

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ
на тему: «Устойчивость откосов и подпорных стенок»
по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика
земляного полотна»

для студентов специальности «Строительство зданий и сооружений»
профилизация 7-07-0732-01 «Автомобильные дороги»

УДК 624.131.1

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине “Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог” для студентов специальности «Строительство зданий и сооружений» профилизация 7-07-0732-01 «Автомобильные дороги».

Они содержат пояснения и основные данные по методике расчета устойчивости откосов высоких насыпей, глубоких выемок автомобильных дорог и определения давления грунтов на подпорные стенки.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры геотехники и транспортных коммуникаций и рекомендованы к изданию (протокол № 4 от 05.12.2023 г).

Составители: Д. Н. Клебанюк, старший преподаватель
П. В. Шведовский, профессор, к. т. н.

Рецензент: В. Н. Деркач, к. т. н., зам. директора научно-технического центра, филиала РУП “Институт БелНИИС”,

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	5
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТА ОТКОСА	7
1.1 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПО МЕТОДУ КРУГЛО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ	8
1.1.1 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА БЕЗ УЧЕТА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК.....	8
1.1.2 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ С УЧЕТОМ ВЗВЕШИВАЮЩЕГО (ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО) И ФИЛЬТРАЦИОННОГО (ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО) ДАВЛЕНИЯ	13
1.1.3 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО МЕТОДУ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ (ППС) (МЕТОД ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ МАСЛОВА – БЕРЕРА).....	17
1.1.4 ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОСТИ ОЧЕРТАНИЯ ОТКОСА И ВЫЯВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ НАПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКОВ (МЕТОД F _p)	21
2 ДАВЛЕНИЕ ГРУНТОВ НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ	22
2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ОТ ИДЕАЛЬНО СЫПУЧЕГО ГРУНТА.....	25
2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ОТ ИДЕАЛЬНО СЫПУЧЕГО ГРУНТА И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	26
2.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ОТ СВЯЗНОГО ГРУНТА	27
2.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ В ВИДЕ НАБЕРЕЖНОЙ	29
ЛИТЕРАТУРА	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	34
ПРИЛОЖЕНИЕ В	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	39
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	40

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания разработаны в соответствии с учебной программой по учебной дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» для специальности «Строительство зданий и сооружений» профилизация 7-07-0732-01 «Автомобильные дороги», уровень высшего образования очной и заочной формы обучения, могут быть использовано студентами других специальностей при изучении вопросов расчета параметров подпорных стен, проектируемых для нужд дорожного хозяйства.

В методических указаниях приведены основные термины и определения, позволяющие освоить терминологию строительства и эксплуатации инженерных сооружений, используемые специалистами дорожно-строительных и дорожно-эксплуатационных организаций. Издание призвано дать студентам методологию проектирования подпорных стен.

В методических указаниях изложены основные сведения о наиболее часто применяемых в дорожном строительстве типах и конструкциях подпорных стен. Показаны методики проектирования расчета подпорных стен. Эти сведения дают возможность определить необходимые параметры подпорных стен, возводимых при строительстве объектов дорожного хозяйства.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

А) Курсовая работа в соответствии с учебным планом выполняется во втором семестре первого года обучения в виде самостоятельной работы (во внеаудиторное время) при контроле (консультировании) со стороны закрепленного за группой преподавателя. Нормативный срок выполнения работы – 3 месяца.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать исходные данные об откосе, инженерно-геологических условиях строительной площадки и сведения о конструкциях, размещенных на грунтовом откосе (как правило, содержатся в задании на выполнение работы), а также текстовую часть и расчеты с пояснениями к ним, включающим обоснование принятых технических решений в последовательности, предусмотренной данными указаниями.

В начале записки помещается титульный лист (приложение А к настоящим указаниям), задание на проектирование (приложение Б к настоящим указаниям, выдается преподавателем индивидуально каждому студенту), реферат, затем оглавление (содержание), введение, текстовая часть – общие сведения по вопросу обеспечения устойчивости откоса, расчеты со схемами, пояснениями и выводами, в конце – список использованной литературы.

Текстовый материал должен быть конкретным, относящимся к теме разработки, а в расчетах еще и предельно сжатым. На все заимствования из литературных источников (СП, справочники, методические указания и т. д.) в записке должны быть сделаны соответствующие ссылки. Расчеты обязательно должны содержать эскизы, расчетные схемы с наименованиями и необходимыми размерами, а также исходные формулы с их нумерацией. Страницы записки должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами.

Курсовая работа должна состоять из двух разделов: 1 – общие сведения, в котором обучающийся анализирует состояние вопроса, касающегося обеспечения устойчивости откоса с рисунками и схемами; 2 – расчет устойчивости откоса соответствующими методами, указанными в задании.

Записка курсовой работы на защиту (проверку) представляется в сброшюрованном виде.

Б) Курсовая работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки с одной стороны листа формата А4 (210 x 297 мм), за исключением геологической колонки, расчетных схем и графиков, которые могут выполняться на миллиметровой бумаге того же формата. Каждый лист пояснительной записки имеет рамку с полями. Каждый раздел начинается с новой страницы. Изложение материала в разделе производится в соответствии с заданием.

Листы графического материала имеют формат А3 (420 × 297 мм). Лист ориентируется вдоль большей стороны. На листе выполняется рамка, а в правом нижнем углу – штамп (приложение Е).

Набор текста осуществляется с использованием текстового редактора Word по СТБ 6.38-2016 [1]. При этом рекомендуется использовать шрифты типа Times New Roman размером 14 пунктов. Текст размещают, соблюдая следующие размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 20 мм.

Межстрочный интервал – 1,0. Абзацы в тексте начинают отступом 1,25 см, одинаковым по всему тексту. Плотность текста должна быть одинаковой. Допускается вписывать в текст работы, выполненной машинописным способом, отдельные слова, формулы, условные знаки чернилами, пастой или тушью черного цвета, не нарушая общей плотности текстового документа. Шрифт печати должен быть прямым, четким, черного цвета, одинаковым по всему объему текста. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определениях, терминах, теоремах, важных особенностях, применяя разное начертание шрифта: курсивное, полужирное, курсивное полужирное, выделение с помощью рамок, разрядки, подчеркивания и другое. Опечатки и графические неточности, обнаруженные в тексте, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графиков) машинописным или рукописным способами. Текст основной части делят на главы, разделы, подразделы, пункты.

Заголовки структурных частей работы печатают прописными буквами в середине строк, используя полужирный шрифт с размером на 1–2 пункта больше, чем шрифт в основном тексте. Так же печатают заголовки глав. Заголовки разделов печатают строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером на 1–2 пункта больше, чем в основном тексте. Заголовки подразделов печатают с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной) полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста.

При необходимости заголовков пункта печатают с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста в подбор к тексту. В конце заголовков глав, разделов и подразделов точку не ставят.

Расстояние между заголовком (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять два межстрочных интервала. Каждый раздел пояснительной записки следует начинать с нового листа.

Нумерация разделов, глав, подразделов, пунктов, рисунков, таблиц, формул, уравнений дается арабскими цифрами. После номера точка не ставится. Номер раздела ставят перед названием раздела. Разделы "Содержание", "Введение", "Заключение", "Список использованных источников", "Приложения" не имеют номеров. Подразделы нумеруют в пределах каждого раздела.

Номер подраздела состоит из порядковых номеров раздела, подраздела, разделенных точками, например: 1.3 (третий подраздел первого раздела). Пункты нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из порядковых номеров раздела, подраздела, пункта, разделенных точками, например: 4.1.3 (третий пункт первого подраздела четвертого раздела). Нумерация страниц пояснительной записки должна быть сквозной. Первой страницей является титульный лист, второй и третьей – задание на проектирование (номер не ставится), четвертой – реферат. Номер страницы проставляют арабскими цифрами. На титульном листе номер страницы не ставится.

Формулы и уравнения (если их более одной) нумеруют в пределах раздела. Номер формулы (уравнения) состоит из номера раздела и порядкового номера формулы (уравнения) в разделе, разделенных точкой. Номера формул (уравнений) пишут в круглых скобках у правого поля листа на уровне формулы (уравнения). При оформлении формул и уравнений необходимо соблюдать следующие правила: – формулы и уравнения следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы и уравнения оставляется по одной свободной строке; – пояснение значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу или уравнение, следует приводить непосредственно под формулой или уравнением в той же последовательности, в какой они даны в формуле (уравнении). Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слов "где" без двоеточия.

Иллюстрации и таблицы обозначают соответственно словами "рисунок" и "таблица" и нумеруют последовательно в пределах каждой главы. На все таблицы и иллюстрации должны быть ссылки в тексте пояснительной записки. Слова "рисунок", "таблица" в подписях к рисунку, таблице и в ссылках на них не сокращают.

Номер иллюстрации (таблицы) должен состоять из номера главы и порядкового номера иллюстрации (таблицы), разделенных точкой. Например, "рисунок 1.1" (первый рисунок первого раздела), "таблица 3.1" (первая таблица третьего раздела).

Иллюстрации, как правило, имеют наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст), располагаемые по центру страницы. Пояснительные данные помещают под иллюстрацией, а со следующей строки – слово "Рисунок", номер и наименование иллюстрации, отделяя знаком тире номер от наименования. Точку в конце нумерации и наименований иллюстраций не ставят. Например, Рисунок 2.1 – Кран шарнирный

Каждая таблица должна иметь краткий заголовок, который состоит из слова "Таблица", ее порядкового номера и названия, отделенного от номера знаком тире. Заголовок следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа. Например, Таблица 3.1 – Титульный лист

Примеры оформления графической части (в масштабе 1:100) приведены в приложении Д.

1 Определение устойчивости грунта откоса

При проектировании земляных сооружений (насыпей, выемок, дамб) и при оценке устойчивости естественных склонов различают их местную и общую устойчивость. Нарушение местной устойчивости возникает в приоткосной зоне, подверженной воздействию природно-климатических факторов, вызывающих повторные процессы набухания и высушивания, промерзания и остывания.

Устойчивость откосов зависит:

– от прочности грунтов, слагающих откос и находящихся в его основании (параметров сопротивления грунтов сдвигу φ , c);

- крутизны откоса;
- высоты откоса;
- нагрузок на поверхности откоса;
- фильтрации воды через откос.

При нарушении общей устойчивости происходит смещение больших массивов грунта насыпи или выемки. Причинами нарушения устойчивости являются эрозионные процессы и нарушение равновесия.

Различают следующие основные формы нарушения общей устойчивости откосов насыпей и выемок:

- скольжение по кривой или плоской поверхности;
- выдавливание грунта из-под подошвы откоса;
- расползание грунта по основанию насыпи.

При расчете устойчивости откосов на скольжение используют следующие методы:

- кругло-цилиндрической поверхности скольжения (КЦПС), широко применяется на практике для оценки устойчивости откосов насыпей и естественных склонов;

- плоских поверхностей скольжения (ППС), применяется при определении устойчивости откосов слоистых выемок с заранее установленной формой поверхности скольжения.

Конкретная расчетная схема принимается в том случае, когда точно известна форма поверхности скольжения. Если форма поверхности скольжения точно не установлена, это необходимо проводить расчет устойчивости по двум вариантам.

1.1 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПО МЕТОДУ КРУГЛО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ

1.1.1 Расчет устойчивости откоса без учета дополнительных нагрузок

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

При крутизне откоса больше предельной происходит обрушение его части по поверхности, которую без большой погрешности можно принять за кругло-цилиндрическую с радиусом R (рисунок 1.1).

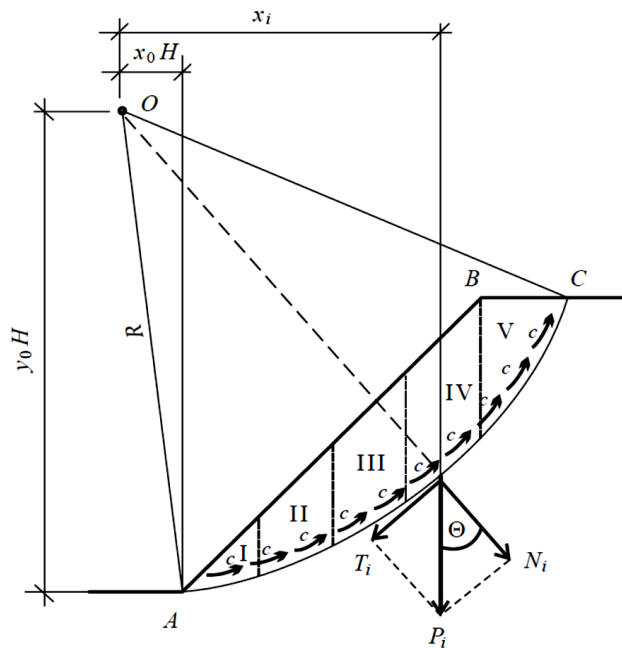


Рисунок 1.1 – Схема к расчету устойчивости откоса

В основу расчета устойчивости откосов по методу КЦПС положено определение коэффициента устойчивости K_y , который определяется по формуле

$$K_y = \frac{\sum M_{уд.}}{\sum M_{сдв.}} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + C_i \cdot b_i}{\sum P_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot R, \quad (1.1)$$

где $\sum M_{уд.}$ – сумма моментов удерживающих сил, кН·м; $\sum M_{сдв.}$ – сумма моментов сдвигающих сил, кН·м; P_i – вес i -го расчетного блока, кН; α_i – угол наклона касательной к поверхности скольжения в заданной точке к горизонту, численно равный углу между вертикальной осью радиус-вектором, град.; φ_i – угол внутреннего трения, град.; C_i – сцепление грунта, (кПа); b_i – ширина i -го блока, м; R – радиус кривой скольжения, м.

Расчет сводится к определению поверхности скольжения с минимальным K_y , который должен быть не меньше значений, приведенных в таблице 1.1. Величина K_y зависит от метода расчета и геологических условий.

Таблица 1.1 – Требуемые значения K_y

N n/n	Метод расчета	Инженерно-геологические условия	
		Однородный сухой откос, сложенный песчаными грунтами при основании	Прочие случаи
1	КЦПС	–	1,3
2	ППС (Маслова-Берера)	1,2	1,3
3	Метод F_p	–	1,0
4	Расчет на расползание	–	1,3
5	Расчет на выдавливание (метод СоюздорНИИ)	–	1,0 (коэф. без-оп.)

Примечания: 1) при учете сейсмических сил требуемый коэффициент устойчивости по методам 1–3 принимается равным 1,1;

2) приведенные значения коэффициентов устойчивости предусматривают введение в расчет гарантированных значений ϕ и C .

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

Степень устойчивости откоса оценивается по величине коэффициента, который представляет собой отношение суммы моментов сил (относительно центра в точке O), удерживающих призму обрушения в устойчивом состоянии, – M_{yo} , к сумме моментов сил, вызывающих потерю устойчивости призмы обрушения, – $M_{cоб}$.

Местоположение центра вращения O и величину радиуса R определяют так, чтобы отразить в расчете наиболее выгодное положение центра O для определения наименьшего K_y . Для определения место положения центра вращения обычно пользуются графиком Ямбу (приложение Г).

Порядок расчета при использовании графика Ямбу:

1) определяют параметр λ_{cp} по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi}{g \cdot C_i}, \quad (1.2)$$

где H – высота откоса, м; γ – расчетное значение удельного веса грунта, кН/м³; φ – угол внутреннего трения, град; g – ускорение свободного падения; C_i – сцепление грунта, (кПа).

При малых значения C_i когда $\lambda_{cp} > 8$, разрешается использовать кривую, отвечающую условию $\lambda_{cp} = 8$.

2) зная λ_{cp} и крутизну откоса β , по графику определяют относительные координаты центра опасной дуги скольжения: Xo и Yo ;

3) умножая Xo и Yo на H , получают абсолютные координаты центра вращения X и Y ;

4) из найденного центра проводят расчетную дугу скольжения через нижнюю бровку откоса насыпи или выемки с радиусом $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$;

5) полученный таким образом откос обрушения делят на расчетные блоки вертикальными сечениями. Ширина блоков принимается примерно одинаковой (не более 2–3 м). Необходимо, чтобы границы блоков проходили через точки перелома линии поперечного профиля откоса и через точки пересечения различных слоев, слагающих откос, с поверхностью скольжения.

Для определения K_y формулу (1.1) без большой погрешности можно упростить, приняв $\cos \alpha_i = 1$, а сдвигающую силу $\sum P_i \cdot \sin \alpha_i$ заменить моментом всех блоков относительно центра вращения $\sum P_i \cdot X_i$. Тогда она принимает следующий вид

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i \cdot b_i}{\sum P_i \cdot X_i} \cdot R, \quad (1.3)$$

где R – радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения, м;

X_i – плечо от линии действия центра тяжести блока до проекции центра вращения O (рисунок 1.1).

При однородной толщине грунта откоса член $\sum C_i \cdot b_i$ уравнения (1.2) может быть записан так :

$$\sum C_i \cdot b_i = C \cdot L, \quad (1.4)$$

где L – длина всей дуги скольжения.

В окончательном виде формула (1.1) будет иметь вид:

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + C \cdot L}{\sum P_i \cdot X_i} \cdot R. \quad (1.5)$$

Полученное значение сравнивают с требуемым коэффициентом устойчивости. Если вычисленный коэффициент равен или больше, то откос считается устойчивым, если меньше – неустойчивым.

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 (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – 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.	Дренажирование для снижения силового воздействия подземных вод	
8.	Дренажирование 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	
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

Проекцию откоса на горизонтальную плоскость определяем по формуле

$$B_1 = H \cdot m, \text{ м}, \quad (1.6)$$

где H – высота насыпи, м;

m – заложение откоса.

Угол наклона откоса к горизонтальной плоскости определяем по формуле

$$\beta = \arctg(1/m), \text{ град.} \quad (1.7)$$

Угол α определяем по формуле

$$\alpha = \arccos\left(\frac{Y-H}{R}\right) + \arcsin\left(\frac{X}{R}\right), \text{ град.} \quad (1.8)$$

Угол Θ определяем по формуле

$$\Theta = \arctg\left(\frac{Y-H}{B_1-X}\right), \text{ град.} \quad (1.9)$$

Длину поверхности вращения определяем по формуле

$$L = \pi \cdot R \cdot \frac{\alpha}{180}, \text{ м.} \quad (1.10)$$

Дальнейшие расчеты сводим в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты расчета

№ блока	Средняя высота блока, h_i , м	Ширина блока, b_i , м	Объем блока, $V_i=h_i \cdot b_i \cdot l$, м ³	Вес блока, $P_i=V_i \cdot \gamma$, кН	Длина плеча, X_i , м	Момент, $P_i \cdot X_i$, кН·м
1	2	3	4	5	6	7
...
Σ	

1.1.2 Расчет устойчивости откосов с учетом взвешивающего (гидростатического) и фильтрационного (гидродинамического) давления

Роль поверхностных грунтовых вод в нарушении устойчивости склонов, откосов и связанных с этим оползневых явлений, часто оказывается решающей. Эта роль проявляется:

- в непосредственном дополнительном увлажнении оползневых масс и связанным с этим понижением прочностных свойств грунтов;
- фильтрационном давлении;
- во взвешивающем действии воды.

Подобный режим работы откоса (склона) может существовать в выемках, когда нарушаются естественные гидрогеологические условия, или в насыпях долин, затопляемых во время половодья, когда уровень воды при разливе реки доходит до максимума, а затем постепенно начинает снижаться. При наличии водонасыщенных слоев, по которым происходит движение грунтовых вод, необходимо вводить в расчет гидродинамическое (фильтрационное) давление. Учет фильтрационного давления в методе КЦПС осуществляется через фиктивный угол трения. Отношение коэффициента фиктивного угла внутреннего трения водонасыщенного грунта к коэффициенту угла внутреннего трения грунта природной влажности, залегающего выше уровня ГВ, равно отношению удельного веса грунта во взвешенном состоянии к удельному весу грунта природной влажности.

При затоплении части насыпи и последующем спаде воды случается, что 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 приведены на рисунке 1.2. Точка *M* – это пересечение поверхности откоса с уровнем ГВ (уровень стояния воды после спада). Точка *N* – пересечение оси земляного полотна (насыпи автомобильной дороги) с верхним уровнем горизонта вод (ГВВ) (уровень максимального затопления насыпи). Гидравлический градиент соответствует среднему уклону линии депрессии. Точку *A* откладывают в вертикальном сечении верхней бровки земляного полотна от уровня ГВВ вниз:

$$A = \frac{B}{2} \cdot J, \quad (1.11)$$

где B – ширина земляного полотна (таблица 1.4); J – гидравлический градиент или средний уклон линии депрессии, зависящий от вида грунта, 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.

Таблица 1.4 – Ширина земляного полотна дороги

Параметр	Категория дороги					
	Ia	Iб; Iв	II	III	IV	V
Ширина земляного полотна	24,5	22	13	12	10	8

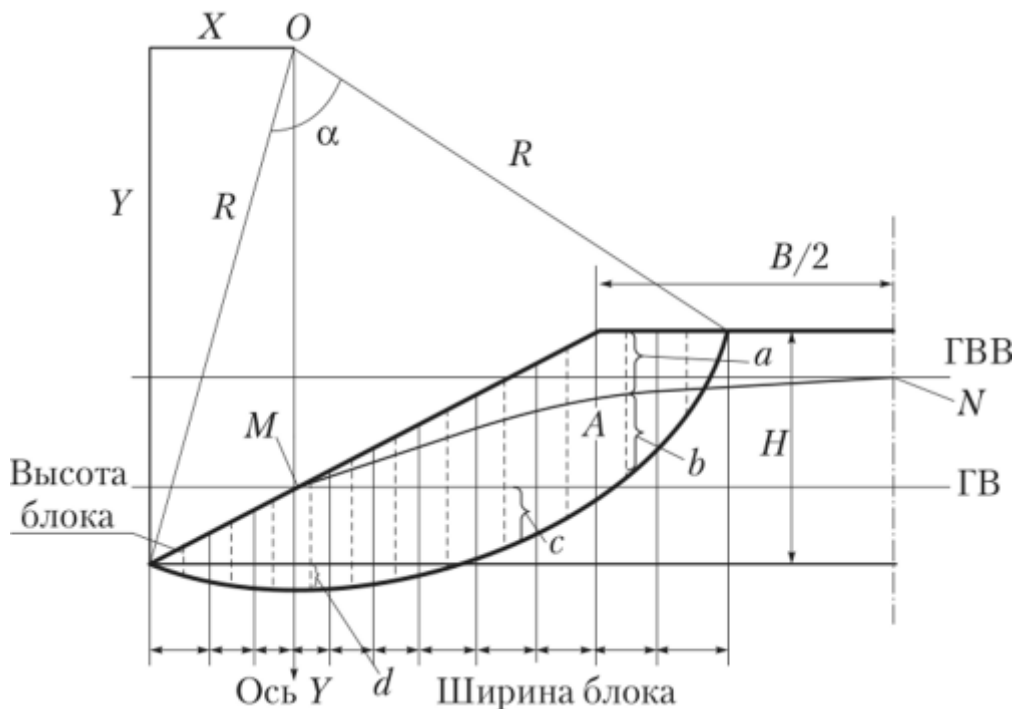


Рисунок 1.2 – Расчетная схема определения устойчивости откоса методом КЦПС с учетом фильтрационного давления

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:

a – на зону сухого грунта, лежащую выше кривой депрессии; b – зону фильтрации, лежащую между кривой депрессии и уровнем ГВ или кривой скольже-

ния; 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 β_i , учитывающего соотношение между удельным весом грунта во взвешенном состоянии и удельным весом грунта природной влажности. Применение этого коэффициента в расчете позволяет учитывать сухое и водонасыщенное состояния грунта.

При воздействии на откос фильтрационного давления K_y определяют по следующей формуле

$$K_y = \frac{\sum (P_i + P_{sb,i}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{b,i} + C \cdot L}{\sum (P_i \cdot X_i + P_{sb,i} \cdot X_i)} \cdot R, \quad (1.12)$$

где P_i – вес i -го блока без учета действия взвешивающего действия воды, кН;

$P_{sb,i}$ – вес части i -го блока с учетом действия взвешивающего действия воды, кН;

$\varphi_{b,i}$ – фиктивный угол внутреннего трения, град.;

R – радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения, м.

Фиктивный угол внутреннего трения ($\varphi_{b,i}$) определяют по зависимости

$$\operatorname{tg} \varphi_{b,i} = \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.13)$$

где

$$\beta_i = \frac{a + \frac{b}{2} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}{a + b + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}, \quad (1.14)$$

где a – средняя высота сухой зоны блока, м;

b – средняя высота блока в зоне фильтрационного давления, м;

c – то же, в зоне затопления, м;

d – то же, в зоне застоя, м.

На средней линии подписывают высоту каждой зоны, на которые блок разделен посредством кривой депрессии и линией горизонта вод (ГВ). Коэффициент β_i вычисляют для каждого блока. В случае отсутствия в блоке какой-либо зоны она в расчете не учитывается (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Расчет коэффициента

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

Взвешивающее воздействие воды учитывают путем введения в расчет уменьшенного значения удельного веса $\gamma_{sb,i}$:

– для несвязных грунтов по формуле

$$\gamma_{sb,i} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \cdot (\gamma_s - \gamma_w), \quad (1.15)$$

где e – коэффициент пористости;

γ_s – удельный вес твердой фазы, кН/м³ ;

γ_d – то же, сухого грунта, кН/м³;

γ_w – то же, воды, кН/м³.

– для глинистых грунтов по формуле

$$\gamma_{sb,i} = \gamma - \gamma_w, \quad (1.16)$$

где γ – удельный вес влажного грунта, кН/м³.

Чтобы определить положение центра вращения по графику Ямбу в условиях затопленного откоса не на всю его высоту, следует вычислять средневзвешенное значение удельного веса грунта по выражению:

$$\gamma_{cp} = \frac{\gamma \cdot h_c + \gamma_{sb} \cdot h_3}{H}, \quad (1.17)$$

где h_c – высота сухой зоны, м;

$$h_c = H - h_3, \quad (1.18)$$

h_3 – высота зоны затопления, м;

H – высота всего откоса, м.

Параметр λ_{cp} определяем по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma_{cp} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi}{C}, \quad (1.19)$$

где H – высота откоса, м; γ_{cp} – средневзвешенное значение удельного веса грунта, кН/м³; φ – угол внутреннего трения, град; C_i – сцепление грунта, (кПа).

Дальнейшие расчеты сводим в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты расчета

№ блока	Средняя высота блока, м		Ширина блока, b_i , м	Объем блока, м ³		Вес блока, кН		γ , кН/м ³	γ_{sb} , кН/м ³	Длина плеча, X_i , м	Момент, кН·м	
	h_i	$h_{sb,i}$		$V_i = h_i \cdot b_i$	$V_{sb,i} = h_{sb,i} \cdot b_i$	$P_i = V_i \cdot \gamma$	$P_{sb,i} = V_{sb,i} \cdot \gamma_{sb,i}$				$P_i \cdot X_i$	$P_{sb,i} \cdot X_i$
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12
...
Σ			...	...	...	...	...				...	...

Для получения фиктивного угла внутреннего трения $\varphi_{\beta i}$ определяют коэффициент β_i для каждого блока.

Результаты расчета сводятся в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Результаты расчета

№ блока	Средняя высота блока, м		Ширина блока, b_i , м	Объем блока, m^3		Вес блока, кН		γ , кН/ m^3	γ_{sb} , кН/ m^3	Длина плеча, X_i , м	Момент, кН·м	
	h_i	$h_{sb,i}$		$V_i = h_i \cdot b_i$	$V_{sb,i} = h_{sb,i} \cdot b_i$	$P_i = V_i \cdot \gamma$	$P_{sb,i} = V_{sb,i} \cdot \gamma_{sb,i}$				$P_i \cdot X_i$	$P_{sb,i} \cdot X_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
...
Σ		

Продолжение таблицы 1.7.

a_i	b_i	c_i	d_i	β_i	$tg\varphi_{b,i}$	$P_i \cdot tg\varphi_{b,i}$	$P_{sb,i} \cdot tg\varphi_{b,i}$
14	15	16	17	18	19	20	21
...
Σ					

1.1.3 Расчет устойчивости откосов по методу плоских поверхностей скольжения (ППС) (метод горизонтальных сил Маслова – Берера)

Расчет устойчивости склона в природном состоянии, системы «склон – земляное полотно» в целом, вефрховой 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 отличие от метода КЦПС, при котором наиболее опасную поверхность скольжения приходится искать, схема плоских поверхностей скольжения применяется в тех случаях, когда поверхность скольжения predeterminedляется геологическим строением толщи, т. е. наличием наклонных ослабленных прослоек. По классификации Н. Н. Маслова эта форма нарушения устойчивости называется «скольжением».

Сущность метода заключается в определении активного давления грунта в пределах того или иного блока как на подпорную стенку с вертикальной задней гранью и с поверхностью скольжения, наклоненной к горизонту под углом α (рисунок 1.3).

Расчет устойчивости откосов без учета дополнительных силовых воздействий

Коэффициент устойчивости для данного метода определяется по формуле

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot [tg\alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]}{\sum P_i \cdot tg\alpha_i}, \quad (1.20)$$

где P_i – вес i -го блока, кН;

α_i – угол наклона поверхности скольжения этого блока к горизонту, град.;

ψ_{pi} – угол сдвига грунта (сопротивляемости сдвигу) на поверхности скольжения этого же блока при нормальном давлении, равном весу блока, град.

$$\psi_{pi} = arctg\left(tg\varphi_i + \frac{C_i \cdot b_i}{P_i}\right), \quad (1.21)$$

где C_i – расчетное значение сцепления, кН/м²;

φ_i – угол внутреннего трения на поверхности скольжения в пределах i -го блока, град.;

$tg\varphi_i$ – коэффициент внутреннего трения;

b_i – длина участка поверхности скольжения в пределах i -го блока, м.

Последовательность расчета:

– на основании анализа инженерно-геологических условий (наклон слоев, характер сложности, наличие слабых прослоек и т. д.) намечают наиболее вероятные поверхности скольжения в виде одной плоскости или комбинации нескольких плоскостей;

– для каждой расчетной поверхности скольжения отсек обрушения разделяют вертикальными сечениями на отдельные блоки с таким расчетом, чтобы границы блоков соответствовали местам перелома поверхностей скольжения и в пределах каждого блока на поверхностях скольжения сохранялись постоянными значения сдвиговых характеристик грунта;

– в пределах каждого блока определяют значение α_i принимая его положительным при наклоне поверхности скольжения в сторону общего смещения отсека и отрицательным при наклоне в противоположную сторону (в пассивной зоне).

Расчет устойчивости откосов с учетом фильтрационного (гидродинамического) давления

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

При наличии в склоне фильтрационного давления его рассчитывают для каждого выделенного блока по зависимости

$$W_{\varphi} = \gamma_w \cdot J \cdot V_{sb,i}, \quad (1.22)$$

где γ_w – удельный вес воды, кН/м³;

J – гидравлический градиент;

$V_{sb,i}$ – объем фильтрационного потока в пределах оползневого тела, м³.

Коэффициент устойчивости откоса с учетом фильтрационного давления

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot [tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]}{\sum P_i \cdot [tg \alpha_i + W_{\varphi} \cdot \cos \beta]}, \quad (1.23)$$

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

Среднее удельное давление блока определяют из выражения

$$P_0 = \frac{P_i}{b_i \cdot l_i}, \quad (1.24)$$

где P_i – вес блока, кН;

b_i – длина плоскости скольжения в пределах блока, м;

P_i – удельное давление, кН/м².

Результаты расчета заносятся в таблицу 1.8.

Таблица 1.8 – Результаты расчета

№ блока	Средняя высота блока, м		Ширина блока, b_i , м	Объем блока, м ³		Вес блока, кН		γ , кН/м ³	γ_{sb} , кН/м ³	Общий вес блока, кН $P_{0i}=P_i+P_{sbi}$	Наклон плоскости скольжения, $\pm\alpha_i$, град.	Средн. едельное давление, КПа, P_0
	h_i	$h_{sb,i}$		$V_i=h_i \cdot b_i$	$V_{sbi}=h_{sbi} \cdot b_i$	$P_i=V_i \cdot \gamma$	$P_{sbi}=V_{sbi} \cdot \gamma_{sbi}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
...
Σ			...	...	...	...	...			...	...	...

Продолжение таблицы 1.8.

Угол внутреннего трения, град., φ	$tg \varphi$	Сцепление, кПа, C	$tg \psi_{Pi}$	Угол сдвига ψ_i , град.	$\pm tg \alpha_i = \frac{a_i}{b_i}$	$\alpha_i - \psi_i$	$tg(\alpha_i - \psi_i)$	$[tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_i)]$	$P_{0i}[tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_i)]$
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
...
Σ		...	...	...	...	...	...	...	...

Продолжение таблицы 1.8.

$P_{0i} \cdot [tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_i)]$	$P_{0i} tg \alpha_i$	Градиент, J	W_φ	β	$W_\varphi \cdot \cos \beta$
23	24	25	26	27	28
...

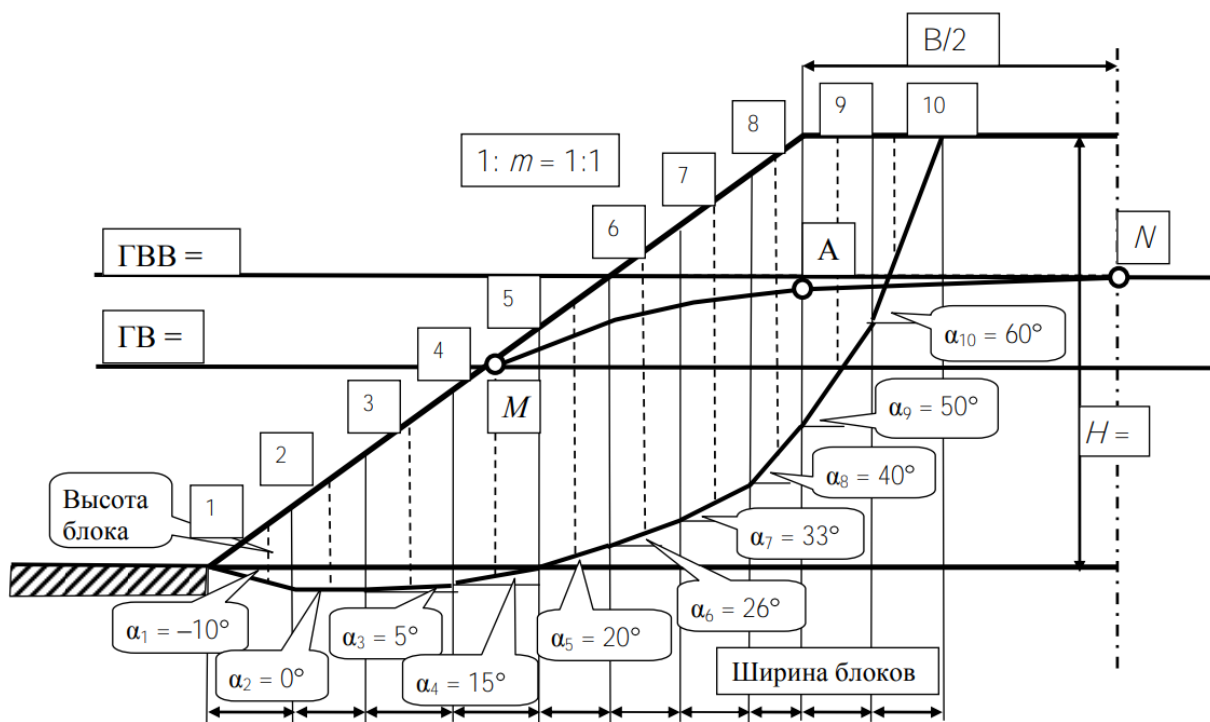


Рисунок 1.3 – Расчетная схема определения устойчивости откоса по методу ППСР с учетом фильтрационного давления

1.1.4 Оценка рациональности очертания откоса и выявление наиболее напряженных участков (метод Фр)

В основу этого метода, предложенного профессором Н. Н. Масловым, положено утверждение, что в равнопрочном откосе в состоянии предельного равновесия для каждой его точки на глубине Z от поверхности удовлетворяется условие

$$\alpha_i = \psi_i, \quad (1.25)$$

где α_i – угол наклона откоса к горизонту на глубине Z , град.;

ψ_i – угол сопротивления сдвигу в той же точке грунтовой толщи, град.

Проверку по условию равноустойчивости (метод Фр) осуществляют для оценки рациональности очертания откоса и выявления наиболее напряженных участков. Степень соблюдения принципа равноустойчивости оценивают для различных участков откоса по значению коэффициента запаса

$$K_y = \frac{\operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{\gamma_{cp} \cdot z_i}}{\operatorname{tg} \alpha_i}, \quad (1.26)$$

где φ – угол внутреннего трения на данном горизонте;

γ_{cp} – средний удельный вес грунта;

C – сцепление грунта на данном горизонте;

Z – глубина данного горизонта считая от верха откоса.

Задаваясь тем или иным значением K_y , по выражению (1.26) определяют соответствующие найденным значениям ψ_i величины углов наклона откоса α_i . По полученным значениям α_i строят очертание откоса, начиная построение снизу вверх, т. е. начиная с $Z_{\max} = H$.

Порядок выполнения задания:

1) разбивают откос насыпи или выемки на условные слои толщиной h_i , равной 1–3 м;

2) рассчитывают природное давление по формуле $P_{zg_i} = \gamma \cdot z_i$;

3) определяют тангенс угла сдвига ψ_i и значение угла сдвига ψ_i для каждого слоя;

4) вычисляют величины α_i по формуле

$$\alpha_i = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{tg} \psi_i}{K_y}\right); \quad (1.27)$$

5) по значениям α_i проектируют очертания откоса:

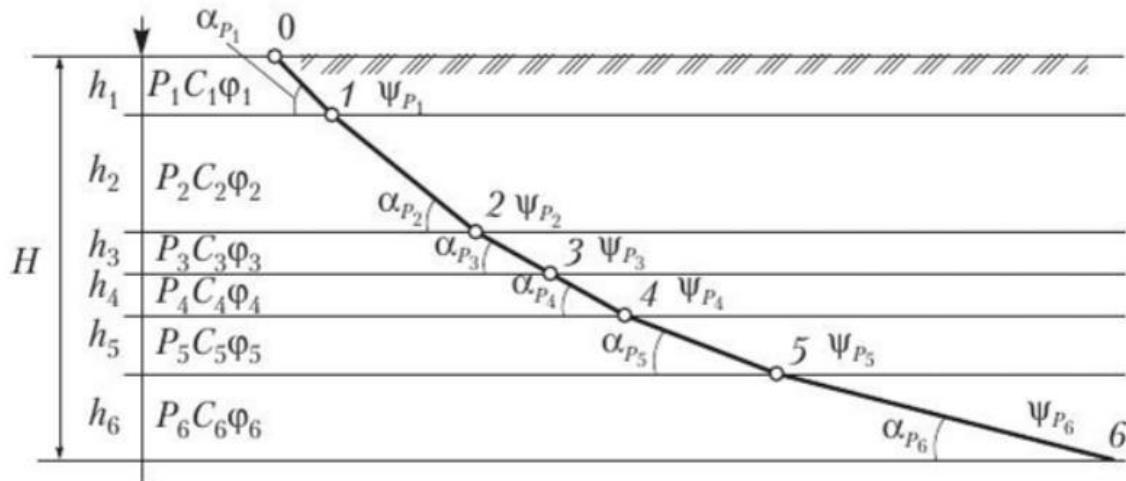


Рисунок 1.4 – Построение равноустойчивого откоса по методу Fr

б) результаты расчетов сводят в таблицу 1.9:

Таблица 1.9 – Результаты расчета

N точки	Координаты точки, м z_i	Природное давление, кПа $P_{zg} = \gamma z_i$	Угол внутреннего трения φ	$tg\varphi$	Общее сцепление, кПа C	$\frac{C}{P_{zg}}$	$tg\psi_i = tg\varphi + C/P_{zqi}$	Угол сдвига, град. ψ_i	Угол наклона откоса, град. α_i	$tg\alpha_i = (tg\psi_i)/k_y$	$b_i = h_i/tg\alpha_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
...
Σ											

7) по найденным значениям α_i строят очертание откоса;

8) вычисляют длину проекции откоса: $B_1 = \Sigma (h_i/tg\alpha_i)$;

9) вычисляют крутизну откоса: $1: m = 1: (B_1/H)$;

10) делают вывод о наиболее рациональном очертании откоса с учетом его устойчивости и объема земляных работ.

2 ДАВЛЕНИЕ ГРУНТОВ НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ

Подпорная стенка – геотехническая конструкция, предназначенная для обеспечения устойчивости вертикальных или крутых склонов, обсыпных мостовых устоев, опор арочных мостов и анкерных опор висячих мостов (рисунок 2.1).

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.

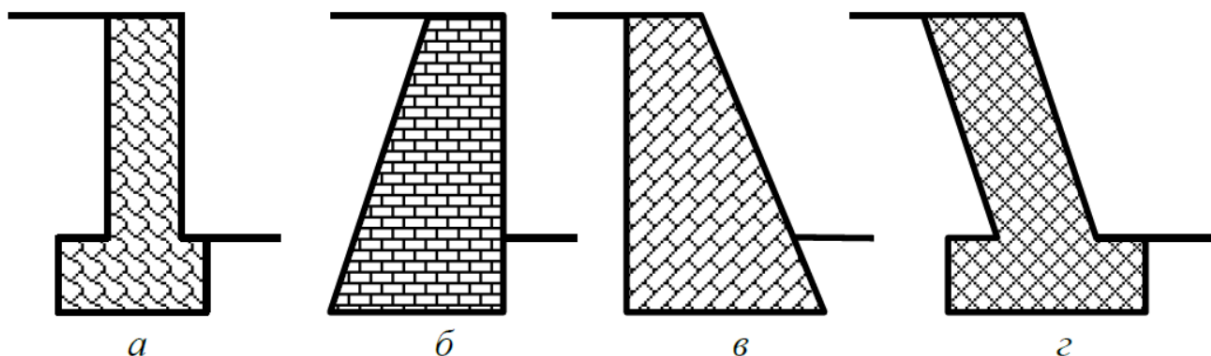


Рисунок 2.1 – Схемы массивных подпорных стенок

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 (рисунок 2.2).

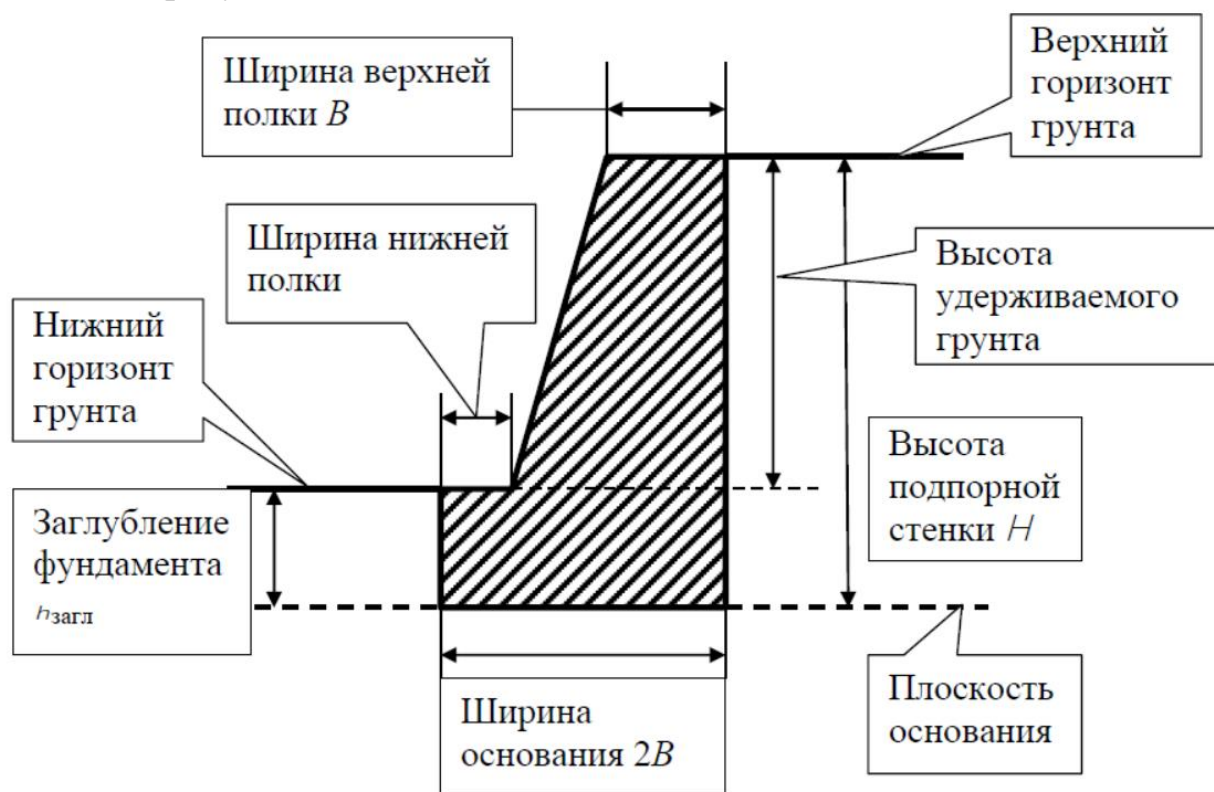


Рисунок 2.2 – Конструктивная схема подпорной стенки

Подпорные стенки устраивают для удержания склонов и откосов, если их крутизна превышает предельно допустимую. Подпорные стенки могут выполнять функции набережной или ограждения подвального помещения здания.

Давление грунта на подпорные стенки зависит не только от свойств грунтов засыпки и изменения этих свойств во времени (уплотнение, релаксация), но и от величины возможных перемещений стенок.

Расчет подпорной стенки сводится к определению ее устойчивости против сдвига по основанию и опрокидыванию при повороте вокруг внешнего ребра подошвы.

Проектирование подпорных стен осуществляется с учетом требований [3].

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:

$$h = \frac{P_0}{\gamma}, \quad (2.1)$$

где P_0 – равномерно распределенная нагрузка, кН/м²;

γ_w – удельный вес грунта, кН/м³.

Оценка степени устойчивости сооружения на плоский сдвиг с возможностью его смещения по подошве заключается в определении величины коэффициента устойчивости, который определяют из выражения

$$K_y = \frac{R}{S}, \quad (2.2)$$

где R – пассивные удерживающие силы;

S – активные сдвигающие силы.

Силы сопротивления сдвигу сооружения (пассивные удерживающие силы) определяют из выражения

$$R = T + C_c, \quad (2.3)$$

где T – силы трения, возникающие под сооружением в плоскости основания, определяемые из выражения

$$T = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.4)$$

где P – вес подпорной стенки, кН;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта;

Вес подпорной стенки

$$P = V \cdot \gamma_b, \quad (2.5)$$

где γ_b – удельный вес бетона, кН/м³.

Бетоны подразделяются:

1) на *особо тяжелые* – $\gamma_6 = 25$ кН/м³ (средняя плотность 2500 кг/м³ и более), приготовленные на природных или искусственных рудосодержащих заполнителях, используют для строительства специальных защитных сооружений;

2) *тяжелые* – $\gamma_6 = 18–25$ кН/м³ (средняя плотность 1800–2500 кг/м³), в качестве заполнителей используют песок, гравий, щебень из естественного камня или гравия, отвальные, доменные и металлургические шлаки;

3) *легкие* – $\gamma_6 = 5–18$ кН/м³ (средняя плотность 500–1800 кг/м³), 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/м³ (средняя плотность менее 500 кг/м³), предназначены для теплоизоляции зданий и сооружений.

C_c – силы сцепления грунта по контактной площади по подошве сооружения, определяемые из выражения:

$$C_c = S_{\text{под}} \cdot C, \quad (2.6)$$

где C – сцепление грунта, кН/м²;

$S_{\text{под}}$ – площадь основания из расчета на 1 м длины стенки, м²:

$$S_{\text{под}} = 2 \cdot B, \quad (2.7)$$

где B – ширина подпорной стенки, м.

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.

2.1 Определение устойчивости подпорной стенки от идеально сыпучего грунта

Активное давление от песчаной засыпки ($c = 0$, $\varphi \neq 0$) на уровне подошвы фундамента, кН/м², определяется по формуле

$$P_a = \gamma \cdot H \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа}, \quad (2.8)$$

где γ – удельный вес, кН/м³;

H – высота подпорной стенки, м;

φ – угол внутреннего трения, град.

Пассивное давление от подпорной стенки на песчаный грунт

$$P_n = \gamma \cdot h_{\text{загл}} \cdot \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа}, \quad (2.9)$$

где $h_{\text{загл}}$ – заглубление фундамента, м.

Эпюры распределения активного и пассивного давления на подпорную стенку приведены на рисунке 2.3.

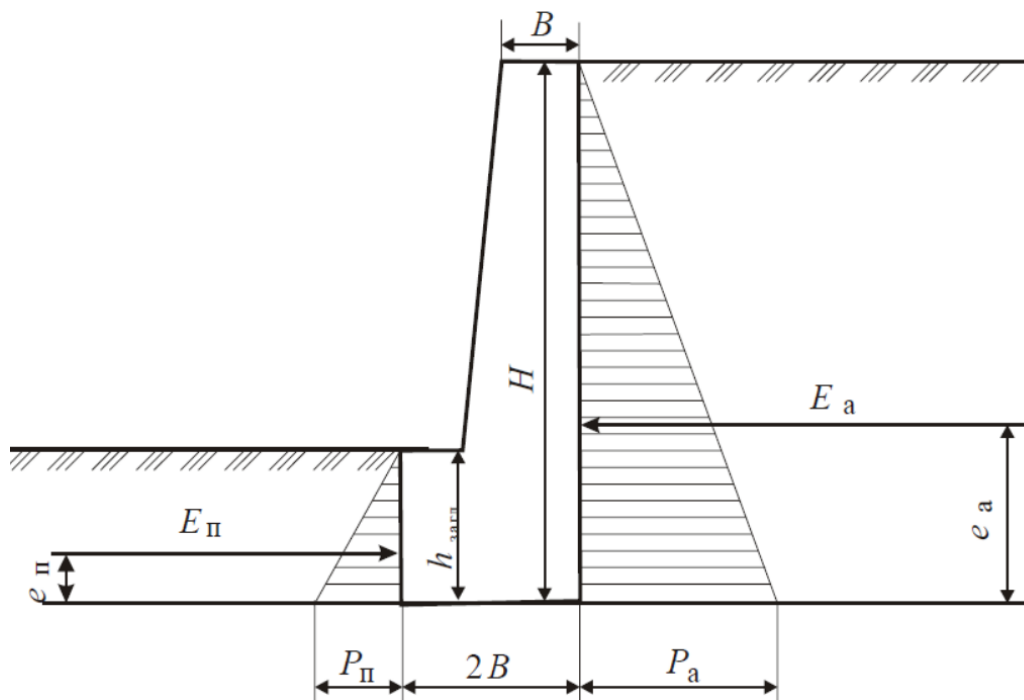


Рисунок 2.3 – Эпюры активного и пассивного давлений при песчаной засыпке

Главное активное давление E_a несвязного грунта на 1 м длины стенки высотой H без пригрузки определяют по формуле

$$E_a = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (2.10)$$

где H – высота подпорной стенки, м.

Расстояние e_a точки приложения силы E_a от подошвы фундамента стенки

$$e_a = \frac{1}{3} \cdot H, \quad (2.11)$$

Полное пассивное давление E_n на 1 м длины стенки определяют по формуле

$$E_n = \gamma \cdot \frac{h_{\text{загл}}^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (2.12)$$

где $h_{\text{загл}}$ – заглубление фундамента стенки, м.

Расстояние e_n точки приложения силы E_n от подошвы фундамента стенки

$$e_n = \frac{1}{3} \cdot h_{\text{загл}}. \quad (2.13)$$

2.2 Определение устойчивости подпорной стенки от идеально сыпучего грунта и дополнительной равномерно распределенной нагрузки

Если на поверхности засыпки действует сплошная, равномерно распределенная нагрузка интенсивностью (q), то ее действие заменяют давлением приведенного столба грунта мощностью

$$h_q = \frac{q}{\gamma}, \quad (2.14)$$

где q – равномерно распределенная нагрузка по поверхности засыпки (пригруз);
 γ – удельный вес грунта засыпки, кН/м³.

Активное давление на уровне верха подпорной стенки

$$P_{a(h_q)} = \gamma \cdot h_q \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.15)$$

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки

$$P_{a(h_q+H)} = \gamma \cdot (h_q + H) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.16)$$

Эпюры распределения активного и пассивного давлений на подпорную стенку приведены на рисунке 2.4.

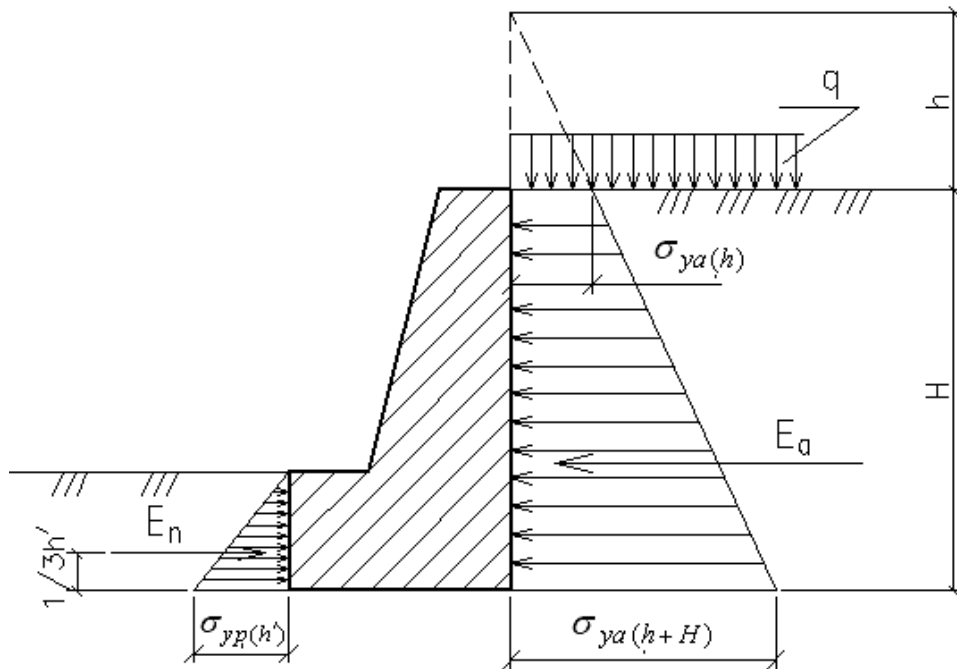


Рисунок 2.4 – Эпюры давлений при песчаной засылке с пригрузом

Полное активное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки высотой H

$$E_a = \frac{\gamma}{2} \cdot (H^2 + 2 \cdot h_q \cdot H) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2.17)$$

Расстояние e_a точки приложения силы E_a от подошвы фундамента стенки

$$e_a = \frac{H}{3} \cdot \frac{H + 3 \cdot h}{H + 2 \cdot h}. \quad (2.18)$$

Полное пассивное давление и точки приложения пассивного давления определяются по тем же формулам, что и при расчете давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта без пригруза.

2.3 Определение устойчивости подпорной стенки от связного грунта

В грунтах, обладающих сцеплением и углом внутреннего трения, величина полного бокового давления уменьшается на величину давления p_e , определяемого из выражения

$$p_e = \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (2.19)$$

Это давление можно заменить эквивалентным слоем грунта, в котором, благодаря наличию сил сцепления, давление будет равно нулю:

$$h' = \frac{C}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (2.20)$$

Следовательно, при глинистой засыпке величина полного бокового давления уменьшается, а величина полного пассивного давления увеличивается. Эпюра вместо треугольной конфигурации принимает трапециевидную форму.

Активное давление на подпорную стенку с учетом сцепления на уровне подошвы

$$P_{a(h'+H)} = P'_a = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.21)$$

Активное давление грунта без учета сцепления

$$P_{a\varphi} = P'_a = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.22)$$

На некоторой глубине суммарное давление будет равно нулю. Из условия $Pa = 0$ находим высоту h_c

$$h_c = \frac{2 \cdot C}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)}. \quad (2.23)$$

Равнодействующая активного давления

$$E_a = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 \cdot C \left[H \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{C}{\gamma} \right]. \quad (2.24)$$

Расстояние e_a точки приложения силы E_a от подошвы фундамента стенки

$$e_a = \frac{1}{3} \cdot (H - h_c). \quad (2.25)$$

Пассивное давление на поверхности фундамента подпорной стенки (при $h_{загл} = 0$) определяют из выражения

$$P'_n = 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.25)$$

Пассивное давление грунта на подпорную стенку на уровне подошвы фундамента с учетом сцепления определяют следующим образом:

$$P''_n = \gamma \cdot h_{загл} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.26)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунтах:

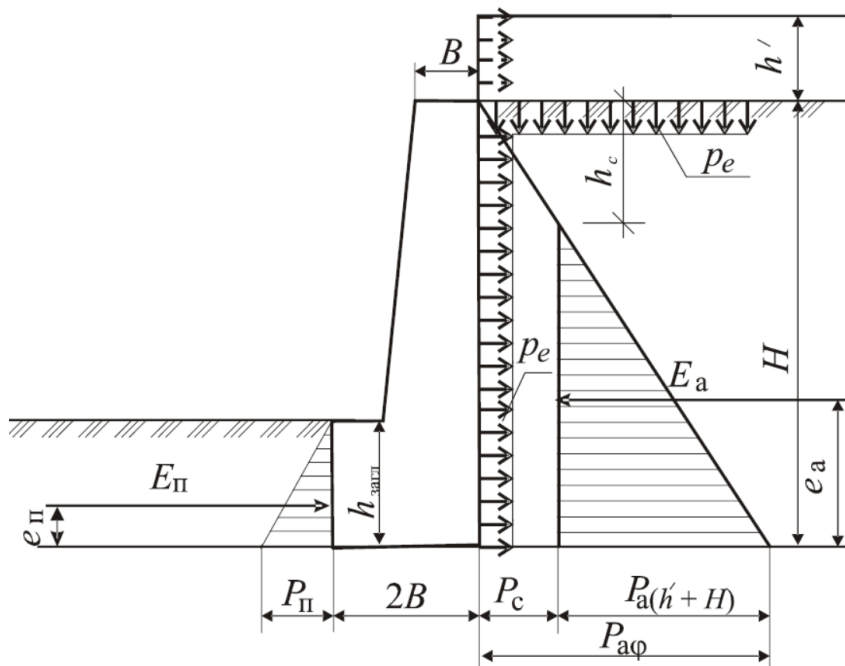
$$E_n = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 \cdot C \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2.27)$$

Расстояние e_n точки приложения силы E_n от подошвы фундамента стенки:

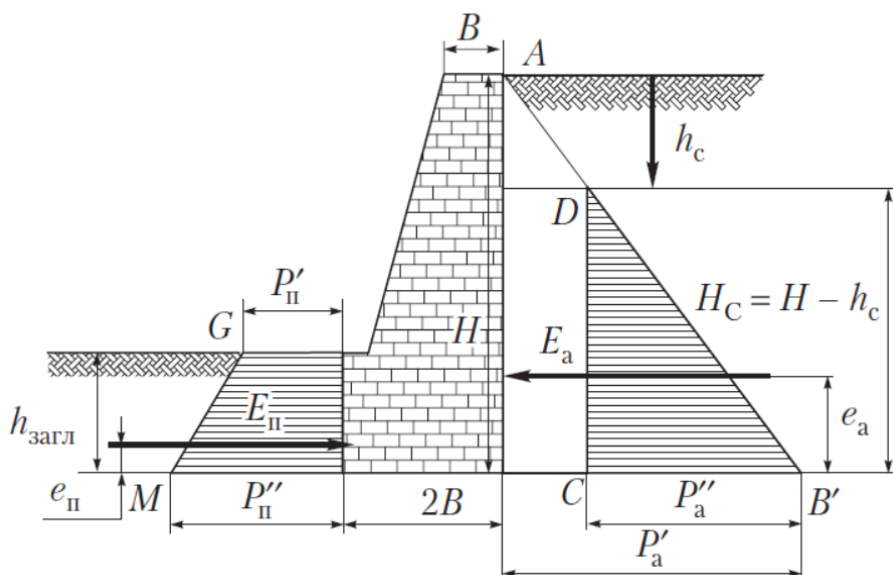
$$e_n = \frac{h_{загл}}{3} \cdot \frac{(P''_n + 2 \cdot P')}{(P''_n + P')}. \quad (2.28)$$

Эпюры распределения активного и пассивного давлений на подпорную стенку приведены на рисунке 2.5.

a)



б)



а) со стороны активного давления; б) со стороны активного и пассивного давлений
Рисунок 2.5 – Эпюры давлений при засыпке связным грунтом

2.4 Определение устойчивости подпорной стенки в виде набережной

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.

Если горизонт воды расположен выше подошвы сооружения, то в соответствии с законом Архимеда сооружение теряет в весе столько, сколько весит вытесненная им вода.

Грунт со стороны засыпки будет находиться в двух состояниях:

- 1) выше уровня горизонта вод – в сухом состоянии;
- 2) ниже уровня горизонта вод – в водонасыщенном.

Высота подпорной стенки выше уровня воды определяется по формуле

$$Z = H - (h_{\text{загл}} + UB), \quad (2.29)$$

где H – высота подпорной стенки, м;

$h_{\text{загл}}$ – глубина фундамента подпорной стенки, м;

UB – уровень воды перед подпорной стенкой, м.

Активное давление грунта, лежащего выше уровня воды, определяют из выражения

$$P'_a = \gamma \cdot Z \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.30)$$

Удельный вес грунта во взвешенном состоянии определяют по формуле

$$\gamma_{sb} = \gamma - \gamma_w. \quad (2.31)$$

Высоту слоя эквивалентного грунта (водонасыщенного), создающего такое же давление на слой грунта ниже уровня воды, как создавал сухой грунт, определяют из выражения

$$h = \frac{\gamma \cdot Z}{\gamma_{sb}}. \quad (2.32)$$

Общая приведенная высота слоя грунта засыпки, находящегося в водонасыщенном состоянии, включает высоту эквивалентного слоя, глубину фундамента и уровень воды перед стенкой:

$$H_w = h + h_{\text{загл}} + UB. \quad (2.33)$$

Активное давление грунта на уровне подошвы подпорной стенки определяют из выражения

$$P''_a = \gamma_{sb} \cdot H_w \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кПа.} \quad (2.34)$$

Полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящегося выше UB , определяют с учетом высоты подпорной стенки выше уровня воды:

$$E'_a = \gamma \cdot \frac{Z^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2.35)$$

Точку приложения полного активного давления песчаного грунта, находящегося выше UB , также определяют с учетом высоты подпорной стенки выше уровня воды:

$$e'_a = \frac{2}{3} \cdot Z. \quad (2.36)$$

Полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящегося ниже UB :

$$E''_a = \frac{P' + P''_a}{2} \cdot (h_{\text{загл}} + UB). \quad (2.37)$$

Определяют точку приложения полного активного давления песчаного грунта, находящегося ниже УВ:

$$e''_a = \frac{(h_{\text{загл}} + UB)}{3} \cdot \frac{(P''_a + 2 \cdot P'_a)}{(P''_a + P'_a)}. \quad (2.38)$$

Полное активное давление песчаного грунта на 1 м длины подпорной стенки с учетом грунта, находящегося выше и ниже УВ, определяют с учетом соответствующих давлений выше и ниже уровня воды:

$$E_a = E'_a + E''_a. \quad (2.39)$$

Точку приложения полного активного давления E_a определяют из выражения

$$e_a = \frac{E'_a \cdot X}{E'_a + E''_a}, \quad (2.40)$$

где X – расстояние между точками приложения E'_a и E''_a , м:

$$X = H - (e'_a + e''_a). \quad (2.41)$$

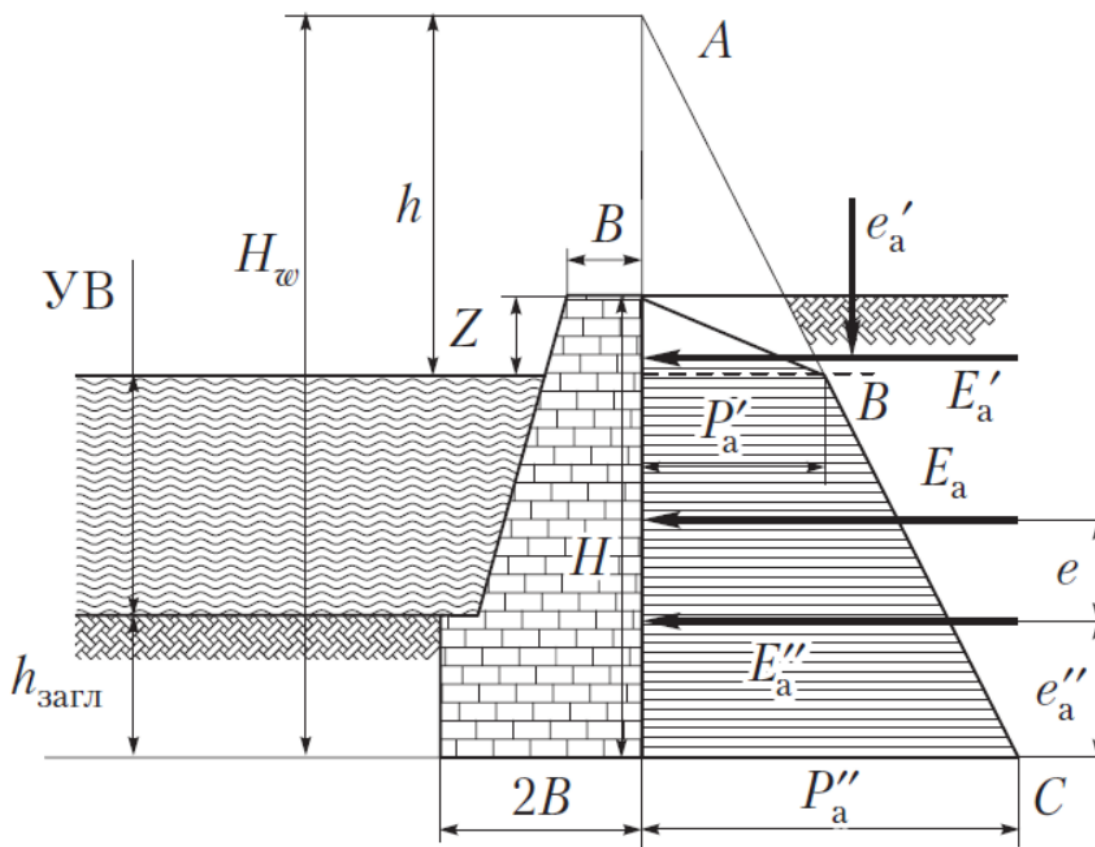


Рисунок 2.6 – Эпюра активного давления песчаного грунта на подпорную стенку при частичном затоплении

ЛИТЕРАТУРА

1. Унифицированные системы документации Республики Беларусь. Система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов : СТБ 6.38-2016. – Введ. 01.06.2017. – Минск : Госстандарт, 2017. – 24 с.
2. Грунты. Классификация : СТБ 943-2007. – Введ. Респ. Бел. 01.01.2008. – Минск : Госстандарт, 2007. – 23 с.
3. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства : ТКП 45-5.01-237-2011 (02250). – Введ. Респ. Бел. 01.07.2011. – Минск : Минстройархитектуры, 2011. – 104 с.
4. Устройство земляного полотна автомобильных дорог : П2-02 к СНИП 3.06.03–85. – Минск : Белавтодор, 2003. – 121 с.
5. Руководство по операционному контролю качества работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений : РД 0219.1.20-2001 – Минск : Комитет по автомобильным дорогам, 2001. – 139 с.
6. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна : учеб. пособие / Ю. Г. Бабаскин. - Минск : Новое знание, 2013. – 462 с.
7. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение. Практикум / Ю. Г. Бабаскин – Минск : Вышэйшая школа, 2020. – 319 с.
8. Бабаскин, Ю. Г. 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.
9. Беспалова, М. В. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы / М. В. Беспалова ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 45 с.
10. Беспалова, М. В. Механика грунтов в задачах и примерах : пособие / М. В. Беспалова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 63 с.
11. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студентов спец. Т.19.03 – «Строительство дорог и транспортных объектов». Брест, 2000. – 30 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Форма титульного листа)

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

Допущена к защите

«__» _____ 20__ г.

_____ Д.Н. Клебанюк

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

на тему: «Устойчивость откосов и подпорных стенок»

Исполнитель: студент группы _____

Ф.И.О.

шифр _____

Руководитель: Ф.И.О.

«__» _____ 20__ г.

Брест, 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Форма бланка задания)
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Строительный факультет
Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И.О.Ф.
(подпись)
«__» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ на курсовую работу по дисциплине

«Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»

Студенту(ке)

1. Тема работы: «Устойчивость откосов и подпорных стенок»

2. Сроки сдачи студентом законченной работы

3. Исходные данные к работе: категория дороги _____ $V_d =$ _____ м

№ вариан-та	№ зада-ния	H, м	h_1 , м	h_2 , м	$h_{загл}$, м	1:m	2b, м	γ , кН/м ³	ϕ , град.	C, кПа	P_0 , кПа
	1.1										
	1.2										
	1.3										
	1.4										
	1.5										
	2.1										
	2.2										
	2.3										
	2.4										

4. Содержание расчетно-пояснительной записки:

Реферат (краткое содержание выполненной работы, сведения об объеме работы, количестве иллюстраций и используемых источников, содержащихся в пояснительной записке).

Оглавление.

Введение (цели и задачи курсовой работы).

1. Определение устойчивости откосов насыпей и глубоких выемок

1.1. Проектирование контура равнопрочного откоса при заданном коэффициенте устойчивости графоаналитическим методом ($k_y =$ _____).

1.2. Расчет устойчивости откоса выемки земляного полотна с учетом фильтрационного давления по методу плоских поверхностей скольжения.

1.3. Расчет устойчивости откоса насыпи земляного полотна с учетом взвешивающего (гидростатического) давления.

1.4. Расчет устойчивости откоса насыпи земляного полотна при фильтрационном (гидродинамическом) режиме работы откоса.

2. Определение давления грунтов на подпорную стенку и расчет ее устойчивости

2.1. Расчет устойчивости подпорной стенки в песчаном грунте.

2.2. Расчет устойчивости подпорной стенки при наличии нагрузки на поверхности засыпки.

2.3. Расчет устойчивости подпорной стенки в глинистом грунте.

2.4. Расчет устойчивости подпорной стенки при наличии грунтовых вод.

Заключение.

Список использованной литературы.

5. Консультанты по курсовой работе

6. Дата выдачи задания _____

7. Календарный график выполнения работы

7.1. Изучение исходных данных на выполнение работы – 5 % _____

7.2. Расчет устойчивости откоса насыпей – 25 % _____

7.3. Расчет устойчивости откоса выемки – 20 % _____

7.4. Расчет давления грунтов на подпорную стенку – 20 % _____

7.5. Оформление курсовой работы – 10 % _____

Руководитель _____

(подпись)

Задание принял к исполнению _____

(подпись студента и дата)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Данные для расчета устойчивости откоса (задания № № 1–5)

№№	Категория дороги	Высота откоса Н, м	Крутизна откоса 1: m	Удельный вес грунта, γ , кН/м ³	Сцепление грунта, С, кПа	Угол внутреннего трения, φ^0	ГВВ h_1 , м	Спад воды до уровня ГВ, h_2 , м
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	V	7,0	1:2	20,95	7	18	6	4
2	IV	10,5	1:2	20,75	8	19	8	6
3	III	9,5	1:3	20,84	12	32	7	5
4	II	8,5	1:2	20,85	11	33	8	4
5	V	9,0	1:1,5	18,75	32	15	8	4
6	IV	10,0	1:2	21,5	8	33	8	6
7	III	10,0	1:2	21,0	10	18	7	5
8	II	11,0	1:1,5	20,0	15	18	8	6
9	V	8,5	1:2	19,0	18	18	6	4
10	IV	10,5	1:1	19,5	26	21	7	5
11	III	12,0	1:2,5	22,0	24	22	9	6
12	II	9,0	1:2	21,4	40	14	7	5
13	I	8,0	1:2,5	18,6	38	18	6	6
14	V	7,0	1:1,5	19,8	36	17	5	4
15	IV	7,5	1:2,5	18,2	34	19	9	7
16	V	7,0	1:2	20,95	9	16	8	4
17	IV	10,5	1:2	20,75	10	17	6	6
18	III	9,5	1:3	20,84	16	26	9	5
19	II	8,5	1:2	20,85	13	29	6	4
20	V	9,0	1:1,5	18,75	25	14	6	4
21	IV	10,0	1:2	21,5	14	24	7	6
22	III	10,0	1:2	21,0	15	16	8	5
23	II	11,0	1:1,5	20,0	3	28	7	6
24	V	8,5	1:2	19,0	22	16	5	4
25	IV	10,5	1:1	19,5	24	24	6	5
26	III	12,0	1:2,5	22,0	42	12	8	6
27	II	9,0	1:2	21,4	30	16	6	5
28	I	8,0	1:2,5	18,6	21	25	5	6
29	V	7,0	1:1,5	19,8	23	23	6	4
30	IV	7,5	1:2,5	18,2	6	36	8	7

Таблица В.2 – Данные для расчета давления на подпорную стенку (задание № 6)

Номер варианта	H, м	h _{загл.} , м	2b, м	γ , кН/м ³	φ^0	P ₀ , МПа
1 (16)	9	3	4	18 (18,5)	80(35)	0,18
2 (17)	8	2	3	19 (19,5)	33(38)	0,19
3 (18)	10	3	5	17 (17,5)	28(34)	0,20
4 (19)	9	3,5	3,5	19 (21,5)	29(32)	0,17
5 (20)	11	4	5	20 (20,5)	31(36)	0,21
6 (21)	10	4	5	18 (18,5)	32(37)	0,18
7 (22)	7	2	3	19 (19,5)	30(33)	0,16
8 (23)	8	3	4	17 (17,5)	26(27)	0,18
9 (24)	12	4	5	18 (18,5)	31(22)	0,19
10 (25)	11	3	4	19 (19,5)	30(24)	0,20
11 (26)	6	2,5	4	17,5 (22)	31(36)	0,12
12 (27)	5	3	3	18 (17,5)	32(37)	0,13
13 (28)	6	3,5	5	21 (22)	33(38)	0,14
14 (29)	7	4	3	19 (19,5)	34(39)	0,15
15 (30)	8,5	4,5	4	20 (21)	35(40)	0,16

Таблица В.3 – Данные для расчета давления на подпорную стенку (задание № 7)

Номер варианта	H, м	h _{загл.} , м	2b, м	γ , кН/м ³	φ^0	C, МПа
1	6	2	3	20	18	0,015
2	7	2	3	19	17	0,016
3	8	3	3	18	19	0,017
4	9	3	4	17	18	0,016
5	7	2	3	20	28	0,018
6	6	2	3	19	18	0,016
7	8	3	4	18	16	0,017
8	9	3	3	20	18	0,018
9	7	2	2	20	20	0,019
10	10	3	4	17	18	0,017
11	5	2,5	2,5	16,5	21	0,014
12	6	3	3	17	22	13
13	7	3,5	3,5	17,5	23	12
14	8	1,5	4	18	24	11
15	9	2,5	3,5	18,5	25	10
16	10	2	3	19	26	9
17	5,5	3,5	2,5	19,5	27	8
18	6,5	2,5	2	20	28	6
19	7,5	3,5	2,5	20,5	29	5
20	8,5	4,5	3	21	30	4
21	9,5	2,5	3,5	21,5	31	3
22	10,5	3,5	4	22	32	2
23	9	4	3,5	21,5	33	3
24	8,5	3	3	21	34	5
25	8	2	2,5	20,5	35	7
26	7,5	2	2	20	36	8

Продолжение таблицы В.3						
27	7	3	2,5	19,5	37	9
28	6,5	2	3	19	38	10
29	6	2	1,5	18,5	39	12
30	5,5	1,5	2,5	18	40	13

Таблица В.4 – Данные для расчета давления на подпорную стенку (задание № 8)

Номер вариан- та	H, м	h _{загл.} , м	2b, м	γ , кН/м ³	φ^0
1	8	2	4	19	28
2	7	2	3	20	30
3	9	2	3	19,5	31
4	6	2	2	21	33
5	10	3	4	18,5	29
6	8	2	3	21	29
7	7	2	2	20	32
8	9	3	3	18	29
9	6	2	3	18,3	27
10	7	2	4	17,6	26
11	5,6	3	2,5	16,5	33
12	6	2,5	3	17	34
13	6,5	2	3,5	17,5	35
14	7	3	4	18	36
15	7,5	2,5	3,5	18,5	37
16	8	2	3	19	38
17	8,5	3	2,5	19,5	39
18	9	2,5	2	20	40
19	9,5	2	2,5	20,5	30
20	10	3,5	3	21	31
21	9,5	3	3,5	21,5	32
22	9	2,5	4	22	33
23	8,5	2	3,5	21,5	34
24	8	3,5	3	20	35
25	7,5	3	2,5	19,5	36
26	7	2,5	2	19	37
27	6,5	2	2,5	18,5	38
28	6	2	1,5	18	39

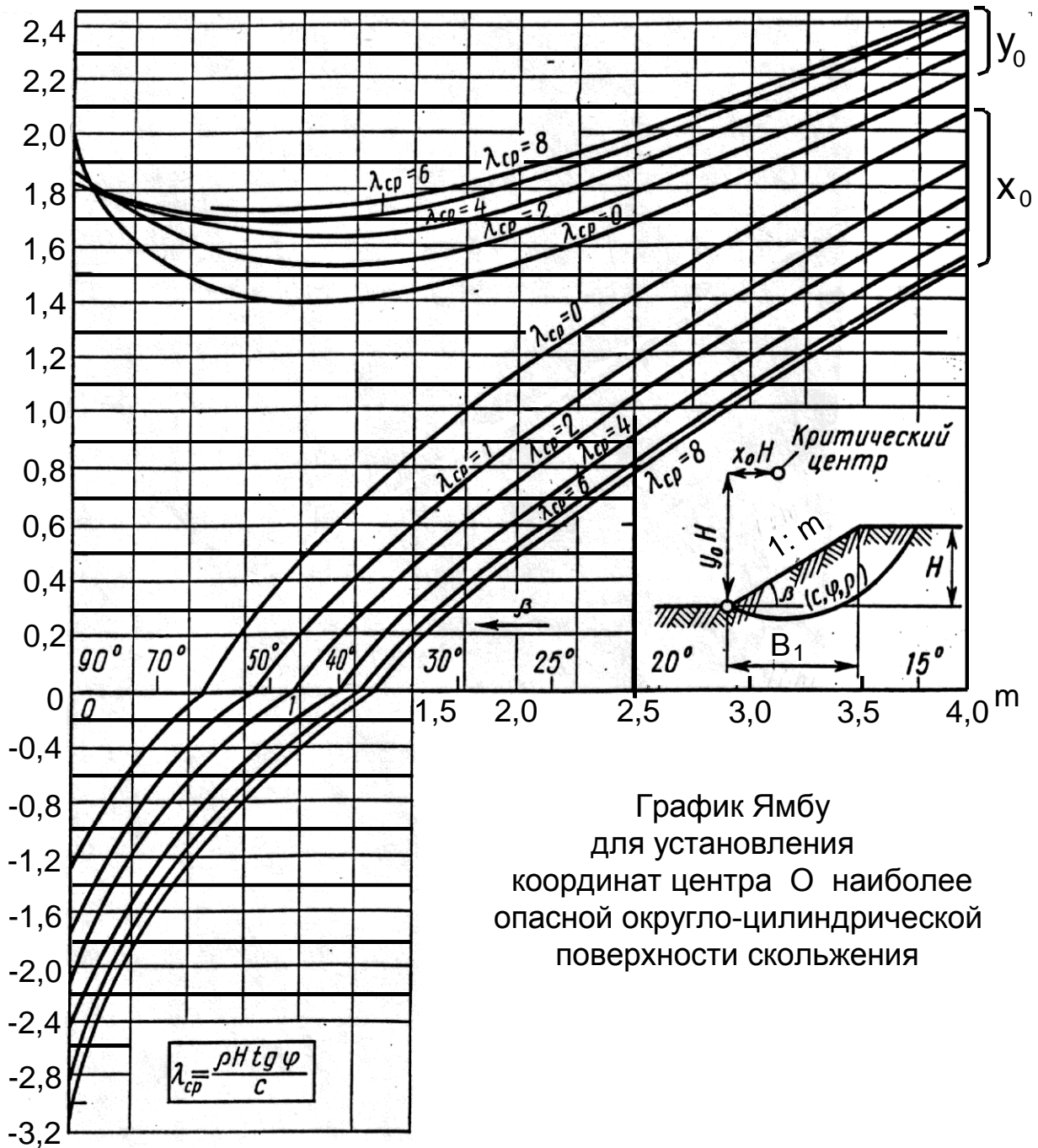


Рисунок Г.1 – Номограмма для определения координат центра кривой (по Ямбу)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

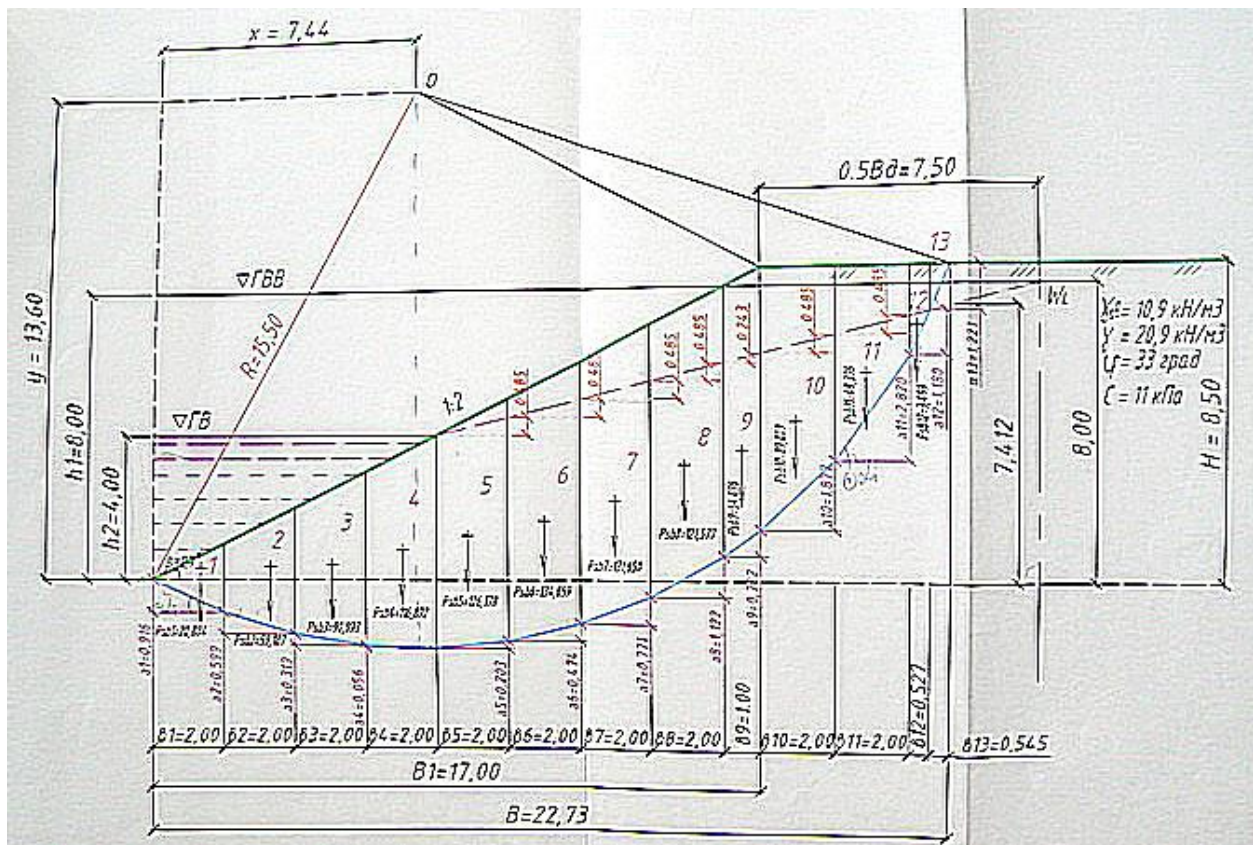
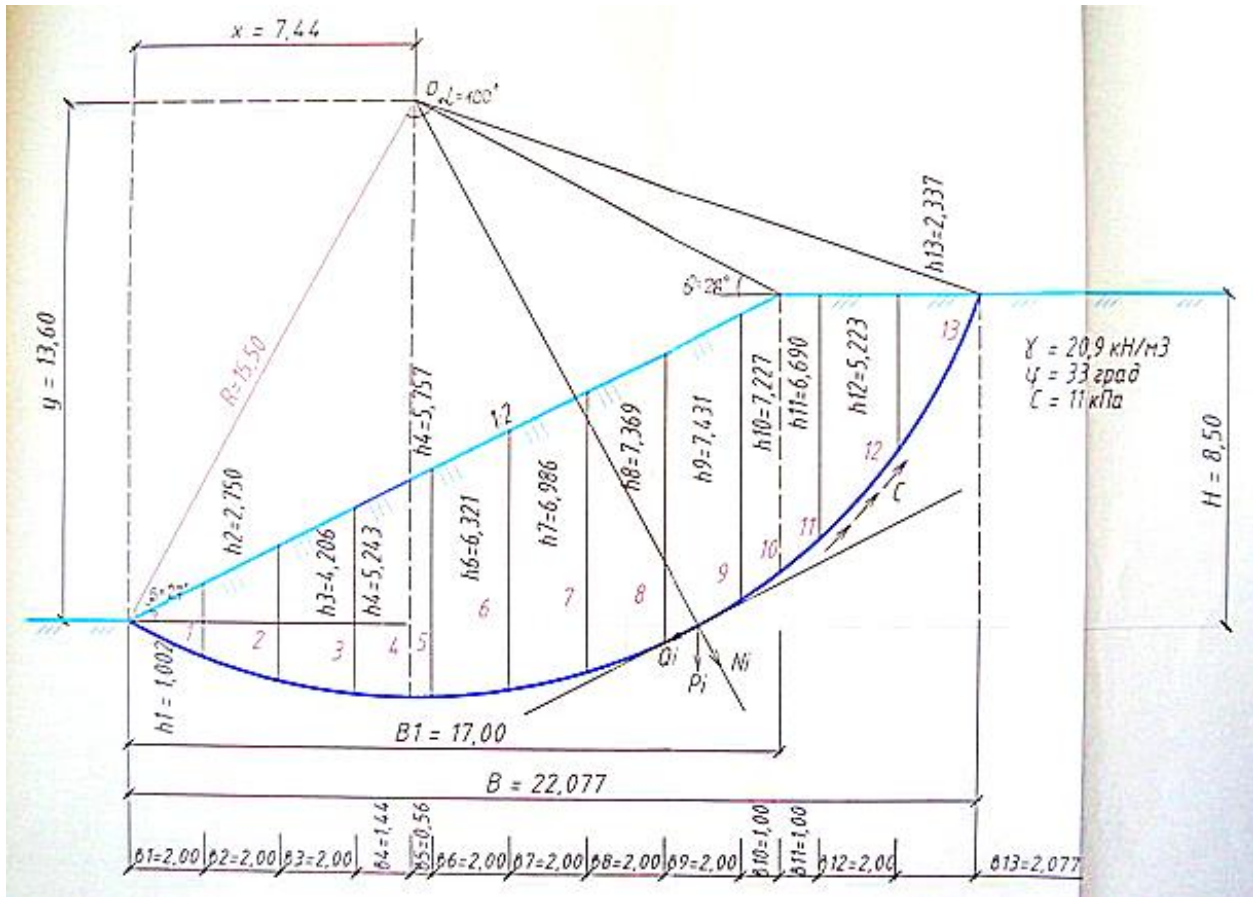


Рисунок Д.1 – Образец расчетных схем определения устойчивости откоса по методу КЦПС

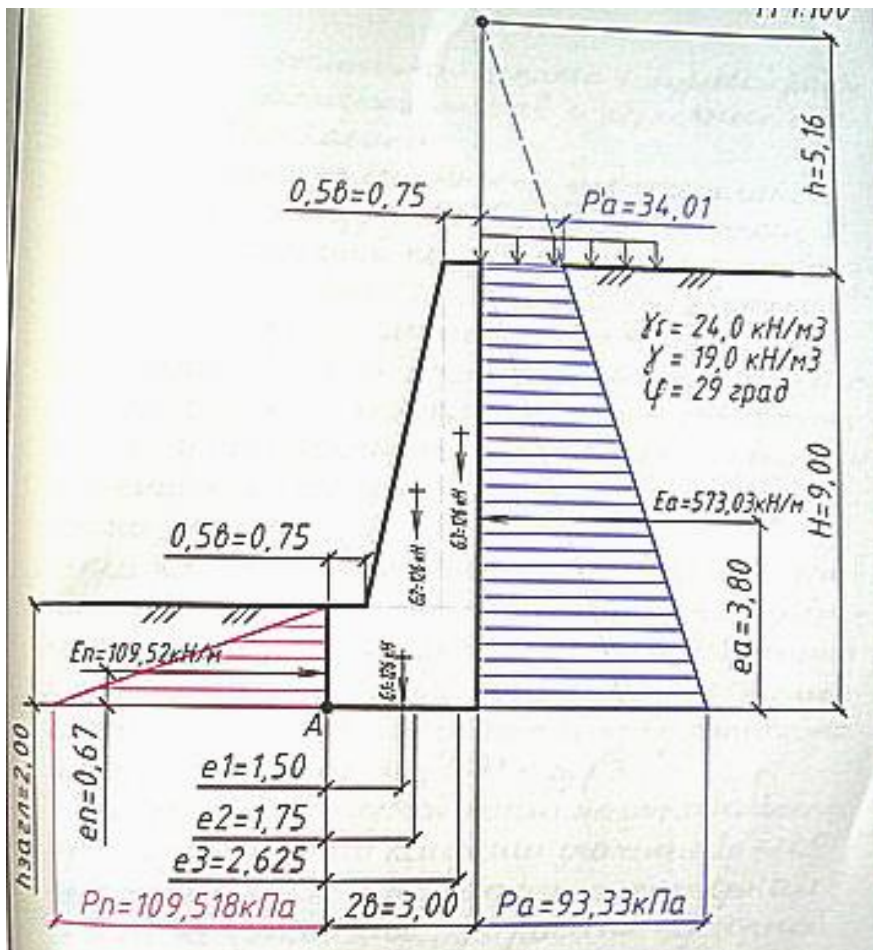


Рисунок Д.2 – Образец расчетной схемы определения устойчивости подпорной стенки

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

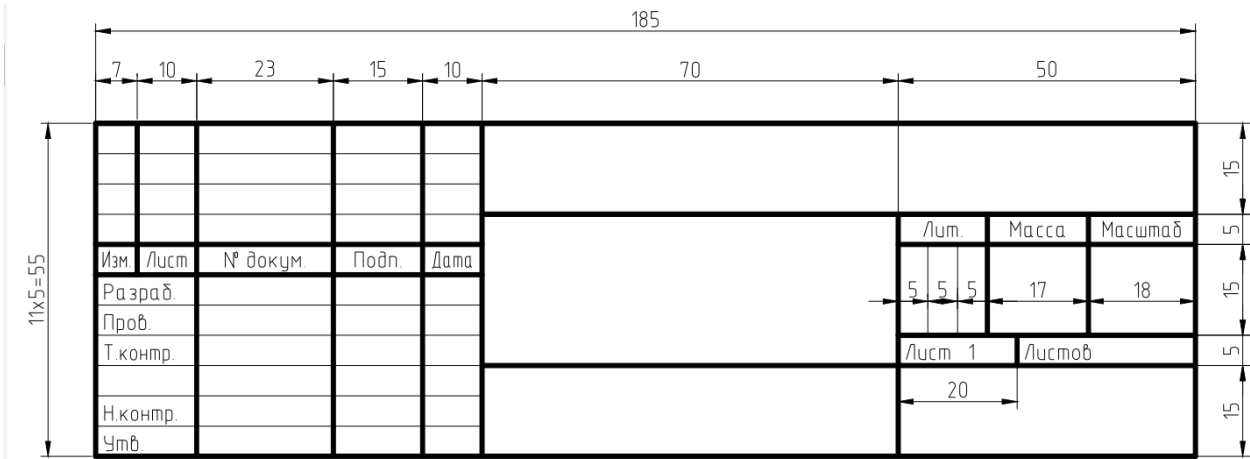


Рисунок Е.1 – Образец надписи к чертежам и схемам

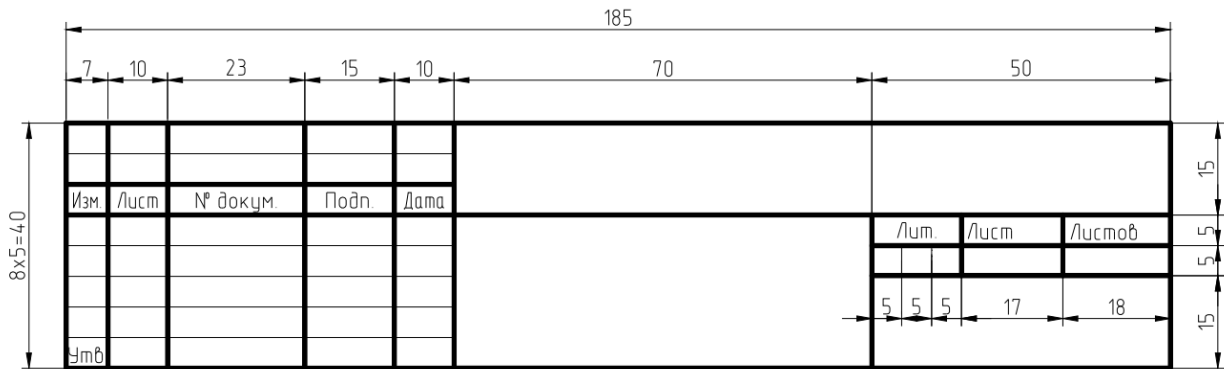


Рисунок Е.2 – Образец надписи для первого листа текстового документа

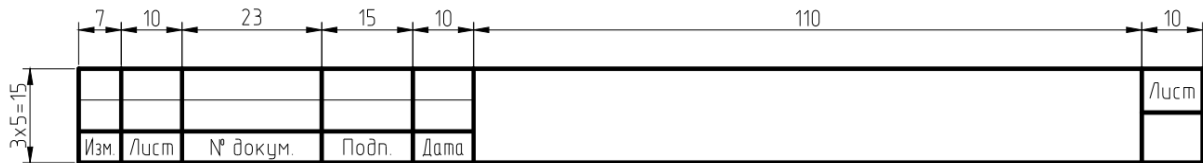


Рисунок Е.3 – Образец надписи для последующих листов документа

Учебное издание

Составители:

*Клебанюк Дмитрий Николаевич
Шведовский Петр Владимирович*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

на тему: «Устойчивость откосов и подпорных стенок»
по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»

для студентов специальности «Строительство зданий и сооружений»
профилизация 7-07-0732-01 «Автомобильные дороги»

Ответственный за выпуск: Клебанюк Д. Н.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная верстка: Горбач А. А.

Корректор: Северянина А. Г.

Издательство БрГТУ

Подписано в печать 27.12.2023 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».

Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 2,56. Усл. изд. л. 2,75. Заказ № 1413.

Тираж 30 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/25 от 24.03.2014 г.

