить коэффициент запаса устойчивости.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Высота подпорной стенки H , м –	6.
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	1,5.
4. Ширина подпорной стенки по низу $2B$, м –	2,0.
5. Удельный вес грунта $\gamma_{\text{вс}}$, кН/м ³ –	20.
6. Угол внутреннего трения грунта $\varphi_{\text{вс}}$, град. –	12.
7. Сцепление грунта $C_{\text{вс}}$, кН/м ² –	20.

Порядок расчета

1. Характеризуют подпорную стенку как геотехническое сооружение, излагают варианты возможного сдвига конструкции, представляют общую схему расчета устойчивости по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Определяют активное и пассивное давление при песчаной засыпке.

2.1. Определяют активное давление от песчаной засыпки из выражения

$$P_a = \gamma_w H \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 78 \text{ кН/м}^2.$$

2.2. Определяют пассивное давление от песчаного грунта на фундамент подпорной стенки из выражения

$$P_{\text{п}} = \gamma_w h_{\text{загл}} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 46 \text{ кН/м}^2.$$

3. Определяют полное активное и пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки.

3.1. Определяют полное активное давление песчаного грунта из выражения

$$E_a = \frac{\gamma_w}{2} H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = \frac{20}{2} \cdot 6^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 237 \text{ кН/м.} \quad (7.3)$$

3.2. Определяют точку приложения активного давления из выражения

$$e_a = \frac{H}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ м.}$$

3.3. Определяют полное пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины фундамента подпорной стенки из выражения

$$E_{\text{п}} = \gamma_w \frac{h_{\text{загл}}^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \frac{1,5^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 77 \text{ кН/м.} \quad (7.4)$$

3.4. Определяют точку приложения пассивного давления из выражения

$$e_{\text{п}} = \frac{1}{3} h_{\text{загл}} = \frac{1}{3} 1,5 = 0,5 \text{ м.}$$

4. Строят эпюры активного и пассивного давлений со стороны грунта на подпорную стенку.

4.1. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297 мм) в масштабе 1:100 вычерчивают профиль подпорной стенки (рис. 7.4) с учетом ее габаритных размеров, приведенных в исходных данных. Подпорную стенку размещают по оси симметрии листа миллиметровой бумаги.

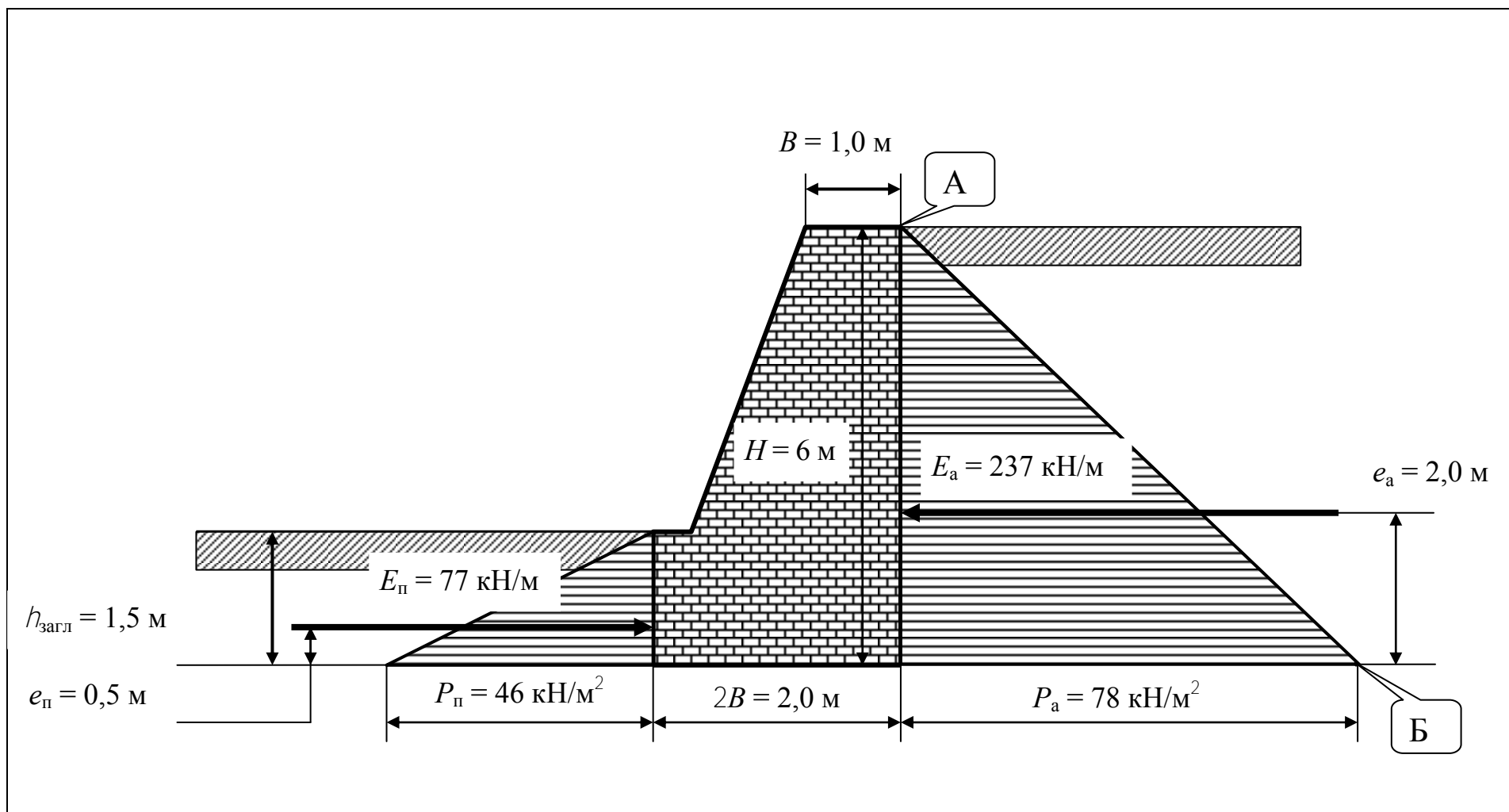


Рис. 7.4. Эпюра давлений при песчаной засыпке

Размер подпорной стенки по верху равен половине размера этой же стенки по низу.

Ширину нижней полки подпорной стенки принимают из условия, что она должна быть меньше ширины верхней полки (примерно равна $1/2 B$).

4.2. Строят эпюры активного и пассивного давлений на подпорную стенку. Эти эпюры носят прямолинейный характер.

Для построения эпюры активного давления обозначают верхнюю точку песчаной засыпки буквой A .

В плоскости подошвы подпорной стенки проводят горизонтальную линию. Выбирают масштаб в зависимости от свободного пространства между подпорной стенкой и краем листа. Откладывают величину P_a и получают точку B . Соединяют точки A и B прямой линией. Заштриховывают эпюру активного давления, как это сделано на рис. 7.4.

Откладывают от основания подпорной стенки величину e_a . Проводят горизонтальную стрелку, направленную на боковую сторону подпорной стенки. Эта стрелка обозначает полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки. Подписывают величину полного активного давления.

Аналогичным образом строят эпюру пассивного давления и обозначают пассивное давление от песчаного грунта на фундамент подпорной стенки и полное пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины фундамента подпорной стенки.

5. Определяют коэффициент запаса устойчивости.

5.1. Определяют активные сдвигающие силы на 1 м длины из выражения

$$S = E_a - E_{\text{п}} = 237 - 77 = 160 \text{ кН/м},$$

где E_a – полное активное давление грунта на подпорную стенку, действующее со стороны засыпки (7.3);

$E_{\text{п}}$ – полное пассивное давление грунта на фундамент подпорной стенки, удерживающее стенку от плоского сдвига (7.4).

5.2. Определяют объем бетона подпорной стенки из расчета на 1 м длины:

$$V = H/2 Ba = 6 \cdot 2 \cdot 1 = 12 \text{ м}^3.$$

5.3. Определяют вес подпорной стенки:

$$P = V \gamma_{\text{б}} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ кН} = 24000 \text{ кг} = 24 \text{ т},$$

где $\gamma_{\text{б}}$ – удельный вес бетона, принимают равным 20 кН/м^3 .

Бетоны подразделяются:

1) на *особо тяжелые* – $\gamma_{\text{б}} = 25 \text{ кН/м}^3$ (средняя плотность 2500 кг/м^3 и более), приготовленные на природных или искусственных рудосодержащих заполнителях, используют для строительства специальных защитных сооружений;

2) *тяжелые* – $\gamma_6 = 18\text{--}25 \text{ кН/м}^3$ (средняя плотность $1800\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$), в качестве заполнителей используют песок, гравий, щебень из натурального камня или гравия, отвалы, доменные и металлургические шлаки;

3) *легкие* – $\gamma_6 = 5\text{--}18 \text{ кН/м}^3$ (средняя плотность $500\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$), готовят на искусственных и естественных пористых заполнителях, применяют для изготовления конструктивных, конструктивно-изоляционных элементов зданий и сооружений;

4) *особо легкие* – γ_6 менее 5 кН/м^3 (средняя плотность менее 500 кг/м^3), предназначены для теплоизоляции зданий и сооружений.

5.4. К удерживающим силам относят силы трения и сцепления, развивающиеся на уровне подошвы.

Определяют силы трения, возникающие под сооружением в плоскости основания, из выражения

$$T = P_t g \varphi = 240 \text{ tg } 12 = 51 \text{ кН}$$

5.5. Определяют площадь основания из расчета на 1 м длины стенки:

$$\omega = 2Ba = 2 \cdot 1 = 2 \text{ м}^2.$$

5.6. Определяют силы сцепления грунта по контактной площади по подошве сооружения:

$$C = \omega c = 2 \cdot 20 = 40 \text{ кН}$$

5.7. Определяют общее сопротивление сооружения из выражения

$$R = T + C = 51 + 40 = 91 \text{ кН}$$

Подставив значения S и R в выражение (7.2), получают коэффициент устойчивости подпорной стенки:

$$K_y = \frac{R}{S}.$$

Устойчивость подпорной стенки регламентирована следующими условиями:

$K_y \geq 1,0$ – стенка будет обладать устойчивостью;

$K_y < 1,0$ – стенка не обладает необходимой устойчивостью и будет разрушена при эксплуатации, требуется ее переустройство.

Заключение. Выполнен расчет активных и пассивных давлений на подпорную стенку. Определены точки приложения полных активных и пассивных давлений на 1 м длины подпорной стенки. Вычислено значение коэффициента устойчивости, которое свидетельствует о том, что подпорная

стенка находится в неустойчивом (устойчивом) положении и требует изменения конструкции.

7.2. Определение устойчивости подпорной стенки при песчаной засыпке и дополнительной равномерно распределенной нагрузке

Задание

1. Представить краткое описание подпорной стенки как геотехнического сооружения, изложить варианты возможного сдвига и дать оценку устойчивости сооружения на плоский сдвиг.

2. Определить активное и пассивное давление подпорной стенки при песчаной засыпке и наличии равномерно распределенной нагрузки.

3. Определить полное активное и пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки.

4. Построить эпюры активного и пассивного давлений.

5. Определить коэффициент запаса устойчивости.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Высота подпорной стенки H , м –	6.
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	1,5.
4. Ширина подпорной стенки по низу $2B$, м –	2,0.
5. Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³ –	20.
6. Угол внутреннего трения грунта φ_w , град. –	12.
7. Сцепление грунта C_w , кН/м ² –	20.
8. Равномерно распределенная нагрузка P_0 , кН/м ² –	150.

Порядок расчета

1. Характеризуют подпорную стенку как геотехническое сооружение, излагают варианты возможного сдвига конструкции, представляют общую схему расчета устойчивости, используя материал введения и рекомендуемой литературы.

2. Определяют активное и пассивное давление подпорной стенки при песчаной засыпке и наличии равномерно распределенной нагрузки.

2.1. Определяют давление приведенного столба грунта из выражения (7.1):

$$h = \frac{P_0}{\gamma_w} = \frac{150}{20} = 7,5 \text{ м.}$$

2.2. Определяют активное давление от песчаной засыпки с учетом наличия равномерно распределенной нагрузки на поверхности засыпки:

$$P_a = \gamma_w (H+h) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 (6+7,5) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 177 \text{ кН/м}^2.$$

2.3. Определяют пассивное давление от песчаного грунта на фундамент подпорной стенки:

$$P_{\text{п}} = \gamma_w h_{\text{загл}} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \cdot 1,5 \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 46 \text{ кН/м}^2.$$

3. Определяют полное активное и пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки.

3.1. Определяют полное активное давление песчаного грунта с учетом наличия равномерно распределенной нагрузки на 1 м длины подпорной стенки:

$$E_a = \frac{\gamma_w}{2} (H^2 + 2Hh) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = \frac{20}{2} (6^2 + 2 \cdot 6 \cdot 7,5) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 827 \text{ кН/м}. \quad (7.5)$$

3.2. Определяют точку приложения активного давления:

$$e_a = \frac{H}{3} \cdot \frac{H+3h}{H+2h} = \frac{6}{3} \cdot \frac{6+3 \cdot 7,5}{6+2 \cdot 7,5} = 2,7 \text{ м}.$$

3.3. Определяют полное пассивное давление песчаного грунта на 1 м длины фундамента подпорной стенки:

$$E_{\text{п}} = \gamma_w \frac{h_{\text{загл}}^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \frac{1,5^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 77 \text{ кН/м}. \quad (7.6)$$

3.4. Определяют точку приложения пассивного давления:

$$e_{\text{п}} = \frac{1}{3} h_{\text{загл}} = \frac{1}{3} 1,5 = 0,5 \text{ м}.$$

4. Строят эпюры активного и пассивного давлений со стороны грунта на подпорную стенку.

4.1. На миллиметровой бумаге формата А4 (210 × 297 мм) в масштабе 1:100 вычерчивают профиль подпорной стенки (см. рис. 7.2) с учетом ее габаритных размеров, приведенных в исходных данных. Подпорную стенку размещают по оси симметрии листа миллиметровой бумаги (рис. 7.5).

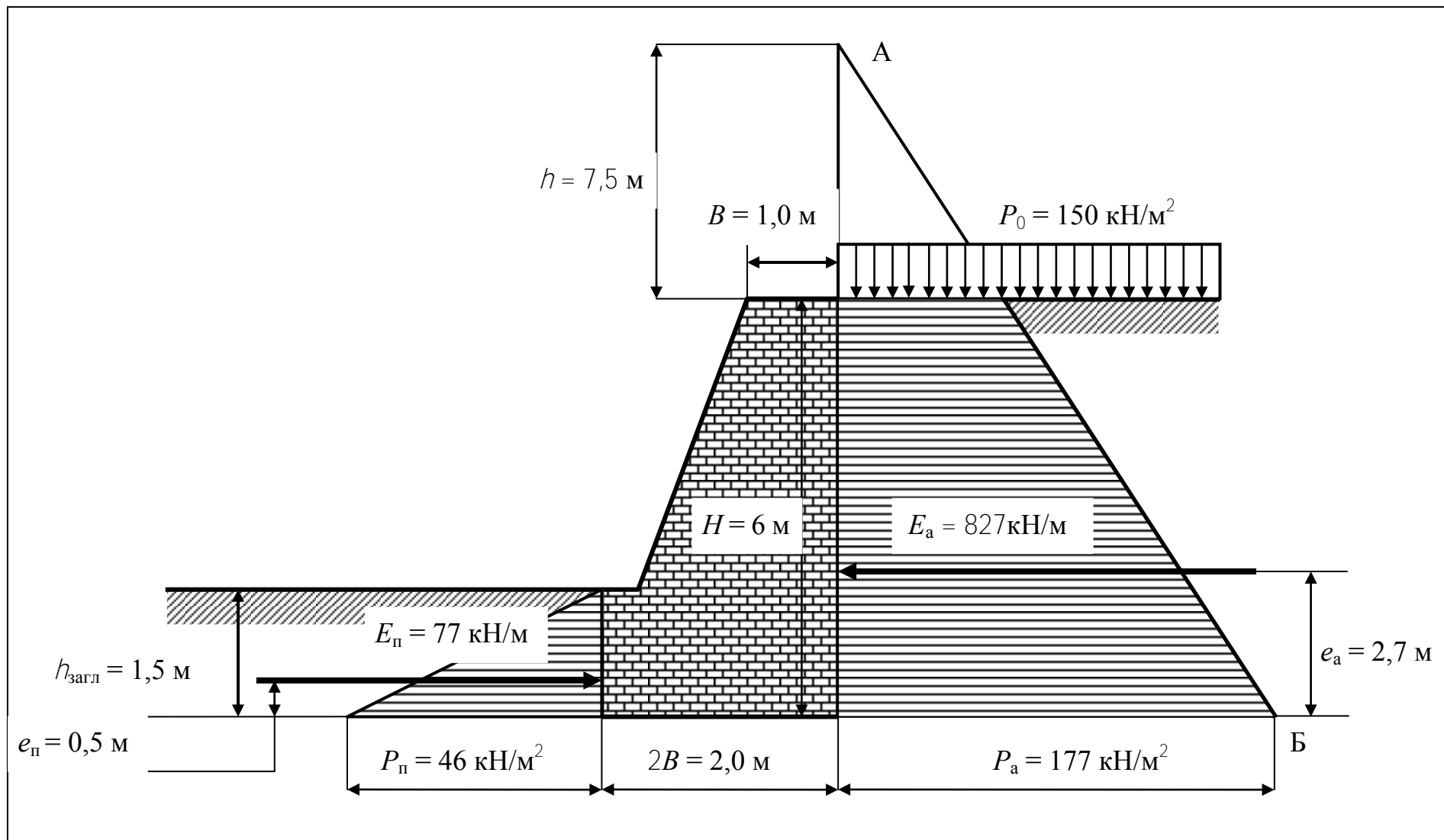


Рис. 7.5. Эпюра давлений при песчаной засыпке и дополнительной равномерно распределенной нагрузке

Размер подпорной стенки по верху равен половине размера этой же стенки по низу.

Ширину нижней полки подпорной стенки принимают из условия, что она должна быть меньше ширины верхней полки (примерно равна $1/2 B$).

4.2. Строят эпюры активного и пассивного давлений на подпорную стенку. Эти эпюры носят прямолинейный характер.

Для построения эпюры активного давления от верхней кромки подпорной стенки в плоскости засыпки откладывают вверх отрезок, равный длине $h = 7,5$ м (в масштабе 1:100). Получают точку А.

В плоскости подошвы подпорной стенки проводят горизонтальную линию. Выбирают масштаб в зависимости от свободного пространства между подпорной стенкой и краем листа. Откладывают величину P_a и получают точку Б. Соединяют точки А и Б прямой линией. Заштриховывают эпюру активного давления, как это сделано на рис. 7.5.

Обозначение полного активного и пассивного давлений, а также построение эпюры пассивного давления выполняют по тем же правилам, как в подразделе 7.1 п. 4.2.

5. Определяют коэффициент запаса устойчивости.

5.1. Определяют активные сдвигающие силы из выражения

$$S = E_a - E_{\text{п}} = 827 - 77 = 750 \text{ кН/м},$$

где E_a – полное активное давление грунта на подпорную стенку, действующее со стороны засыпки (7.5);

$E_{\text{п}}$ – полное пассивное давление грунта на фундамент подпорной стенки, удерживающее стенку от плоского сдвига (7.6).

5.2. Определяют объем бетона подпорной стенки из расчета на 1 м длины:

$$V = H2Ba = 6 \cdot 2 \cdot 1 = 12 \text{ м}^3.$$

5.3. Определяют вес подпорной стенки:

$$P = V\gamma_6 = 12 \cdot 20 = 240 \text{ кН} = 240000 \text{ кг} = 240 \text{ т},$$

где γ_6 – удельный вес бетона, принимают равным 20 кН/м^3 .

Удельный вес бетона принимают в соответствии с данными п. 5.3 подраздела 7.1.

5.4. Определяют силы трения, возникающие под сооружением в плоскости основания:

$$T = P \text{tg}\varphi = 240 \text{tg}12 = 51 \text{ кН}.$$

5.5. Определяют площадь основания из расчета на 1 м длины стенки:

$$\omega = 2ba = 2 \cdot 1 = 2 \text{ м}^2.$$

5.6. Определяют силы сцепления грунта по контактной площади по подошве сооружения:

$$C = \omega c = 2 \cdot 20 = 40 \text{ кН.}$$

5.7. Определяют общее сопротивление сооружения из выражения

$$R = T + C = 51 + 40 = 91 \text{ кН.}$$

Подставив значения S и R в выражение (7.2), получают коэффициент устойчивости подпорной стенки

$$K_y = \frac{R}{S}.$$

Устойчивость подпорной стенки регламентирована следующими условиями:

$K_y \geq 1,0$ – стенка будет обладать устойчивостью;

$K_y < 1,0$ – стенка не обладает необходимой устойчивостью и будет разрушена при эксплуатации, требуется ее переустройство.

Заключение. Выполнен расчет активных и пассивных давлений на подпорную стенку с учетом дополнительной равномерно распределенной нагрузки. Определены точки приложения полных активных и пассивных давлений на 1 м длины подпорной стенки. Вычислено значение коэффициента устойчивости, которое свидетельствует о том, что подпорная стенка находится в неустойчивом (устойчивом) положении и требует изменения конструкции.

7.3. Определение устойчивости подпорной стенки при глинистой засыпке

Введение

Если устойчивость откосов насыпей, выемок или склонов не обеспечивается простейшими способами, то необходимо устраивать подпорные стенки. Расчет подпорной стенки сводится к определению ее устойчивости против сдвига по основанию и опрокидывания при повороте вокруг внешнего ребра подошвы. Давление грунтов на подпорные стенки зависит не только от свойств грунтовой засыпки, но и от размеров самой стенки.

Грунты, обладающие как трением, так и сцеплением, причем каждый член уравнения имеет существенное значение, характеризуются законом Кулона для связных грунтов:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ – касательное напряжение в грунтах;

σ – нормальное напряжение в грунтах;
 φ – угол внутреннего трения грунта;
 $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта;
 c – сцепление грунта.

Закон Кулона формулируется следующим образом: *предельное сопротивление связных грунтов сдвигу при завершённой их консолидации, есть функция первой степени от сжимающего напряжения.*

К этой группе грунтов относятся все супеси, жесткие и скрытопластичные глины и пылеватые пески.

При действии на грунт усилия он сжимается в направлении большего из действующих напряжений и расширяется в перпендикулярном ему направлении. Величина бокового давления характеризуется коэффициентом бокового давления ξ , который представляет собой отношение бокового давления σ_2 к сжимающему усилию σ_1 . Коэффициент бокового давления отвечает состоянию предельного равновесия для связных грунтов. Для этого состояния между главными напряжениями σ_1 и σ_2 справедливо соотношение Ранкина–Мора:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2C \operatorname{ctg} \varphi + \sigma_1 + \sigma_2},$$

где C – сцепление связного грунта, кН/м^2 .

После преобразований можно получить формулы для определения полного активного E_a и полного пассивного E_p давления на стенку высотой H при учете сил сцепления в грунте C :

$$E_a = \gamma_w \frac{H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - 2C_w \left[H \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - \frac{C_w}{\gamma_w} \right];$$

$$E_p = \gamma_w \frac{h_{\text{загл}}^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) + 2C_w H \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right),$$

где γ_w – удельный вес грунта, кН/м^3 .

Сопоставляя эти выражения с зависимостями, полученными для сыпучего грунта, можно сделать следующее заключение. В грунтах, обладающих сцеплением и углом внутреннего трения, величина полного бокового давления уменьшается на величину давления P_c , определяемого из выражения

$$P_c = \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Это давление можно заменить эквивалентным слоем грунта, в котором благодаря наличию сил сцепления давление будет равно нулю:

$$h = \frac{c}{\gamma_w \operatorname{tg} \varphi}.$$

Следовательно, при глинистой засыпке величина полного бокового давления уменьшается, а величина полного пассивного давления увеличивается. Эпюра вместо треугольной конфигурации принимает трапециевидную форму.

Задание

1. Представить краткое описание подпорной стенки как геотехнического сооружения, изложить варианты возможного сдвига и дать оценку устойчивости сооружения на плоский сдвиг.

2. Определить активное давление на уровне подошвы подпорной стенки при глинистой засыпке.

3. Определить пассивное давление на уровне нижнего горизонта грунта и на уровне подошвы фундамента подпорной стенки при глинистой засыпке.

4. Определить полное активное и пассивное давление глинистого грунта на 1 м длины подпорной стенки.

5. Построить эпюры активного и пассивного давлений при глинистой засыпке.

6. Определить коэффициент запаса устойчивости подпорной стенки.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Высота подпорной стенки H , м –	6.
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	1,5.
4. Ширина подпорной стенки по низу $2B$, м –	2,0.
5. Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³ –	20.
6. Угол внутреннего трения грунта φ_w , град. –	12.
7. Сцепление грунта C_w , кН/м ² –	20.

Порядок расчета

1. Характеризуют подпорную стенку как геотехническое сооружение, излагают варианты возможного сдвига конструкции, представляют общую схему расчета устойчивости по материалу введения и рекомендуемой литературы.

2. Определяют активное давление на уровне подошвы подпорной стенки при глинистой засыпке.

2.1. Определяют активное давление грунта на подпорную стенку с учетом сцепления C_w :

$$\begin{aligned} P_a^I &= \gamma_w H \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - 2C_w \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = \\ &= 20 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) - 2 \cdot 20 \operatorname{tg} \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 47 \text{ кН/м}^2. \end{aligned}$$

Поскольку глинистый грунт обладает сцеплением, которое связывает частицы в массиве, то активное давление на подпорную стенку на уровне ее подошвы меньше, чем в варианте засыпки песчаным грунтом.

2.2. Определяют активное давление грунта без учета сцепления:

$$P_a^I = \gamma_w H \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \cdot 6 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 79 \text{ кН/м}^2.$$

2.3. Определяют глубину h_c , на которой активное давление равно нулю, поскольку наличие сцепления уменьшает боковое давление грунта на стенку:

$$h_c = \frac{2C_w}{\gamma_w \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right)} = \frac{2 \cdot 20}{20 \operatorname{tg} \left(45 - \frac{12}{2} \right)} = 2,5 \text{ м.}$$

2.4. Определяют высоту подпорной стенки, на которую действует активное давление:

$$H_c = H - h_c = 6 - 2,5 = 3,5 \text{ м.}$$

3. Определяют пассивное давление на уровне нижнего горизонта грунта и на уровне подошвы фундамента подпорной стенки при глинистой засыпке.

3.1. Определяют пассивное давление на поверхности фундамента подпорной стенки (при $h_{\text{загл}} = 0$):

$$P_{II}^I = 2C_w \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) = 2 \cdot 20 \operatorname{tg} \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 50 \text{ кН/м}^2.$$

3.2. Определяют пассивное давление грунта на подпорную стенку на уровне подошвы фундамента с учетом сцепления

$$P_{\Pi}^{II} = \gamma_w h_{\text{загл}} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) + 2C_w \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) =$$

$$= 20 \cdot 1,5 \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) + 2 \cdot 20 \operatorname{tg} \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 95 \text{ кН/м}^2.$$

4. Определить полное активное и пассивное давление глинистого грунта на 1 м длины подпорной стенки.

4.1. Определяют полное активное давление связного грунта на 1 м длины подпорной стенки:

$$E_a = \gamma_w \frac{H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - 2C_w \left[H \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - \frac{C_w}{\gamma_w} \right] =$$

$$= 20 \frac{6^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) - 2 \cdot 20 \left[6 \operatorname{tg} \left(45 - \frac{12}{2} \right) - \frac{20}{20} \right] = 83 \text{ кН/м}.$$

4.2. Определяют точку приложения полного активного давления:

$$e_a = \frac{H_c}{3} = \frac{3,5}{3} = 1,2 \text{ м}.$$

4.3. Определяют полное пассивное давление связного грунта на 1 м длины фундамента подпорной стенки:

$$E_{\Pi} = \gamma_w \frac{h_{\text{загл}}^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) + 2C_w h_{\text{загл}} \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi_w}{2} \right) =$$

$$= 20 \frac{1,5^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{12}{2} \right) + 2 \cdot 20 \cdot 1,5 \operatorname{tg} \left(45 + \frac{12}{2} \right) = 108 \text{ кН/м}.$$

4.4. Определяют точку приложения полного пассивного давления:

$$e_{\Pi} = \frac{h_{\text{загл}}}{3} \cdot \frac{\sqrt{a + 2d}}{\sqrt{a + d}} = \frac{1,5}{3} \cdot \frac{\sqrt{45 + 2 \cdot 50}}{\sqrt{45 + 50}} = 0,7 \text{ м},$$

где a – нижнее основание трапеции, равное величине пассивного давления на уровне подошвы фундамента, равное $P_{\Pi}^I = 95 \text{ кН/м}^2$;

d – верхнее основание трапеции, равное величине пассивного давления на уровне нижнего горизонта грунта, равное $P_{\Pi}^I = 50 \text{ кН/м}^2$.

5. Производят построение эпюры активного и пассивного давлений при глинистой засыпке (рис. 7.6).

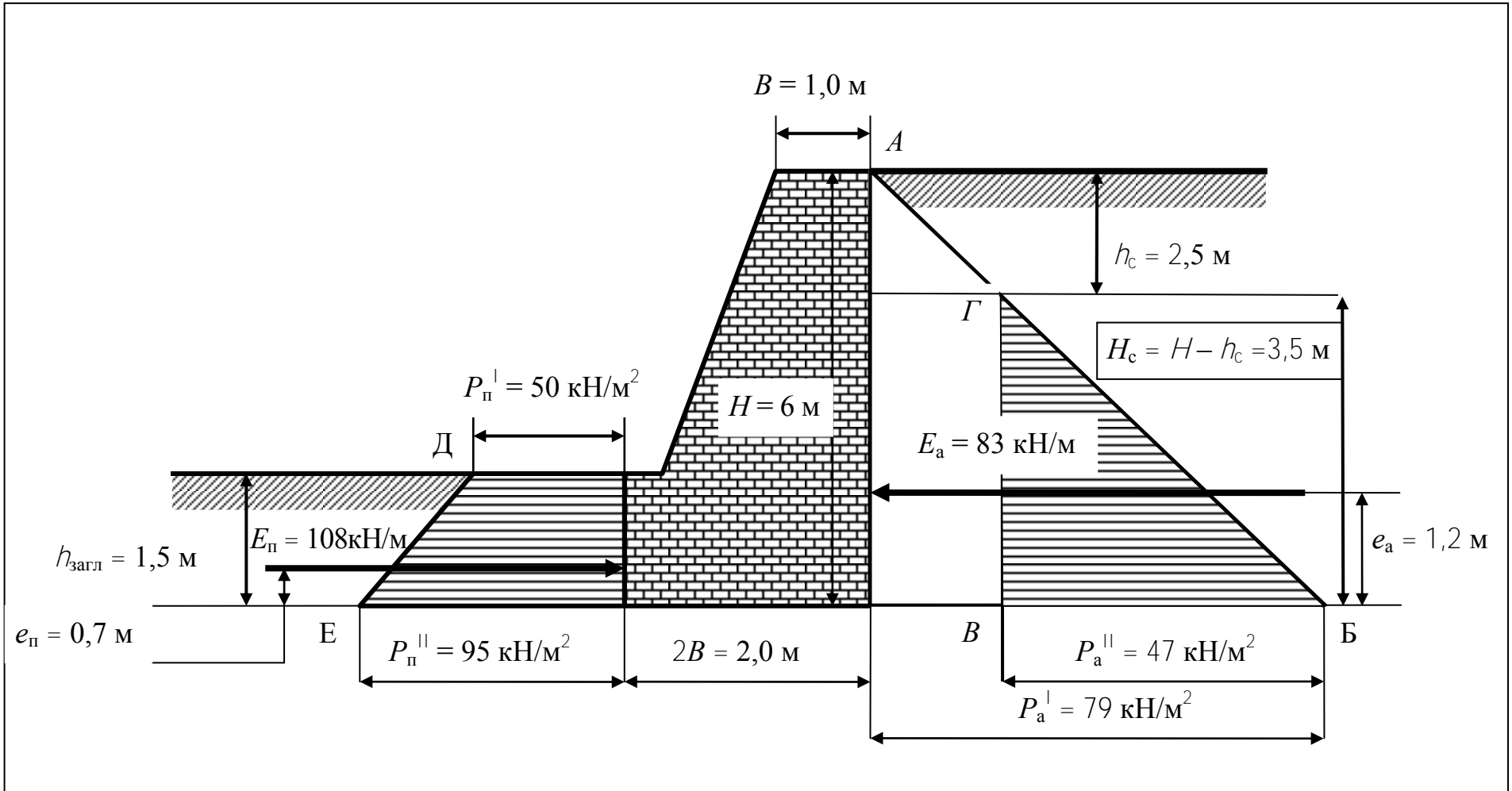


Рис. 7.6. Эпюры давлений при глинистой засыпке

На листе миллиметровой бумаги формата А4 в масштабе вычерчивают профиль подпорной стенки с учетом исходных данных.

5.1. Для построения эпюры активного давления откладывают на горизонтальной линии подошвы подпорной стенки величину P_a^I . Получают точку Б.

Эту точку соединяют прямой линией с верхней кромкой подпорной стенки – точкой А, получая треугольную эпюру.

5.2. От точки Б в той же плоскости откладывают величину P_a^{II} . Получают точку В.

5.3. От верхнего горизонта грунта (см. рис. 7.6) откладывают величину h_c и проводят горизонтальную линию. Точку пересечения прямой АБ с горизонтальной обозначают Г.

5.4. Соединяют точки Г и В прямой линией. Полученный треугольник БВГ является эпюрой активных давлений на подпорную стенку со стороны глинистой засыпки. Треугольник заштриховывают горизонтальной штриховкой.

5.5. От горизонтальной линии подошвы подпорной стенки на расстоянии e_a проводят горизонтальную стрелку, направленную в сторону подпорной стенки. Эта стрелка обозначает полное активное давление глинистого грунта на 1 м длины подпорной стенки. Обозначают стрелку E_a и подписывают значение полного активного давления.

5.6. В плоскости нижнего горизонта грунта откладывают пассивное давление, соответствующее давлению на поверхности фундамента P_n^I . Получают точку Д.

5.7. В плоскости подошвы фундамента откладывают пассивное давление с учетом сцепления P_n^{II} . Получают точку Е.

5.8. Соединяют точки Д и Е и получают трапециевидную эпюру пассивных давлений на фундамент подпорной стенки. Трапецию заштриховывают горизонтальными линиями.

5.9. От горизонтальной линии подошвы фундамента на расстоянии e_n проводят горизонтальную стрелку, направленную в сторону фундамента. Эта стрелка обозначает полное пассивное давление глинистого грунта на 1 м длины фундамента E_n . Подписывают значение полного пассивного давления.

6. Определяют коэффициент запаса устойчивости из выражения (7.2):

$$K_{сдв} = \frac{R}{S},$$

где R – пассивные удерживающие силы;

S – активные сдвигающие силы.

6.1. Определяют активные сдвигающие силы:

$$S = E_a - E_n = 83 - 108 = -25 \text{ кН/м}, \quad (7.7)$$

где E_a – полное активное давление грунта на подпорную стенку, действующее со стороны засыпки;

$E_{\text{п}}$ – полное пассивное давление грунта на фундамент подпорной стенки, удерживающее стенку от плоского сдвига.

Результаты расчета показали, что величина активного давления незначительна. Превалирует величина пассивного давления. Поскольку расчет пассивных сил приведет к увеличению сил, препятствующих деформации сдвига, то дальнейший расчет не имеет смысла.

Если при расчете активных сдвигающих сил по формуле (7.7) величина S окажется положительной, то необходимо продолжить расчет по методике, изложенной в подразделах 7.1 и 7.2.

Заключение. Выполнен расчет активных и пассивных давлений на подпорную стенку с учетом глинистой засыпки. Определены точки приложения полных активных и пассивных давлений на 1 м длины подпорной стенки. Вычислено значение коэффициента устойчивости, которое свидетельствует о том, что подпорная стенка находится в устойчивом положении.

7.4. Определение устойчивости подпорной стенки в виде набережной

Введение

Автомобильная дорога может проходить по берегу канала, водохранилища, реки, плотины. В этом случае подпорная стенка работает в самых неблагоприятных условиях, когда засыпка фундамента и грунт подошвы подпорной стенки находятся в водонасыщенном состоянии. В этом случае ослабевают силы внутреннего трения грунта и пассивное давление со стороны засыпки уменьшается. При таких условиях возможен не только плоский, но и глубокий сдвиг (см. рис. 7.3).

Если горизонт воды расположен выше подошвы сооружения, то в соответствии с законом Архимеда сооружение теряет в весе столько, сколько весит вытесненная им вода. Это равносильно утверждению, что к подошве сооружения приложена направленная снизу вверх нагрузка, называемая взвешивающей сооружение силой, равная по величине весу вытесненной сооружением воды.

Грунт со стороны засыпки будет находиться в двух состояниях:

- 1) выше уровня горизонта вод – в сухом состоянии;
- 2) ниже уровня горизонта вод – в водонасыщенном.

При решении задач, в которых грунт находится в различных состояниях (сухом и водонасыщенном), применяют метод эквивалентного слоя (метод Г.И. По-кровского), в котором сухой грунт заменяют водонасыщенным, но большей мощности с таким расчетом, чтобы давление на уровне горизонта вод оставалось неизменным.

Задание

1. Представить краткое описание подпорной стенки как геотехнического сооружения, изложить варианты возможного сдвига и дать оценку устойчивости сооружения на плоский сдвиг.

2. Определить активное давление песчаных грунтов, находящихся в сухом и водонасыщенном состояниях.

3. Построить эпюру давлений при песчаной засыпке и частичном затоплении подпорной стенки.

ПРИМЕР

Исходные данные (прил. 1)

1. Вариант –	543.
2. Высота подпорной стенки H , м –	6.
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м –	1,5.
4. Ширина подпорной стенки по низу $2B$, м –	2,0.
5. Удельный вес грунта γ_w , кН/м ³ –	20.
6. Угол внутреннего трения грунта φ_w , град. –	12.
7. Сцепление грунта C_w , кН/м ² –	20.
8. Уровень воды УВ, м –	2,5.

Порядок расчета

1. Характеризуют подпорную стенку как геотехническое сооружение, излагают варианты возможного сдвига конструкции, дают общую схему расчета устойчивости по материалу, представленному во введении и рекомендуемой литературе.

2. Определяют активное давление песчаных грунтов.

2.1. Определяют высоту подпорной стенки выше уровня воды:

$$Z = H - (h_{\text{загл}} + \text{УВ}) = 6 - (1,5 + 2,5) = 2 \text{ м},$$

где H – высота подпорной стенки, м;

$h_{\text{загл}}$ – глубина фундамента подпорной стенки, м;

УВ – уровень воды перед подпорной стенкой, м.

2.2. Определяют активное давление грунта, лежащего выше уровня воды из выражения

$$P_a^I = \gamma_w Z \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) = 20 \cdot 2 \text{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 26 \text{ кН/м}^2.$$

2.3. Определяют удельный вес грунта во взвешенном состоянии

$$\gamma_w^{B3} = \gamma_w - \gamma_B = 20 - 10 = 10 \text{ кН/м}^3.$$

где γ_B – удельный вес воды, равный 10 кН/м^3 .

2.4. Определяют высоту слоя эквивалентного грунта (водонасыщенного), создающего такое же давление на слой грунта ниже уровня воды, как создавал сухой грунт, из выражения

$$h = \frac{\gamma_w Z}{\gamma_w^{B3}} = \frac{20 \cdot 2}{10} = 4 \text{ м.}$$

2.5. Определяют общую приведенную высоту слоя грунта засыпки, находящегося в водонасыщенном состоянии

$$H_w = h + h_{\text{загл}} + \text{УВ} = 4 + 1,5 + 2,5 = 8 \text{ м.}$$

2.6. Определяют активное давление грунта на уровне подошвы подпорной стенки:

$$P_a^{II} = \gamma_w^{B3} H_w \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\Phi_w}{2} \right) = 10 \cdot 8 \text{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 53 \text{ кН/м}^2.$$

2.7. Определяют полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящегося выше УВ:

$$E_a^{II} = \gamma_w \frac{Z^2}{2} \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\Phi_w}{2} \right) = 20 \frac{2^2}{2} \text{tg}^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right) = 27 \text{ кН/м.}$$

2.8. Определяют точку приложения полного активного давления песчаного грунта, находящегося выше УВ:

$$e_a^I = \frac{2}{3} Z = \frac{2}{3} \cdot 2 = 1,3 \text{ м.}$$

2.9. Определяют полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящегося ниже УВ:

$$E_a^{II} = \frac{P_a^I + P_a^{II}}{2} \left(\underset{\text{загл}}{\text{УВ}} \right) = \frac{26 + 53}{2} \left(5 + 2,5 \right) = 158 \text{ кН/м.}$$

2.10. Определяют точку приложения полного активного давления песчаного грунта, находящегося ниже УВ:

$$e_a^{II} = \frac{h_{\text{загл}} + \text{УВ}}{3} \cdot \frac{(P_a^{II} + 2P_a^I)}{(P_a^{II} + P_a^I)} = \frac{1,5 + 2,5}{3} \cdot \frac{(3 + 2 \cdot 26)}{(53 + 26)} = 1,7 \text{ м.}$$

2.11. Определяют полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки с учетом грунта, находящегося выше и ниже УВ:

$$E_a = E_a^I + E_a^{II} = 27 + 158 = 186 \text{ кН/м.}$$

2.12. Определяют расстояние между точками приложения E_a^I и E_a^{II} из выражения

$$X = H - \left(\frac{h}{3} + e_a^{II} \right) = 6 - (3 + 1,7) = 3 \text{ м.}$$

2.13. Определяют точку приложения полного активного давления E_a . Для этого составляют пропорцию

$$E_a^{II} e_a = E_a^I (X - e_a),$$

отсюда

$$e_a = \frac{E_a^I X}{E_a^{II} + E_a^I} = \frac{27 \cdot 3}{158 + 27} = 0,16 \text{ м.}$$

3. Производят построение эпюры активного давления при песчаной засыпке и частичном затоплении подпорной стенки.

На листе миллиметровой бумаги формата А4 в масштабе 1:100 и с учетом исходных данных вычерчивают профиль подпорной стенки (рис. 7.7). На схему наносят уровень воды (УВ). Линию УВ продолжают по другую сторону подпорной стенки.

3.1. От уровня УВ вдоль вертикальной стенки сооружения откладывают значение высоты h . Получают точку А.

3.2. На уровне УВ от вертикальной стенки сооружения в масштабе откладывают значение P_a^I . Получают точку Б.

3.3. На уровне подошвы подпорной стенки в том же масштабе откладывают значение P_a^{II} . Получают точку В.

3.4. Соединяют точки А, Б, В. Получают эпюру активного давления для водонасыщенного грунта

3.5. Соединяют точку Б с верхней кромкой подпорной стенки. Получают эпюру с учетом наличия грунта в сухом и водонасыщенном состояниях. Эпюру заштриховывают горизонтальными линиями.

3.6. Откладывают от верхнего горизонта грунта (рис. 7.7) величину e_a^I . Проводят горизонтальную стрелку, направленную к подпорной стенке. Стрелку обозначают E_a^I .

3.7. Откладывают от подошвы подпорной стенки величину e_a^{II} . Проводят горизонтальную стрелку и обозначают E_a^{II} .

3.8. От стрелки E_a^{II} откладывают величину e_a . Проводят горизонтальную стрелку и обозначают E_a .

Заключение. Выполнен расчет активного давления на подпорную стенку при песчаной засыпке и наличии уровня воды со стороны лицевой грани.

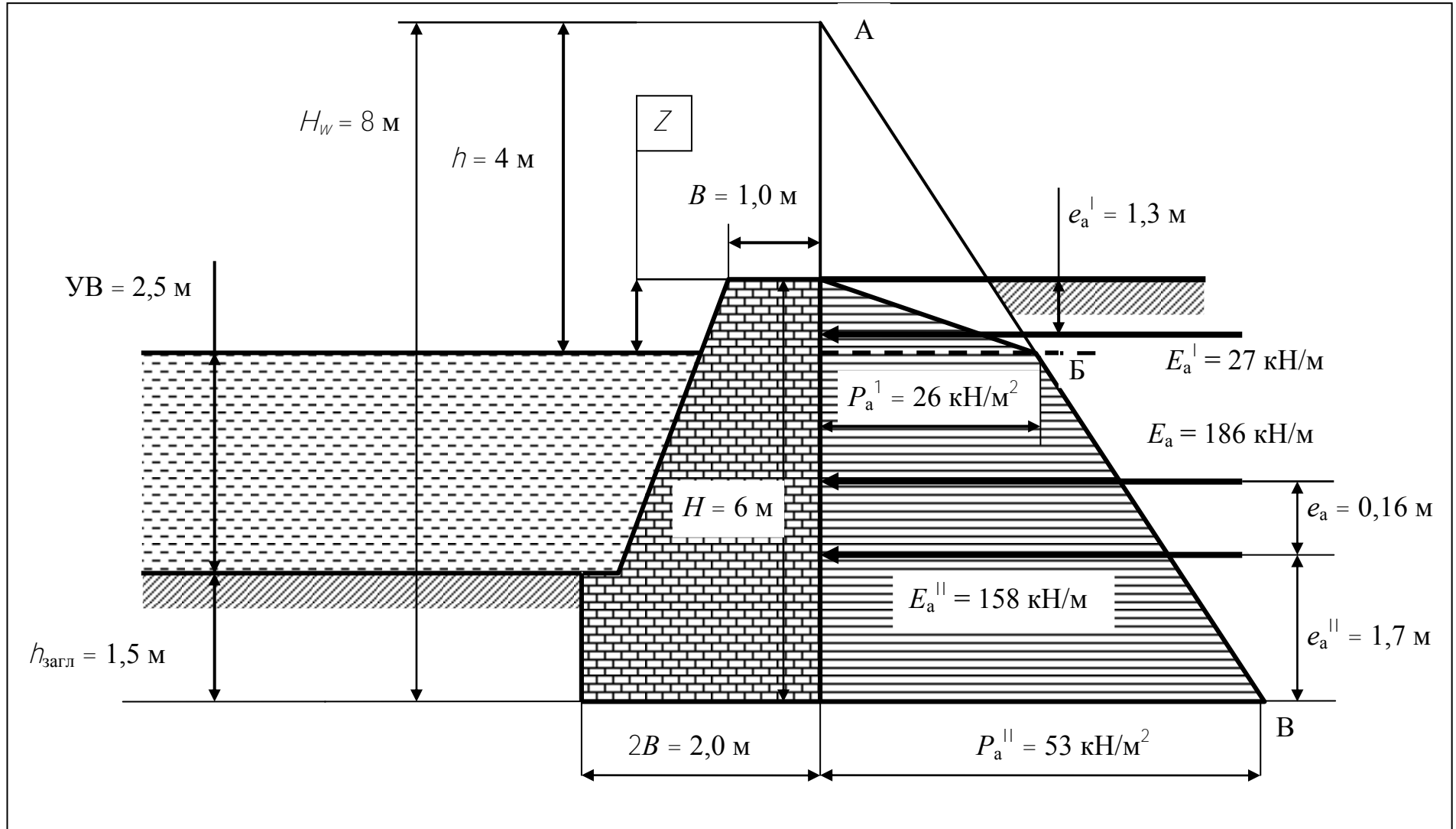


Рис. 7.7. Эпюра активного давления песчаного грунта на подпорную стенку при частичном затоплении

Литература

1. Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / под общ. ред. А.В. Минина. – Минск: БелЭН, 2002. – 672 с.
2. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
3. Казарновский, В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В.Д. Казарновский. – М., 2007. – 284 с.
4. Флорин, В.А. Основы механики грунтов. Общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений / В.А. Флорин. – М.; Л.: гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. – Т. 1. – 356 с.
5. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
6. Безрук, В.М. Геология и грунтоведение / В.М. Безрук. – М.: Недра, 1977. – 256 с.
7. Котов, М.Ф. Механика грунтов в примерах / М.Ф. Котов. – М.: Высшая школа, 1968. – 280 с.
8. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В.Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
9. Укрепленные грунты (свойства и применение в дорожном строительстве) / В.М. Безрук [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.
10. Безрук, В.М. Дорожные одежды из укрепленных грунтов: учебное пособие / В.М. Безрук, А.С. Еленович. – М.: Высшая школа, 1969. – 330 с.
11. Гончарова, Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов (техническая мелиорация грунтов) / Л.В. Гончарова. – М.: МГУ, 1973. – 376 с.
12. Бабаскин, Ю.Г. Строительство автомобильных дорог с облегченными и переходными покрытиями: учебное пособие / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович. – Минск: БНТУ, 2006. – 297 с.
13. Бабаскин, Ю.Г. Технология дорожного строительства: учебное пособие / Ю.Г. Бабаскин, И.Н. Вербило. – Минск: БНТУ, 2003. – 202 с.
14. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов: учебно-методическое пособие / Я.Н. Ковалев. – Минск: БНТУ, 2007. – 265 с.
15. Львович, Ю.М. Укрепление откосов земляного полотна автомобильных дорог / Ю.М. Львович, Ю.Л. Мотылев. – М.: Транспорт, 1979. – 159 с.
16. Ананьев, В.П. Инженерная геология: учебник для строительных специальностей вузов / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 2002. – 511 с.
17. Швецов, Г.И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов / Г.И. Швецов. – М.: Высшая школа, 1987. – 296 с.
18. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. – М.: Высшая школа, 1986. – 239 с.

19. Вырко, Н.П. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 224 с.
20. Леонович, И.И. Механика земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко. – Минск: Наука и техника, 1975. – 232 с.
21. Вырко, Н.П. Практикум по дорожному грунтоведению / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – 255 с.
22. Казарновский, В.Д. Методические указания по расчету степени устойчивости склонов и откосов при решении геотехнических задач в дорожном, мостовом и аэродромном строительстве / В.Д. Казарновский, З.М. Караулова, З.И. Рогозина. – М.: МАДИ, 1987. – 62 с.
23. Бабаскин, Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог / Ю.Г. Бабаскин; под ред. И.И. Леоновича. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 177 с.
24. Бабаскин Ю.Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог / Ю.Г. Бабаскин. – Минск: БГПА, 2001. – 223 с.
25. Бабаскин, Ю.Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог: курс лекций / Ю.Г. Бабаскин. – Минск: БНТУ, 2002. – 197 с.
26. Бабаскин, Б.Г. Укрепление грунтов цементом: методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Специальные вопросы укрепления грунтов» для студентов специальности Т.19.03 – «Строительство дорог и транспортных объектов» / Ю.Г. Бабаскин, Р.И. Петрашевский. – Минск: БГПА, 1998. – 56 с.
27. Бабаскин, Ю.Г. Свойства грунтов и их влияние на устойчивость инженерных сооружений: методическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студентов специальности Т.19.03 – «Строительство дорог и транспортных объектов» / Ю.Г. Бабаскин. – Минск: БГПА, 2000. – 73 с.
28. Бабаскин, Ю.Г. Технико-экономическое обоснование технологии и организации работ по строительству автомобильной дороги: методическое пособие к курсовому проекту / Ю.Г. Бабаскин, И.В. Дерман. – Минск: БНТУ, 2006. – 161 с.
29. Устройство земляного полотна автомобильных дорог (П2-02 к СНиП 3.06.03–85). – Минск: Департамент «Белавтодор», 2003. – 121 с.
30. РД 0219.1.20–2001: Руководство по операционному контролю качества работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений. – Минск: Комитет по автомобильным дорогам, 2001. – 139 с.
31. П17-02 к СНБ 5.01.01–99: Проектирование и устройство подпорных стен и креплений котлованов. – Минск: Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве, 2005. – 76 с.
32. СТБ 943–20076: Грунты. Классификация. – Минск: Госстандарт, 2008. – 20 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Исходные данные к курсовой работе

Таблица П1.1

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геолог. разреза	№ стратиграф. колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп. МПа	$\rho_{ин}$ т/м ³	$h_{загл.}$ м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
111	1	5	1	2.1	0,25	1,71	3,9	2,0	-	-	-	-	-	-	1	10
112	2	6	2	2.2	0,26	1,72	4,0	-	II	2,1	1,25	-	-	-	2	9
113	3	7	3	2.3	0,27	1,73	4,1	-	-	-	-	0,5	-	-	3	8
114	4	8	4	2.4	0,28	1,74	4,2	-	-	-	-	-	4,0	2,0	4	7
115	5	9	5	2.1	0,29	1,75	4,3	2,5	-	-	-	-	-	-	5	6
116	6	10	6	2.2	0,30	1,76	4,4	-	III	2,5	1,0	-	-	-	6	5
117	7	11	7	2.3	0,31	1,77	4,5	-	-	-	-	1,0	-	-	7	4
118	8	12	8	2.4	0,32	1,78	4,6	-	-	-	-	-	4,5	2,5	8	3
119	9	1	9	2.1	0,33	1,79	4,7	3,0	-	-	-	-	-	-	9	2
120	10	2	10	2.2	0,34	1,80	4,8	-	IV	2,9	2,0	-	-	-	10	1
121	11	3	11	2.3	0,35	1,81	4,9	-	-	-	-	1,5	-	-	11	10
122	12	4	12	2.4	0,36	1,82	5,0	-	-	-	-	-	5,0	3,0	12	9
123	1	5	13	2.1	0,37	1,83	2,0	3,5	-	-	-	-	-	-	13	8
124	2	6	14	2.2	0,38	1,84	2,1	-	V	3,3	1,75	-	-	-	14	7
125	3	7	15	2.3	0,39	1,85	2,2	-	-	-	-	2,0	-	-	1	6

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1:m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1:m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
111	19,0	15,0	12	5.1	II	6,0	1,5	пк			6.1	5,0	1,25	7.1	6,0	1,5	1,5	-	-
112	19,1	15,5	13	5.2	III	6,5	1,55–1,0	пс	4,0		6.1	5,5	1,30	7.2	6,5	1,5	1,5	160	-
113	19,2	16,0	14	5.3	IV	7,0	1,6–1,15	пм	1,5	4,0	6.2	6,0	1,35	7.3	7,0	2,0	2,0	-	-
114	19,3	16,5	15	5.1	V	7,5	1,65–1,2	ск			6.1	6,5	1,40	7.4	7,5	2,0	2,0	-	5,0
115	19,4	17,0	16	5.2	II	8,0	1,7–1,25	сл	5,0	-	6.1	7,0	1,45	7.1	8,0	2,5	2,5	-	-
116	19,5	17,5	17	5.3	III	8,5	1,75–1,3	ст	1,0	5,0	6.2	7,5	1,50	7.2	8,5	2,5	2,5	170	-
117	19,6	18,0	18	5.1	IV	9,0	1,8–1,35	сгл	-	-	6.1	8,0	1,55	7.3	9,0	3,0	3,0	-	-
118	19,7	18,5	19	5.2	V	9,5	1,85–1,4	сгт	5,5	-	6.1	5,0	1,60	7.4	9,5	3,0	3,0	-	7,0
119	19,8	19,0	20	5.3	II	10,0	1,9–1,45	пк	2,5	5,0	6.2	5,5	1,65	7.1	10,0	3,5	3,5	-	-
120	19,9	19,5	21	5.1	III	10,5	1,95–1,5	пс	-	-	6.1	6,0	1,70	7.2	6,0	1,5	1,5	180	-
121	20,0	20,0	22	5.2	IV	11,0	2,0–1,55	пм	6,0	-	6.1	6,5	1,75	7.3	6,5	1,5	1,5	-	-
122	20,1	20,5	23	5.3	V	11,5	1,5–1,0	ск	3,0	5,5	6.2	7,0	1,80	7.4	7,0	2,0	2,0	-	4,0
123	20,2	21,0	24	5.1	II	12,0	1,55–1,05	сл	-	-	6.1	7,5	1,85	7.1	7,5	2,0	2,0	-	-
124	20,3	21,5	25	5.2	III	6,0	1,6	ст	3,0	-	6.1	8,0	1,90	7.2	8,0	2,5	2,5	190	-
125	20,4	22,0	26	5.3	IV	6,5	1,65–1,2	сгл	1,5	3,5	6.2	5,0	1,95	7.3	8,5	2,5	2,5	-	-

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геологического разреза	№ стратиграфической колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп., МПа	$\rho_{ин}$, т/м ³	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
126	4	8	16	2.4	0,40	1,86	2,3	-	-	-	-	-	5,5	3,5	2	5
127	5	9	17	2.1	0,41	1,87	2,4	4,0	-	-	-	-	-	-	3	4
128	6	10	18	2.2	0,42	1,88	2,5	-	II	3,7	1,5	-	-	-	4	3
129	7	11	19	2.3	0,43	1,89	2,6	-	-	-	-	2,5	-	-	5	2
130	8	12	20	2.4	0,44	1,90	2,7	-	-	-	-	-	6,0	4,0	6	1
131	9	1	21	2.1	0,45	1,91	2,8	4,5	-	-	-	-	-	-	7	10
132	10	2	22	2.2	0,46	1,92	2,9	-	III	4,1	1,25	-	-	-	8	9
133	11	3	23	2.3	0,47	1,93	3,0	-	-	-	-	3,0	-	-	9	8
134	12	4	24	2.4	0,48	1,94	3,1	-	-	-	-	-	6,5	4,5	10	7
135	1	5	25	2.1	0,49	1,95	3,2	5,0	-	-	-	-	-	-	11	6
136	2	6	26	2.2	0,50	1,96	3,3	-	IV	4,5	1,0	-	-	-	12	5
137	3	7	27	2.3	0,51	1,97	3,4	-	-	-	-	3,5	-	-	13	4
138	4	8	28	2.4	0,52	1,98	3,5	-	-	-	-	-	7,0	5,0	14	3
138	5	9	29	2.1	0,53	1,99	3,6	5,5	-	-	-	-	-	-	1	2
140	6	10	30	2.2	0,54	2,00	3,7	-	V	4,9	2,0	-	-	-	2	1
141	7	11	31	2.3	0,55	1,70	3,8	-	-	-	-	4,0	-	-	3	10
142	8	12	32	2.4	0,56	1,71	3,9	-	-	-	-	-	7,5	5,5	4	9
143	9	1	33	2.1	0,57	1,72	4,0	6,0	-	-	-	-	-	-	5	8
144	10	2	34	2.2	0,58	1,73	4,1	-	II	5,3	1,75	-	-	-	6	7

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1 : m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1 : m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
126	20,5	15,0	27	5.1	V	7,0	1,7–1,25	сгг	-	-	6.1	5,5	2,0	7.4	9,0	3,0	1,5	-	6,0
127	19,0	15,5	28	5.2	II	7,5	1,75–1,3	пк	5,0	-	6.1	6,0	1,25	7.1	9,5	3,0	1,5	-	-
128	19,1	16,0	29	5.3	III	8,0	1,8–1,35	пс	2,0	5,5	6.2	6,5	1,30	7.2	10,0	3,5	2,0	200	-
129	19,2	16,5	30	5.1	IV	8,5	1,85–1,4	пм	-	-	6.1	7,0	1,35	7.3	6,0	1,5	2,0	-	-
130	19,3	17,0	12	5.2	V	9,0	1,9–1,45	ск	6,0	-	6.1	7,5	1,40	7.4	6,5	1,5	2,5	-	4,0
131	19,4	17,5	13	5.3	II	9,5	1,95–1,5	сл	1,5	6,0	6.2	8,0	1,45	7.1	7,0	2,0	2,5	-	-
132	19,5	18,0	14	5.1	III	10,0	2,0–1,55	ст	-	-	6.1	5,0	1,50	7.2	7,5	2,0	3,0	210	-
133	19,6	18,5	15	5.2	IV	10,5	1,5–1,0	сгл	5,0	-	6.1	7,5	1,55	7.3	8,0	2,5	3,0	-	-
134	19,7	19,0	16	5.3	V	11,0	1,55–1,05	сгг	3,5	6,0	6.2	8,0	1,60	7.4	8,5	2,5	3,5	-	7,5
135	19,8	19,5	17	5.1	II	11,5	1,6–1,15	пк	-	-	6.1	6,5	1,65	7.1	9,0	3,0	1,5	-	-
136	19,9	20,0	18	5.2	III	12,0	1,65–1,2	пс	6,0	-	6.1	8,0	1,70	7.2	9,5	3,0	1,5	160	-
137	20,0	20,5	19	5.3	IV	6,0	1,7	пм	1,5	3,5	6.2	7,5	1,75	7.3	10,0	3,5	2,0	-	-
138	20,1	21,0	20	5.1	V	6,5	1,75–1,3	ск	-	-	6.1	8,0	1,80	7.4	6,0	1,5	2,0	-	3,5
138	20,2	21,5	21	5.2	II	7,0	1,8–1,35	сл	4,5	-	6.1	5,0	1,85	7.1	6,5	1,5	2,5	-	-
140	20,3	22,0	22	5.3	III	7,5	1,85–1,4	ст	2,0	5,0	6.2	5,5	1,90	7.2	7,0	2,0	2,5	170	-
141	20,4	15,0	23	5.1	IV	8,0	1,9–1,45	сгл	-	-	6.1	6,0	1,95	7.3	7,5	2,0	3,0	-	-
142	20,5	15,5	24	5.2	V	8,5	1,95–1,5	сгг	5,5	-	6.1	6,5	1,25	7.4	8,0	2,5	3,0	-	6,5
143	19,0	16,0	25	5.3	II	9,0	2,0–1,55	пк	2,5	6,0	6.2	7,0	1,30	7.1	8,5	2,5	3,5	-	-
144	19,1	16,5	26	5.1	III	9,5	1,5–1,0	пс	-	-	6.1	7,5	1,35	7.2	9,0	3,0	1,5	180	-

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1:m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1:m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
261	19,2	17,0	27	5.2	IV	10,0	1,55–1,05	пм	7,5	-	6.1	8,0	2,0	7.3	9,5	3,0	1,5	-	-
262	19,3	17,5	28	5.3	V	10,5	1,6–1,15	ск	4,5	6,5	6.2	8,0	1,25	7.4	10,0	3,5	1,5	-	7,5
263	19,4	18,0	29	5.1	II	11,0	1,65–1,2	сл	-	-	6.1	5,5	1,30	7.1	6,0	1,5	2,0	-	-
264	19,5	18,5	30	5.2	III	11,5	1,7–1,25	ст	7,0	-	6.1	6,0	1,35	7.2	6,5	1,5	2,0	190	-
265	19,6	19,0	12	5.3	IV	12,0	1,75–1,3	сгл	4,0	6,0	6.2	8,5	1,40	7.3	7,0	2,0	2,5	-	-
266	19,7	19,5	13	5.1	V	6,0	1,8	сгт	-	-	6.1	7,0	1,45	7.4	7,5	2,0	2,5	-	4,5
267	19,8	20,0	14	5.2	II	6,5	1,85–1,4	пк	4,0	-	6.1	7,5	1,50	7.1	8,0	2,5	3,0	-	-
268	19,9	20,5	15	5.3	III	7,0	1,9–1,45	пс	1,5	4,5	6.2	8,0	1,55	7.2	8,5	2,5	3,0	200	-
269	20,0	21,0	16	5.1	IV	7,5	1,95–1,5	пм	-	-	6.1	5,0	1,60	7.3	9,0	3,0	3,5	-	-
270	20,1	21,5	17	5.2	V	8,0	2,0–1,55	ск	5,5	-	6.1	5,5	1,65	7.4	9,5	3,0	1,5	-	6,5
271	20,2	22,0	18	5.3	II	8,5	1,5–1,0	сл	2,0	5,5	6.2	6,0	1,70	7.1	10,0	3,5	1,5	-	-
272	20,3	15,0	19	5.1	III	9,0	1,55–1,05	ст	-	-	6.1	6,5	1,75	7.2	6,0	1,5	2,0	160	-
273	20,4	15,5	20	5.2	IV	9,5	1,6–1,15	сгл	6,0	-	6.1	7,0	1,80	7.3	6,5	1,5	2,0	-	-
274	20,5	16,0	21	5.3	V	10,0	1,65–1,2	сгт	3,5	5,5	6.2	7,5	1,85	7.4	7,0	2,0	2,5	-	5,0
275	19,0	16,5	22	5.1	II	10,5	1,7–1,25	пк	-	-	6.1	8,0	1,90	7.1	7,5	2,0	2,5	-	-

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геологического разреза	№ стратиграфической колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп., МПа	$\rho_{ин}$, т/м ³	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
276	2	6	50	2.2	0,38	1,89	2,6	-	II	2,8	2,0	-	-	-	8	1
277	3	7	51	2.3	0,39	1,90	2,7	-	-	-	-	1,0	-	-	9	2
278	4	8	52	2.4	0,40	1,91	2,8	-	-	-	-	-	10,0	8,0	10	3
279	5	9	53	2.1	0,41	1,92	2,9	2,5	-	-	-	-	-	-	11	4
280	6	10	54	2.2	0,42	1,93	3,0	-	III	3,2	1,75	-	-	-	12	5
281	7	11	55	2.3	0,43	1,94	3,1	-	-	-	-	1,5	-	-	13	6
282	8	12	56	2.4	0,44	1,95	3,2	-	-	-	-	-	10,5	2,0	14	7
283	9	1	57	2.1	0,45	1,96	3,3	3,0	-	-	-	-	-	-	1	8
284	10	2	1	2.2	0,46	1,97	3,4	-	IV	3,6	1,5	-	-	-	2	9
285	11	3	2	2.3	0,46	1,98	3,5	-	-	-	-	2,0	-	-	3	10
286	12	4	3	2.4	0,48	1,99	3,6	-	-	-	-	-	11,0	2,5	4	1
287	1	5	4	2.1	0,49	2,00	3,7	3,5	-	-	-	-	-	-	5	2
288	2	6	5	2.2	0,50	1,70	3,8	-	V	4,0	1,25	-	-	-	6	3
289	3	7	6	2.3	0,51	1,71	3,9	-	-	-	-	2,5	-	-	7	4
290	4	8	7	2.4	0,52	1,72	4,0	-	-	-	-	-	11,5	3,0	8	5
291	5	9	8	2.1	0,53	1,73	4,1	4,0	-	-	-	-	-	-	9	6
292	6	10	9	2.2	0,54	1,74	4,2	-	II	4,4	1,0	-	-	-	10	7
293	7	11	10	2.3	0,55	1,75	4,3	-	-	-	-	3,0	-	-	11	8
294	8	12	11	2.4	0,56	1,76	4,4	-	-	-	-	-	12,0	3,5	12	9

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	γ_w , кН/м ³	C_w , кН/м ²	φ_w , град.	№ задачи	Категория	H , м	$1 : m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1 : m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	$P_{0,2}$, кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
276	19,1	17,0	23	5.2	III	11,0	1,75–1,3	пк	6,5	-	6.1	5,0	1,95	7.2	8,0	2,5	1,5	170	-
277	19,2	17,5	24	5.3	IV	11,5	1,8–1,35	пс	2,5	5,5	6.2	7,5	2,0	7.3	8,5	2,5	1,5	-	-
278	19,3	18,0	25	5.1	V	12,0	1,85–1,4	пм	-	-	6.1	6,0	1,25	7.4	9,0	3,0	2,0	-	5,5
279	19,4	18,5	26	5.2	II	6,0	1,9	ск	3,5	-	6.1	6,5	1,30	7.1	9,5	3,0	2,0	-	-
280	19,5	19,0	27	5.3	III	6,5	1,95–1,5	сл	1,0	3,5	6.2	7,0	1,25	7.2	10,0	3,5	2,5	180	-
281	19,6	19,5	28	5.1	IV	7,0	2,0–1,55	ст	-	-	6.1	7,5	1,30	7.3	6,0	1,5	2,5	-	-
282	19,7	20,0	29	5.2	V	7,5	1,5–1,0	сгл	4,5	-	6.1	8,0	1,35	7.4	6,5	1,5	3,0	-	4,0
283	19,8	21,5	30	5.3	II	8,0	1,55–1,05	сгт	2,5	5,0	6.2	6,5	1,40	7.1	7,0	2,0	3,0	-	-
284	19,9	22,0	12	5.1	III	8,5	1,6–1,15	пк	-	-	6.1	5,5	1,45	7.2	7,5	2,0	3,5	190	-
285	20,0	15,0	13	5.2	IV	9,0	1,65–1,2	пс	5,5	-	6.1	6,0	1,50	7.3	8,0	2,5	1,5	-	-
286	20,1	15,5	14	5.3	V	9,5	1,7–1,25	пм	4,0	6,0	6.2	7,5	1,55	7.4	8,5	2,5	1,5	-	6,5
287	20,2	16,0	15	5.1	II	10,0	1,75–1,3	ск	-	-	6.1	7,0	1,60	7.1	9,0	3,0	2,0	-	-
288	20,3	16,5	16	5.2	III	10,5	1,8–1,35	сл	7,5	-	6.1	7,5	1,65	7.2	9,5	3,0	2,0	200	-
289	20,4	17,0	17	5.3	IV	11,0	1,85–1,4	ст	3,5	7,5	6.2	8,0	1,70	7.3	10,0	3,5	2,5	-	-
290	20,5	17,5	18	5.1	V	11,5	1,9–1,45	сгл	-	-	6.1	5,0	1,75	7.4	6,0	1,5	2,5	-	3,5
291	19,0	18,0	19	5.2	II	12,0	1,95–1,5	сгт	8,0	-	6.1	5,5	1,80	7.1	6,5	1,5	3,0	-	-
292	19,1	18,5	20	5.3	III	6,0	2,0	пк	0,5	3,5	6.2	6,0	1,85	7.2	7,0	2,0	3,0	210	-
293	19,2	19,0	21	5.1	IV	6,5	1,5–1,0	пс	-	-	6.1	6,5	1,25	7.3	7,5	2,0	3,5	-	-
294	19,3	19,5	22	5.2	V	7,0	1,55–1,05	пм	4,0	-	6.1	7,0	1,30	7.4	8,0	2,5	1,5	-	5,5

Таблица П1.5

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геолог. разреза	№ стратиграф. колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп. МПа	$\rho_{ин}$, т/м ³	$h_{загл.}$ м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
331	9	1	12	2.1	0,57	1,77	4,5	4,5	-	-	-	-	-	-	13	10
332	10	2	13	2.2	0,58	1,78	4,6	-	III	4,8	2,0	-	-	-	14	1
333	11	3	14	2.3	0,59	1,79	4,7	-	-	-	-	3,5	-	-	1	2
334	12	4	15	2.4	0,60	1,80	4,8	-	-	-	-	-	4,5	4,0	2	3
335	1	5	16	2.1	0,25	1,81	4,9	5,0	-	-	-	-	-	-	3	4
336	2	6	17	2.2	0,26	1,82	5,0	-	IV	5,2	1,75	-	-	-	4	5
337	3	7	18	2.3	0,27	1,83	2,0	-	-	-	-	4,0	-	-	5	6
338	4	8	19	2.4	0,28	1,84	2,1	-	-	-	-	-	5,0	2,0	6	7
339	5	9	20	2.1	0,29	1,85	2,2	5,5	-	-	-	-	-	-	7	8
340	6	10	21	2.2	0,30	1,86	2,3	-	V	5,6	1,5	-	-	-	8	9
341	7	11	22	2.3	0,31	1,87	2,4	-	-	-	-	4,5	-	-	9	10
342	8	12	23	2.4	0,32	1,88	2,5	-	-	-	-	-	5,5	2,5	10	1
343	9	1	24	2.1	0,33	1,89	2,6	6,0	-	-	-	-	-	-	11	2
344	10	2	25	2.2	0,34	1,90	2,7	-	II	6,0	1,25	-	-	-	12	3
345	11	3	26	2.3	0,35	1,91	2,8	-	-	-	-	5,0	-	-	13	4

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1 : m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1 : m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
331	19,4	20,0	23	5.3	II	7,5	1,6–1,15	ск	2,0	5,0	6.2	7,5	1,25	7.1	8,5	2,5	1,5	-	-
332	19,5	20,5	24	5.1	III	8,0	1,65–1,2	сл	-	-	6.1	8,0	1,30	7.2	9,0	3,0	1,5	160	-
333	19,6	21,0	25	5.2	IV	8,5	1,7–1,25	ст	5,5	-	6.1	5,0	1,35	7.3	9,5	3,0	2,0	-	-
334	19,7	21,5	26	5.3	V	9,0	1,75–1,3	сгл	2,5	5,5	6.2	6,5	1,40	7.4	10,0	3,5	2,0	-	7,5
335	19,8	22,0	27	5.1	II	9,5	1,8–1,35	сгт	-	-	6.1	6,0	1,45	7.1	6,0	1,5	2,5	-	-
336	19,9	15,0	28	5.2	III	10,0	1,85–1,4	пк	6,5	-	6.1	6,5	1,50	7.2	6,5	1,5	2,5	170	-
337	20,0	15,5	29	5.3	IV	10,5	1,9–1,45	пс	3,5	5,0	6.2	7,0	1,55	7.3	7,0	2,0	3,0	-	-
338	20,1	16,0	30	5.1	V	11,0	1,95–1,5	пм	-	-	6.1	7,5	1,60	7.4	7,5	2,0	3,0	-	4,5
339	20,2	16,5	12	5.2	II	11,5	2,0–1,55	ск	7,0	-	6.1	8,0	1,65	7.1	8,0	2,5	3,5	-	-
340	20,3	17,0	13	5.3	III	12,0	1,5–1,0	сл	4,0	7,0	6.2	8,0	1,70	7.2	8,5	2,5	1,5	180	-
341	20,4	17,5	14	5.1	IV	6,0	1,55	ст	-	-	6.1	5,5	1,75	7.3	9,0	3,0	1,5	-	-
342	20,5	18,0	15	5.2	V	6,5	1,6–1,15	сгл	4,5	-	6.1	6,0	1,80	7.4	9,5	3,0	2,0	-	6,5
343	19,0	18,5	16	5.3	II	7,0	1,65–1,2	сгт	1,5	4,5	6.2	6,5	1,85	7.1	10,0	3,5	2,0	-	-
344	19,1	19,0	17	5.1	III	7,5	1,7–1,25	пк	-	-	6.1	7,0	1,90	7.2	6,0	1,5	2,5	190	-
345	19,2	19,5	18	5.2	IV	8,0	1,75–1,3	пс	5,0	-	6.1	7,5	1,95	7.3	6,5	1,5	2,5	-	-

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геолог. разреза	№ стратиграф. колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп. МПа	$\rho_{ин}$ т/м ³	$h_{загл.}$ м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
346	12	4	27	2.1	0,36	1,92	2,9	6,5	-	-	-	-	-	-	14	5
347	1	5	28	2.2	0,37	1,93	3,0	-	III	2,2	2,0	-	-	-	1	6
348	2	6	29	2.3	0,38	1,94	3,1	-	-	-	-	5,5	-	-	2	7
349	3	7	30	2.4	0,39	1,95	3,2	-	-	-	-	-	6,0	3,0	3	8
350	4	8	31	2.1	0,40	1,96	3,3	7,0	-	-	-	-	-	-	4	9
351	5	9	32	2.2	0,41	1,97	3,4	-	IV	2,6	1,75	-	-	-	5	10
352	6	10	33	2.3	0,42	1,98	3,5	-	-	-	-	6,0	-	-	6	1
353	7	11	34	2.4	0,43	1,99	3,6	-	-	-	-	-	6,5	3,5	7	2
354	8	12	35	2.1	0,44	2,00	3,7	7,5	-	-	-	-	-	-	8	3
355	9	1	36	2.2	0,45	1,70	3,8	-	V	3,0	1,5	-	-	-	9	4
356	10	2	37	2.3	0,46	1,71	3,9	-	-	-	-	1,5	-	-	10	5
357	11	3	38	2.4	0,47	1,72	4,0	-	-	-	-	-	7,0	4,0	11	6
358	12	4	39	2.1	0,48	1,73	4,1	8,0	-	-	-	-	-	-	12	7
359	1	5	40	2.2	0,49	1,74	4,2	-	II	3,4	1,25	-	-	-	13	8
360	2	6	41	2.3	0,50	1,75	4,3	-	-	-	-	2,0	-	-	14	9
361	3	7	42	2.4	0,51	1,76	4,4	-	-	-	-	-	7,5	4,5	1	10
362	4	8	43	2.1	0,52	1,77	4,5	3,0	-	-	-	-	-	-	2	1
363	5	9	44	2.2	0,53	1,78	4,6	-	III	3,8	1,0	-	-	-	3	2
364	6	10	45	2.3	0,54	1,79	4,7	-	-	-	-	2,5	-	-	4	3

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1 : m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1 : m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
346	19,3	20,0	19	5.3	V	8,5	1,8–1,35	пм	2,0	6,0	6.2	8,0	2,0	7.4	7,0	2,0	1,5	-	3,5
347	19,4	20,5	20	5.1	II	9,0	1,85–1,4	ск	-	-	6.1	5,0	1,25	7.1	7,5	2,0	1,5	-	-
348	19,5	21,0	21	5.2	III	9,5	1,9–1,45	сл	6,0	-	6.1	5,5	1,30	7.2	8,0	2,5	2,0	200	-
349	19,6	21,5	22	5.3	IV	10,0	1,95–1,5	ст	1,5	4,5	6.2	6,0	1,35	7.3	8,5	2,5	2,0	-	-
350	19,7	22,0	23	5.1	V	10,5	2,0–1,55	сгл	-	-	6.1	6,5	1,40	7.4	9,0	3,0	2,5	-	6,0
351	19,8	15,0	24	5.2	II	11,0	1,5–1,0	сгг	7,5	-	6.1	7,0	1,45	7.1	9,5	3,0	2,5	-	-
352	19,9	15,5	25	5.3	III	11,5	1,55–1,05	пк	2,0	7,0	6.2	7,5	1,50	7.2	10,0	3,5	3,0	210	-
353	20,0	16,0	26	5.1	IV	12,0	1,6–1,15	пс	-	-	6.1	8,0	1,55	7.3	6,0	1,5	3,0	-	-
354	20,1	16,5	27	5.2	V	6,0	1,65	пм	4,5	-	6.1	5,0	1,60	7.4	6,5	1,5	3,5	-	3,0
355	20,2	17,0	28	5.3	II	6,5	1,7–1,25	ск	1,5	3,5	6.2	5,5	1,65	7.1	7,0	2,0	1,5	-	-
356	20,3	17,5	29	5.1	III	7,0	1,75–1,3	сл	-	-	6.1	6,0	1,70	7.2	7,5	2,0	1,5	160	-
357	20,4	18,0	30	5.2	IV	7,5	1,8–1,35	ст	6,0	-	6.1	6,5	1,75	7.3	8,0	2,5	2,0	-	-
358	20,5	18,5	12	5.3	V	8,0	1,85–1,4	сгл	2,5	5,5	6.2	7,0	1,80	7.4	8,5	2,5	2,0	-	6,0
359	19,0	19,0	13	5.1	II	8,5	1,9–1,45	сгг	-	-	6.1	7,5	1,85	7.1	9,0	3,0	2,5	-	-
360	19,1	19,5	14	5.2	III	9,0	1,95–1,5	пк	6,5	-	6.1	8,0	1,90	7.2	9,5	3,0	2,5	170	-
361	19,2	20,0	15	5.3	IV	9,5	2,0–1,55	пс	3,5	5,0	6.2	7,0	1,25	7.3	10,0	3,5	3,0	-	-
362	19,3	20,5	16	5.1	V	10,0	1,5–1,0	пм	-	-	6.1	5,5	1,30	7.4	6,0	1,5	3,0	-	3,5
363	19,4	21,0	17	5.2	II	10,5	1,55–1,05	ск	7,0	-	6.1	6,0	1,35	7.1	6,5	1,5	3,5	-	-
364	19,5	21,5	18	5.3	III	11,0	1,6–1,15	сл	3,5	6,5	6.2	8,5	1,40	7.2	7,0	2,0	1,5	180	-

Вариант	Раздел 1			Раздел 2 (по задачам)											Раздел 3	Раздел 4
	№ геологического разреза	№ стратиграф. колон.	№ комбинации слоев	№ задачи	Общие данные			Задача 2.1	Задача 2.2			Задача 2.3	Задача 2.4		№ задания (прил. 5)	№ задания (прил. 6)
					P_0 сооп, МПа	$\rho_{w,3}$ т/м ³	$h_{загл.}$ м	$2b$, м	Категория	H , м	$1:m$	d , м	L , м	B , м		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
421	7	11	46	2.4	0,55	1,80	4,8	-	-	-	-	-	8,0	5,0	5	4
422	8	12	47	2.1	0,56	1,81	4,9	3,5	-	-	-	-	-	-	6	5
423	9	1	48	2.2	0,57	1,82	5,0	-	IV	4,2	2,0	-	-	-	7	6
424	10	2	49	2.3	0,58	1,83	2,0	-	-	-	-	3,0	-	-	8	7
425	11	3	50	2.4	0,59	1,84	2,1	-	-	-	-	-	8,5	5,5	9	8
426	12	4	51	2.1	0,60	1,85	2,2	4,0	-	-	-	-	-	-	10	9
427	1	5	52	2.2	0,25	1,86	2,3	-	V	4,6	1,75	-	-	-	11	10
428	2	6	53	2.3	0,26	1,87	2,4	-	-	-	-	3,5	-	-	12	1
429	3	7	54	2.4	0,27	1,88	2,5	-	-	-	-	-	9,0	6,0	13	2
430	4	8	55	2.1	0,28	1,89	2,6	4,5	-	-	-	-	-	-	14	3
431	5	9	56	2.2	0,29	1,90	2,7	-	II	5,0	1,5	-	-	-	1	4
432	6	10	57	2.3	0,30	1,91	2,8	-	-	-	-	4,0	-	-	2	5
433	7	11	1	2.4	0,31	1,92	2,9	-	-	-	-	-	9,5	6,5	3	6
434	8	12	2	2.1	0,32	1,93	3,0	5,0	-	-	-	-	-	-	4	7
435	9	1	3	2.2	0,33	1,94	3,1	-	III	5,4	1,25	-	-	-	5	8

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	γ_w , кН/м ³	C_w , кН/м ²	φ_w , град.	№ задачи	Категория	H , м	$1 : m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1 : m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	P_0 , кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
421	19,6	22,0	19	5.1	IV	11,5	1,65–1,2	ст	-	-	6.1	7,0	2,0	7.3	7,5	2,0	1,5	-	-
422	19,7	15,0	20	5.2	V	12,0	1,7–1,25	сгл	7,5	-	6.1	7,5	1,25	7.4	8,0	2,5	1,5	-	6,5
423	19,8	15,5	21	5.3	II	6,0	1,75	сгт	0,5	3,5	6.2	8,0	1,30	7.1	8,5	2,5	2,0	-	-
424	19,9	16,0	22	5.1	III	6,5	1,8–1,35	пк	-	-	6.1	5,0	1,35	7.2	9,0	3,0	2,0	190	-
425	20,0	16,5	23	5.2	IV	7,0	1,85–1,4	пс	4,0	-	6.1	5,5	1,40	7.3	9,5	3,0	2,5	-	-
426	20,1	17,0	24	5.3	V	7,5	1,9–1,45	пм	1,5	4,5	6.2	6,0	1,45	7.4	10,0	3,5	2,5	-	7,5
427	20,2	17,5	25	5.1	II	8,0	1,95–1,5	ск	-	-	6.1	6,5	1,50	7.1	6,0	1,5	3,0	-	-
428	20,3	18,0	26	5.2	III	8,5	2,0–1,55	сл	6,5	-	6.1	7,0	1,55	7.2	6,5	1,5	3,0	200	-
429	20,4	18,5	27	5.3	IV	9,0	1,5–1,0	ст	1,5	6,0	6.2	7,5	1,60	7.3	7,0	2,0	3,5	-	-
430	20,5	19,0	28	5.1	V	9,5	1,55–1,05	сгл	-	-	6.1	8,0	1,65	7.4	7,5	2,0	1,5	-	5,0
431	19,0	19,5	29	5.2	II	10,0	1,6–1,15	сгт	6,0	-	6.1	5,0	1,70	7.1	8,0	2,5	1,5	-	-
432	19,1	20,0	30	5.3	III	10,5	1,65–1,2	пк	3,0	5,5	6.2	7,5	1,75	7.2	8,5	2,5	2,0	210	-
433	19,2	20,5	12	5.1	IV	11,0	1,7–1,25	пс	-	-	6.1	6,0	1,80	7.3	9,0	3,0	2,0	-	-
434	19,3	21,0	13	5.2	V	11,5	1,75–1,3	пм	7,5	-	6.1	6,5	1,85	7.4	9,5	3,0	2,5	-	6,0
435	19,4	21,5	14	5.3	II	12,0	1,8–1,35	ск	1,5	6,5	6.2	7,0	1,90	7.1	10,0	3,5	2,5	-	-

Вариант	Общие данные			Раздел 5				Общие данные для разделов 5 и 6			Раздел 6			Раздел 7					
	$\gamma_{ш}$, кН/м ³	$C_{ш}$, кН/м ²	$\varphi_{ш}$, град.	№ задачи	Категория	H , м	$1:m$	Тип грунта	ГВ, м	ГВВ, м	№ задачи	H , м	$1:m$	№ задачи	H , м	$h_{загл.}$, м	$2b$, м	$P_{0,}$, кН/м ²	УВ, м
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
436	19,5	22,0	15	5.1	III	6,0	1,85	сл	-	-	6.1	7,5	1,95	7.2	6,0	1,5	1,5	160	-
437	19,6	15,0	16	5.2	IV	6,5	1,9–1,45	ст	4,5	-	6.1	8,0	2,0	7.3	6,5	1,5	1,5	-	-
438	19,7	15,5	17	5.3	V	7,0	1,95–1,5	сгл	0,5	3,5	6.2	5,0	1,25	7.4	7,0	2,0	2,0	-	3,5
439	19,8	16,0	18	5.1	II	7,5	2,0–1,55	сгт	-	-	6.1	5,5	1,30	7.1	7,5	2,0	2,0	-	-
440	19,9	16,5	19	5.2	III	8,0	1,5–1,0	пк	5,5	-	6.1	6,0	1,35	7.2	8,0	2,5	2,5	170	-
441	20,0	17,0	20	5.3	IV	8,5	1,55–1,05	пс	1,0	5,0	6.2	6,5	1,40	7.3	8,5	2,5	2,5	-	-
442	20,1	17,5	21	5.1	V	9,0	1,6–1,15	пм	-	-	6.1	7,0	1,45	7.4	9,0	3,0	3,0	-	6,5
443	20,2	18,0	22	5.2	II	9,5	1,65–1,2	ск	6,0	-	6.1	7,5	1,50	7.1	9,5	3,0	3,0	-	-
444	20,3	18,5	23	5.3	III	10,0	1,7–1,25	сл	2,0	5,5	6.2	8,0	1,55	7.2	10,0	3,5	3,5	180	-
445	20,4	19,0	24	5.1	IV	10,5	1,75–1,3	ст	-	-	6.1	5,0	1,60	7.3	6,0	1,5	1,5	-	-
446	20,5	19,5	25	5.2	V	11,0	1,8–1,35	сгл	6,0	-	6.1	5,5	1,65	7.4	6,5	1,5	1,5	-	4,0
447	19,0	20,0	26	5.3	II	11,5	1,85–1,4	сгт	1,5	4,0	6.2	6,0	1,70	7.1	7,0	2,0	2,0	-	-
448	19,1	20,5	27	5.1	III	12,0	1,9–1,45	пк	-	-	6.1	6,5	1,75	7.2	7,5	2,0	2,0	190	-
449	19,2	21,0	28	5.2	IV	6,0	1,95	пс	3,5	-	6.1	7,0	1,80	7.3	8,0	2,5	2,5	-	-
450	19,3	21,5	29	5.3	V	6,5	2,0–1,55	пм	1,0	3,5	6.2	7,5	1,85	7.4	8,5	2,5	2,5	-	5,5
451	19,4	22,0	30	5.1	II	7,0	1,5–1,0	ск	-	-	6.1	8,0	1,90	7.1	9,0	3,0	3,0	-	-
452	19,5	15,0	12	5.2	III	7,5	1,55–1,05	сл	4,0	-	6.1	5,0	1,25	7.2	9,5	3,0	3,0	200	-
453	19,6	15,5	13	5.3	IV	8,0	1,6–1,15	ст	2,5	5,0	6.2	7,5	1,30	7.3	10,0	3,5	3,5	-	-
454	19,7	16,0	14	5.1	V	8,5	1,65–1,2	сгл	-	-		6,0	1,35	7.4	6,0	1,5	1,5	-	3,0

ПРИМЕЧАНИЕ

к прил. 1

Раздел 1

1. Номер геологического разреза (1–12) – разрез принимают по рис. 1.1.
2. Номер стратиграфической колонки (1–12) – описание геологических скважин принимают по прил. 2.
3. Номер комбинации слоев (1–57) – принимают по прил. 3. Характеристику грунтов в слоях принимают по прил. 4.

Раздел 2

(подразделы 2.1, 2.2, 2.3, 2.4)

Общие данные для четырех подразделов

1. Давление сооружения $P_{\text{соор}}$, МПа (0,25–0,60).
2. Плотность грунта $\rho_{\text{в}}$, т/м³ (1,7–2,0).
3. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м (2,0–5,0).

Подраздел 2.1

4. Ширина фундамента $2b$, м (2–8).

Подраздел 2.2

5. Категория дороги (II–V).
6. Высота насыпи H , м (2–6).
7. Заложение откоса $1 : m$ (1 : 1–1 : 2).

Подраздел 2.3

8. Диаметр круглой опоры d , м (0,5–6,0).

Подраздел 2.4

9. Длина прямоугольной опоры L , м (4,0–12,0).
10. Ширина прямоугольной опоры B , м (2,0–8,0).

Раздел 3

(подразделы 3.1, 3.2, 3.3, 3.4)

Подраздел 3.1

1. Давление сооружения $P_{\text{соор}}$, МПа (0,2–0,3).
2. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м (2,0–3,0).
3. Плотность грунта в начальном состоянии $\rho_{\text{нач}}$, т/м³ (2,65–2,75).
4. Плотность грунта в конечном состоянии $\rho_{\text{кон}}$, т/м³ (2,0–2,1).

5. Влажность грунта W , доли единицы (0,30–0,32).
6. Коэффициент фильтрации грунта K_f , см/год (0,58–0,63)
7. Модуль осадки e , мм/м (20).
8. Мощность слоя суглинка H , см (700–750).

Подраздел 3.2

9. Мощность слоя суглинка H , см (140–160).

Результаты лабораторных испытаний

10. Высота лабораторного образца грунта h , см (3).
11. Влажность грунта образца до испытания W_n , % (26–28).
12. Влажность грунта образца после испытания W_k , % (21–23).
13. Время полной консолидации образца грунта $T_{стаб}$, ч (5–6).

Подраздел 3.3

14. Мощность суглинка H_1 , м (0,5–0,8).
15. Плотность суглинка ρ_w^c , т/м³ (2,08–2,20).
16. Мощность песка H_2 , м (2,5–3,1).
17. Плотность песка $\rho_w^п$, т/м³ (1,8–1,9).
18. Ширина полосообразной нагрузки $2b$, м (6–8).
19. Давление полосообразной нагрузки P_0 , кг/см² (2–3,5).

Подраздел 3.4

20. Мощность суглинка первого слоя H_1 , м (1,2–2,1).
21. Мощность суглинка второго слоя H_2 , м (2,1–2,7).

Результаты лабораторных испытаний

22. Высота образца h , см (3).
23. Время стабилизации суглинка первого слоя t_1 , ч (6,0–8,4).
24. Модуль осадки суглинка первого слоя $e_{p,1}$, мм/м (15–20).
25. Время стабилизации суглинка второго слоя t_1 , ч (19–25).
26. Модуль осадки суглинка второго слоя $e_{p,1}$, мм/м (8–14).

Раздел 4

1. Нормальное давление P , МПа (0,1–0,3).
2. Влажность после сдвига грунта W , % (18–34).
3. Сопrotивляемость грунта сдвигу S_p , МПа (0,08–0,16).

Раздел 5

(подразделы 5.1, 5.2, 5.3)

Общие данные для подразделов 5.1, 5.2, 5.3, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4

1. Удельный вес грунта $\gamma_{вс}$, кН/м³ (19,0–20,3).
2. Сцепление $C_{вс}$, кН/м² (15–22).
3. Угол внутреннего трения грунта $\varphi_{вс}$, град. (12–30).

Общие данные для подразделов 5.1, 5.2, 5.3

4. Категория дороги (II–V).
5. Высота откоса H , м (6,0–12,0).
6. Крутизна откоса 1 : m (1 : 2–1 : 1).

Подраздел 5.2

7. Уровень горизонта вод ГВ, м (0,5–8,0).

Подраздел 5.3

8. Уровень горизонта верхних вод ГВВ, м (3,5–7,5).
9. Уровень горизонта вод ГВ, (0,5–8,0).
10. Тип грунта:
пк – песок крупный;
пс – песок средний;
пм – песок мелкий;
ск – супесь легкая крупная;
сл – супесь легкая;
ст – супесь тяжелая;
сгл – суглинок легкий;
сгт – суглинок тяжелый.

Раздел 6

(подразделы 6.1, 6.2)

Общие данные по характеристике грунтов для подразделов 6.1, 6.2

1. Глубина выемки H , м (5,0–8,5) (подраздел 6.1), высота насыпи H , м (5,0–8,5) (подраздел 6.2).
2. Заложение откоса выемки 1 : m (1 : 1,25–1 : 2).
3. Среднее значение удельного веса грунта $\gamma_{вс}$, кН/м³ (столбец 17).
4. Среднее значение сцепления $C_{вс}$, кН/м² (столбец 18).
5. Среднее значение угла внутреннего трения грунта $\varphi_{вс}$, град. (столбец 19).

Подраздел 6.2

6. Уровень горизонта верхних вод ГВВ, м (столбец 26).
7. Уровень горизонта вод ГВ, (столбец 25).

8. Тип грунта (см. выше, п.10 раздела 5 – расшифровки параметров).

Раздел 7

(в разделе четыре задачи: 7.1; 7.2; 7.3; 7.4)

Общие данные по характеристике грунтов помещены в разделе 5.

Данные для подразделов 7.1; 7.2; 7.3; 7.4

1. Высота подпорной стенки H , м (6–10).
2. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$, м (1,5–3,5).
3. Ширина подпорной стенки понизу $2b$, м (1,5–3,5).

Подраздел 7.2

4. Равномерно распределенная нагрузка P_0 , кН/м² (160–210).

Подраздел 7.4

5. Уровень воды УВ, м (3,0–7,5).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Описание геологических скважин

№	№	Геологический	Описание пород	Глубина залегания
---	---	---------------	----------------	-------------------

скважины	слоя	индекс		от	до
1	2	3	4	5	6
1	1	Q_{111}	Песок желтый мелкозернистый	0,0	1,2
	2	...	Супесь красно-бурая, валунная	1,2	16,7
	3	...	Суглинок бурый	16,7	26,8
	4	...	Мел серовато-белый обводненный	26,8	40,2
	5	...	Известняк серый	40,2	64,0
2	1	M_1	Глина красно-бурая, валунная	0,0	2,5
	2	...	Суглинок красный	2,5	14,9
	3	...	Гравий крупный с галькой	14,9	21,8
	4	...	Известняк серый с глиной	21,8	36,6
	5	...	Гранит розовый	36,6	74,0
3	1	N_2	Суглинок желто-бурый, валунный	0,0	3,5
	2	...	Известняк доломитовый, трещиноватый	3,5	10,5
	3	...	Гравий глинистый, водоносный	10,5	18,6
	4	...	Мел серовато-белый	18,6	35,5
	5	...	Гранит серый	35,5	67,8
4	1	Q_{11}	Торф	0,0	2,8
	2	...	Песок мелкозернистый, кварцевый, темно-серый	2,8	30,7
	3	...	Суглинок бурый, валунный	30,7	45,5
	4	...	Мел серовато-белый с гнездами песка	45,5	67,9
	5	...	Мергель с включениями кремния	67,9	80,5
5	1	N_1	Глина бурая, плотная, жирная	0,0	4,0
	2	...	Мел серый плотный	4,0	24,0
	3	...	Известняк мергелистый, серый	24,0	44,4
	4	...	Доломит	44,4	62,4
	5	...	Гранит серый	62,4	88,8
6	1	N_2	Торф, водоносный	0,0	2,3
	2	...	Глина бурая, плотная, жирная	2,3	12,5
	3	...	Песок с гравием, темно-серый	12,5	32,1
	4	...	Мел серый, трещиноватый	32,1	54,6
	5	...	Доломит с галькой	54,6	73,3
7	1	Q_{111}	Песок крупнозернистый с гравием	0,0	14,4
	2	...	Супесь пылеватая, гравелистая	14,4	44,1
	3	...	Суглинок с галькой, бурый	44,1	55,2
	4	...	Доломит	55,2	64,1
	5	...	Гранит серый	64,1	70,0

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
8	1	N_1	Песок средний однородный, желтый	0,0	12,4

	2	...	Супесь легкая крупная, с гравием	12,4	32,1
	3	...	Глина плотная бурая, песчанистая	32,1	44,0
	4	...	Мергель	44,0	52,2
	5	...	Известняк мергелистый, серый	52,2	61,1
	9	1	N_2	Песок мелкий однородный, желтый	0,0
9	2	...	Супесь тяжелая пылеватая	10,0	21,0
	3	...	Суглинок тяжелый пылеватый	21,0	34,4
	4	...	Мел серый с гнездами песка	34,4	55,1
	5	...	Известняк плотный, доломитовый	55,1	66,3
	10	1	Q	Супесь крупная легкая с галькой	0,0
10	2	...	Супесь тяжелая пылеватая валунная	9,5	22,1
	3	...	Глина с гравием, бурая	22,1	30,0
	4	...	Мел серый, плотный	30,0	45,5
	5	...	Мергель	45,5	64,0
	11	1	N_1	Супесь пылеватая с гравием	0,0
11	2	...	Глина песчанистая, с валунами	8,7	21,0
	3	...	Мергель	21,0	33,4
	4	...	Известняк доломитовый, трещиноватый	33,4	45,6
	5	...	Доломит	45,6	55,5
	12	1	N_2	Супесь тяжелая пылеватая, валунная	0,0
12	2	...	Глина жирная, бурая	6,4	12,7
	3	...	Мел серый плотный	12,7	23,5
	4	...	Мергель	23,5	30,0
	5	...	Гранит серый	30,0	55,7

Из прил. 3 выписывают номера слоев и ставят их в строку «слой № ___». Затем в столбцы 2, 4, 6, 8 и 10 записывают результаты гранулометрического состава грунта из результатов инженерно-геологических изысканий (прил. 4), соответствующих выписанным номерам слоев.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Номера комбинации слоев
(исходные данные по разделу 1)

№ комбинации слоев	№ слоя из прил. 4	№ комбинации слоев	№ слоя из прил. 4	№ комбинации слоев	№ слоя из прил. 4
1	1-11-2-21-29	20	19-10-20-24-30	39	15-6-18-27-31
2	12-3-13-22-30	21	1-11-2-25-31	40	7-16-1-28-32
3	4-14-5-23-31	22	12-3-13-26-32	41	17-2-11-21-33
4	15-6-16-24-32	23	4-14-5-27-33	42	3-12-8-22-34
5	7-17-8-25-33	24	6-15-7-28-34	43	13-6-17-23-29
6	18-9-19-26-34	25	16-8-17-21-29	44	8-18-10-24-30
7	10-20-1-27-29	26	9-18-10-22-30	45	19-9-20-25-31
8	11-2-12-28-30	27	19-1-20-23-31	46	10-11-1-26-32
9	3-13-4-21-31	28	2-11-3-24-32	47	12-2-13-27-33
10	14-5-15-22-32	29	12-4-13-25-33	48	3-14-7-28-34
11	6-16-7-23-33	30	5-14-6-26-34	49	15-4-19-21-30
12	17-8-18-24-34	31	15-7-16-27-29	50	5-14-8-22-33
13	9-19-10-25-29	32	8-17-9-28-30	51	6-15-9-23-34
14	20-1-11-26-30	33	18-10-19-21-31	52	1-13-7-25-29
15	2-12-3-27-31	34	1-20-10-22-32	53	2-14-8-26-30
16	13-4-14-28-32	35	11-2-20-23-33	54	3-15-9-27-31
17	5-15-6-21-33	36	3-12-9-24-34	55	4-16-10-28-32
18	16-7-17-22-34	37	13-4-19-25-29	56	17-5-11-21-33
19	8-18-9-23-29	38	5-14-8-26-30	57	8-19-10-22-34

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Результаты инженерно-геологических изысканий грунтов (исходные данные по разделу 1)

№ п/п	Вид грунта, определенный косвенными методами в полевых условиях	Результаты лабораторных исследований													
		Свойства грунтов						Гранулометрический состав							
		Влажность, %			Плотность		Коэф. сжимае- мости грунта, МПа ⁻¹	10-2	2-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	менее 0,005
		при- род- ная	на границе текучес- ти	на границе раскаты вания	грунта	частиц грунта									
<i>W</i>	<i>W_L</i>	<i>W_p</i>	ρ	ρ_s	<i>a</i>										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Песок гравелистый	4	-	-	2,10	2,64	0,083	20,8	16,8	35,3	21,0	1,8	2,6	1,7	
2	Песок гравелистый водонас.	4	-	-	2,00	2,62	0,076	3,5	16,5	37,0	25,0	8,8	3,5	5,7	
3	Песок крупный с гравием	6	-	-	1,95	2,52	0,071	8,5	21,3	39,4	27,6	2,7	0,4	0,1	
4	Песок крупный маловлажный	6	-	-	1,90	2,43	0,068	5,2	8,4	42,4	37,2	2,3	2,1	2,4	
5	Песок средний водонасыщенный	22	-	-	1,82	2,50	0,085	4,8	9,3	37,7	43,1	1,9	0,2	3,0	
6	Песок средний влажный	8	-	-	1,92	2,55	0,095	5,5	12,8	28,8	35,4	7,7	7,1	2,7	
7	Песок средний маловлажный	7	-	-	1,94	2,65	0,101	5,1	24,1	33,8	24,5	7,4	2,0	3,1	
8	Песок мелкий влажный	16	-	-	1,68	2,48	0,066	-	13,1	28,6	41,1	9,9	1,9	2,6	2,8
9	Песок мелкий с гравием	8	-	-	1,73	2,66	0,075	4,6	7,6	26,9	44,3	9,7	2,1	2,3	2,5
10	Песок пылеватый	5	-	-	1,65	2,52	0,087	-	12,1	29,8	43,2	10,2	1,0	1,8	1,9
11	Супесь легкая крупная	8	10	9	2,06	2,52	0,115	2,1	8,7	23,3	28,9	12,3	7,7	8,2	8,8
12	Супесь легкая крупная с гравием	12	15	13	2,14	2,58	0,125	7,7	13,1	13,2	33,1	11,1	6,8	7,4	7,6
13	Супесь легкая гравелистая	9	12	10	2,24	2,67	0,130	6,8	12,4	22,3	28,3	12,2	5,5	6,0	6,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14	Супесь легкая с гравием	13	18	14	2,00	2,62	0,105	4,7	9,6	25,3	30,4	10,0	6,1	6,6	7,3
15	Супесь пылеватая гравелистая	14	21	16	1,95	2,72	0,110	6,8	8,5	32,2	25,7	9,9	5,2	5,8	5,9
16	Супесь пылеватая	10	16	12	1,90	2,68	0,100	-	11,9	33,3	27,7	8,7	5,9	6,2	6,3
17	Супесь пылеватая с дресвой	9	15	10	1,98	2,70	0,105	5,5	7,6	34,1	21,4	10,1	6,8	7,1	7,4
18	Супесь тяжелая пылеватая	11	20	13	1,95	2,71	0,118	-	12,4	35,2	19,6	14,1	5,7	6,3	6,7
19	Супесь тяжелая пылеватая с гравием	8	19	12	1,97	2,74	0,120	2,3	5,9	31,3	24,9	12,0	6,6	8,4	8,6
20	Супесь тяжелая пылеватая дресвянная	10	18	11	2,00	2,72	0,125	8,7	11,7	24,1	19,0	12,7	5,6	8,7	9,5
21	Суглинок легкий гравелистый	12	23	13	1,99	2,74	0,090	9,6	11,2	9,3	14,1	14,5	10,1	14,7	16,5
22	Суглинок легкий с гравием	16	26	18	1,98	2,73	0,086	9,3	12,3	15,3	20,3	10,6	7,4	12,0	12,8
23	Суглинок легкий пылеватый с гравием	14	30	15	1,96	2,69	0,088	8,5	9,9	20,1	20,1	10,9	7,7	11,1	11,7
24	Суглинок легкий пылеватый	17	28	18	1,96	2,68	0,074	7,4	10,0	14,9	21,4	12,2	8,9	12,3	12,9
25	Суглинок тяжелый гравелистый	13	31	14	2,11	2,74	0,085	8,3	10,1	10,4	18,3	13,1	10,1	15,5	14,2
26	Суглинок тяжелый	18	35	20	2,09	2,72	0,075	7,9	8,9	15,0	22,3	12,7	8,8	10,7	13,7
27	Суглинок тяжелый пылеватый	19	36	21	2,10	2,71	0,078	6,8	9,1	9,3	19,8	17,8	9,9	12,5	14,8
28	Суглинок тяжелый пылеватый с гравием	15	32	16	2,05	2,73	0,080	5,0	6,3	14,1	22,1	12,7	10,2	14,2	15,4
29	Глина песчанистая гравелистая	24	42	22	2,05	2,74	0,079	2,0	8,8	2,8	4,0	13,0	15,8	20,7	32,9
30	Глина песчанистая с гравием	20	36	16	2,12	2,72	0,078	1,8	4,5	4,9	7,1	10,0	16,9	20,5	34,3
31	Глина песчанистая	18	39	20	1,98	2,70	0,075	0,4	7,2	1,4	3,0	11,5	18,9	22,3	35,3
32	Глина пылеватая гравелистая	25	43	23	2,10	2,71	0,072	2,1	6,3	4,0	3,4	12,7	12,0	23,3	36,2
33	Глина пылеватая с гравием	19	41	21	2,01	2,72	0,070	1,1	5,7	4,5	6,6	10,0	16,2	21,2	34,7
34	Глина пылеватая	26	44	24	1,96	2,73	0,069	-	3,5	4,3	10,1	12,8	15,1	22,2	32,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Исходные данные по разделу 3

№ зад ани я	№ за- дач и	Подраздел 3.1								Подраздел 3.2				Подраздел 3.3						Подраздел 3.4					
		P_0 соор, МПа	$h_{загл}$, м	$\rho_{нач}$, г/см ³	$\rho_{кон}$, г/см ³	W_i , дол. ед.	$K_{ф}$, см/ч	e_p , мм/м	H , см	h , см	W_H , %	W_K , %	$T_{стаб}$, ч	H_1 , м	ρ_{W1} , г/м ³	H_2 , м	ρ_{W2} , г/м ³	$2b$, м	P_0 , кг/см ²	H_1 , м	H_2 , м	t_1 , ч	$e_{p z1}$, мм/м	t_2 , ч	$e_{p z2}$, мм/м
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	3.1	0,20	2,0	2,5	2,0	0,30	0,58	20	700																
2		0,25	2,5	2,6	2,1	0,31	0,60	20	725																
3		0,30	3,0	2,7	2,2	0,32	0,63	20	750																
4	3.2									3	26	21	5												
5										3	27	22	6												
6										3	28	23	7												
7	3.3													0,5	2,08	2,5	1,80	5	2,0						
8														0,6	2,10	2,7	1,84	6	2,5						
9														0,7	2,15	2,9	1,86	7	3,0						
10														0,8	2,20	3,1	1,90	8	3,5						
11	3.4																		1,2	2,1	6,0	15	19	8	
12																			1,5	2,3	6,8	17	21	10	
13																			1,8	2,5	7,6	19	23	12	
14																			2,1	2,7	8,4	20	25	14	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Исходные данные по разделу 4

№ задания	Нормальное давление					
	$P_1 = 0,1$ МПа		$P_2 = 0,2$ МПа		$P_3 = 0,3$ МПа	
	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопrotивляемос ть сдвигу $S_p, \text{МПа}$	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопrotивляемос ть сдвигу $S_p, \text{МПа}$	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопrotивляемос ть сдвигу $S_p, \text{МПа}$
	1	2	3	4	5	6
1	22	0,105	22	0,120	22	0,135
	31	0,040	31	0,055	31	0,070
	34	0,300	34	0,050	34	0,065
2	20	0,100	20	0,110	20	0,120
	26	0,060	26	0,070	26	0,080
	33	0,040	33	0,080	33	0,060
3	21	0,120	21	0,130	21	0,140
	28	0,060	28	0,080	28	0,090
	34	0,040	34	0,060	34	0,080
4	22	0,105	22	0,125	22	0,130
	29	0,055	29	0,075	29	0,090
	33	0,035	33	0,065	33	0,075
5	20	0,120	20	0,130	20	0,145
	25	0,080	25	0,090	25	0,100
	34	0,060	34	0,075	34	0,090

№ задания	Нормальное давление					
	$P_1 = 0,1$ МПа		$P_2 = 0,2$ МПа		$P_3 = 0,3$ МПа	
	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопротивляемо сть сдвигу $S_p, \text{МПа}$	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопротивляемо сть сдвигу $S_p, \text{МПа}$	Влажность после сдвига $W, \%$	Сопротивляемо сть сдвигу $S_p, \text{МПа}$
	1	2	3	4	5	6
6	22	0,105	22	0,120	22	0,135
	31	0,040	31	0,055	31	0,070
	34	0,300	34	0,050	34	0,065
7	20	0,100	20	0,110	20	0,120
	26	0,060	26	0,070	26	0,080
	33	0,040	33	0,080	33	0,060
8	21	0,120	21	0,130	21	0,140
	28	0,060	28	0,080	28	0,090
	34	0,040	34	0,060	34	0,080
9	22	0,105	22	0,125	22	0,130
	29	0,055	29	0,075	29	0,090
	33	0,035	33	0,065	33	0,075
10	20	0,120	20	0,130	20	0,145
	25	0,080	25	0,090	25	0,100
	34	0,060	34	0,075	34	0,090

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»
или
по дисциплине «Инженерная геология и механика грунтов»

Тема:
«Оценка состава и состояния грунтов при строительстве
инженерных сооружений»

Вариант 543

Исполнитель: студент 2-го курса группы 114359
Маслов В.И.

Руководитель: доцент Бабаскин Ю.Г.

Минск 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

(Бланк печатается на компьютере на двух листах. На первом листе печатается с двух сторон листа, на втором – с одной стороны. Заполняется вручную. Задание считается выданным при наличии подписей студента и руководителя)

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»
или «Инженерная геология и механика грунтов» _____

Студента (Ф.И.О. полностью) _____

курс _____; группа _____; вариант _____

1. Определить вид грунта по его физико-механическим характеристикам и построить инженерно-геологический разрез.
2. Определить вертикальные составляющие напряжения.
3. Определить величину и время осадки глинистого грунта.
4. Определить сопротивляемость сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов.
5. Определить устойчивость откоса, сложенного из однородного грунта.
6. Определить устойчивость откоса выемки, сложенного из слоев разнородных грунтов.
7. Определить устойчивость подпорной стенки.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

к разделу 1

№ п/п	Наименование параметров	Номер параметра (прил. 1)	Численные значения
1	2	3	4
1	Номер геологического разреза		(рис. 1.1)
2	Номер стратиграфической колонки		(прил. 2)
3	Номер комбинации слоев		(прил. 3)

к разделу 2

№ п/п	№ задачи	Наименование параметров (прил. 1)	Обозначение	Численные значения
1	2	3	4	5
1		Давление сооружения	$P_{соор}$	
2		Плотность грунта, т/м ³	ρ_w	
3		Величина заглубления фундамента, м	$h_{загл}$	
4		Ширина фундамента, м	$2b$	
5		Категория дороги		
6		Высота насыпи, м	H	
7		Заложение откоса	1: m	
8		Диаметр круглой опоры, м	d	
9		Длина прямоугольной опоры, м	L	
10		Ширина прямоугольной опоры, м	B	

к разделу 3

№ п/п	№ задачи	Наименование параметров (прил. 5)	Обозначение	Численные значения
1	2	3	4	5
1		Давление сооружения, МПа	$P_{соор}$	
2		Величина заглубления фундамента, м	$h_{загл}$	
3		Плотность грунта в начальном состоянии, т/м ³	$\rho_{нач}$	
4		Плотность грунта в конечном состоянии, т/м ³	$\rho_{кон}$	
5		Влажность грунта, доли единицы	W	
6		Коэффициент фильтрации грунта, см/год	K_f	
7		Модуль осадки, мм/м	e	
8		Мощность слоя суглинка, см	e	
9		Высота лабораторного образца грунта, см	h	
10		Влажность грунта образца до испытания, %	W_n	
11		Влажность грунта образца после испытания, %	W_k	
12		Время полной консолидации образца грунта, ч	$T_{стаб}$	
13		Мощность суглинка, м	H_1	
14		Плотность суглинка, т/м ³	ρ_w^c	
15		Мощность песка, м	H_2	
16		Плотность песка, т/м ³	$\rho_w^п$	
17		Ширина полосообразной нагрузки, м	$2b$	
18		Давление полосообразной нагрузки, кг/см ²	P_0	
19		Мощность суглинка первого слоя, м	H_1	
20		Мощность суглинка второго слоя, м	H_2	
21		Время стабилизации суглинка первого слоя, ч	t_1	
22		Модуль осадки суглинка первого слоя, мм/м	$e_{p,z1}$	
23		Время стабилизации суглинка второго слоя, ч	t_1	
24		Модуль осадки суглинка второго слоя, мм/м	$e_{p,z1}$	

к разделу 4 (исходные данные выписывают в табличной форме из прил. 6 и помещают перед задачей)

к разделу 5

№ п/п	№ задачи	Наименование параметров (прил. 1)	Обозначение	Численные значения
1	2	3	4	5
1		Удельный вес грунта, кН/м^3	γ_w	
2		Сцепление, кН/м^2	C_w	
3		Угол внутреннего трения грунта, град.	ϕ_w	
4		Категория дороги		
5		Высота откоса, м	H	
6		Крутизна откоса	$1: m$	
7		Уровень горизонта вод, м	ГВ	
8		Уровень горизонта верхних вод, м	ГВВ	
9		Тип грунта		

к разделу 6

№ п/п	№ задачи	Наименование параметров (прил. 1)	Обозначение	Численные значения
1	2	3	4	5
1		Среднее значение удельного веса грунта, кН/м^3	γ_w	
2		Среднее значение сцепления, кН/м^2	C_w	
3		Сред. значение угла внутрен. трения грунта, град.	ϕ_w	
4		Категория дороги		
5		Глубина выемки, высота откоса, м	H	
6		Крутизна откоса	$1: m$	
7		Уровень горизонта вод, м	ГВ	
8		Уровень горизонта верхних вод, м	ГВВ	
9		Тип грунта		

к разделу 7

№ п/п	№ задачи	Наименование параметров (прил. 1)	Обозначение	Численные значения
1	2	3	4	5
1		Удельный вес грунта, кН/м^3	γ_w	
2		Сцепление, кН/м^2	C_w	
3		Угол внутреннего трения грунта, град.	ϕ_w	
5		Высота подпорной стенки, м	H	
6		Величина заглубления фундамента, м	$h_{\text{загл}}$	
7		Ширина подпорной стенки понизу, м	$2b$	
8		Уровень воды, м	УВ	

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки со всеми необходимыми расчетами, схемами, заключениями в соответствии с выданным вариантом.

Срок получения задания _____

Срок сдачи курсовой работы на проверку руководителю _____ 20__ г.

Срок защиты курсовой работы на кафедре СЭД _____ 20__ г.

Задание к исполнению принял « ____ » _____ 20__ г. _____

(подпись студента)

Руководитель курсовой работы _____

(подпись руководителя)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ПОРЯДОК ЕЕ ОФОРМЛЕНИЯ.	6
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО ЕГО ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ПОСТРОЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА.	9
Введение.	9
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ.	28
Введение.	28
2.1. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под ленточным фундаментом.	33
2.2. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под насыпью земляного полотна.	35
2.3. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под круглой мостовой опорой.	38
2.4. Определение вертикальных напряжений в грунтовой толще под прямоугольной опорой.	40
3. УПЛОТНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВО ВРЕМЕНИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ СООРУЖЕНИЯ.	43
Введение.	43
3.1. Определение времени уплотнения суглинистого грунта.	45
3.2. Определение времени полной осадки слоя суглинка и изменение влажности во времени.	47
3.3. Определение осадки суглинистого грунта.	53
3.4. Определение времени полной стабилизации осадки фундамента.	56
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СДВИГУ СКРЫТОПЛАСТИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ.	59
Введение.	59
5. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА, СЛОЖЕННОГО ИЗ ОДНОРОДНОГО ГРУНТА.	66
Введение.	66
5.1. Определение устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий.	70
5.2. Определение устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом гидростатического давления.	78

5.3. Оценка устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления. . .	85
6. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ВЫЕМКИ, СЛОЖЕННОГО ИЗ СЛОЕВ РАЗНОРОДНЫХ ГРУНТОВ.	93
Введение.	93
6.1. Определение устойчивости откоса выемки по методу плоских поверхностей скольжения без учета дополнительных силовых воздействий.	96
6.2. Определение устойчивости откоса по методу плоских поверхностей скольжения с учетом фильтрационного давления. . .	100
7. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ.	108
Введение.	108
7.1. Определение устойчивости подпорной стенки при песчаной засыпке.	112
7.2. Определение устойчивости подпорной стенки при песчаной засыпке и дополнительной равномерно распределенной нагрузке.	117
7.3. Определение устойчивости подпорной стенки при глинистой засыпке.	121
7.4. Определение устойчивости подпорной стенки в виде набережной.	128
Литература.	133
ПРИЛОЖЕНИЯ.	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исходные данные к курсовой работе.	136
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Описание геологических скважин.	156
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Номера комбинаций слоев.	158
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Результаты инженерно-геологических изысканий грунтов.	159
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Исходные данные по разделу 3.	161
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Исходные данные по разделу 4.	162
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Образец титульного листа.	164
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Образец бланка задания к курсовой работе.	165

Учебное издание

БАБАСКИН Юрий Георгиевич
КОЗЛОВСКАЯ Людмила Владимировна

ОЦЕНКА СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методическое пособие
к курсовой работе по дисциплинам
«Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»,
«Инженерная геология и механика грунтов»
для студентов специальностей
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»,
1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»

Редактор И.Ю. Никитенко
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 15.12.2010.

Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 19,76. Уч.-изд. л. 7,73. Тираж 400. Заказ 398.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.