

2058

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ

---

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

Ю.Г.Бабаскин

**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»

Минск 2000

УДК 624.131.1

Б12

Бабаскин Ю.Г. Свойства грунтов и их влияние на устойчивость инженерных сооружений: Метод. пособие к курсовой работе по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студ. спец. Т.19.03 - «Строительство дорог и транспортных объектов». - Мн.: БГПА, 2000. - 74 с.

Методическое пособие составлено с целью оказания помощи студентам при написании курсовой работы по дисциплине «Инженерная геология и механика грунтов».

Предлагаемое издание включает четыре раздела, охватывающие вопросы минерального состава и физико-механических свойств грунтов, а также устойчивости откосов и давления грунтов на инженерные сооружения.

Издание предназначено для студентов 2 курса специальности Т.19.03 - «Строительство дорог и транспортных объектов».

Рецензент В.А. Веренько

## Введение

Одним из основных разделов инженерной геологии является раздел «Грунтоведение», где изучаются различные по генезису, возрасту, петрографическому составу горные породы.

Особенностью инженерно-геологического изучения состава и строения горных пород является влияние минерального состава на свойства грунтов. Поэтому первый раздел предлагаемого методического пособия посвящен минералам, характеристике их физических свойств, изучению их кристаллических решеток и типов связей, возникающих в кристаллах на атомном и молекулярном уровнях, ознакомлению с методами изучения минерального состава горных пород. Рассмотренные основные виды породообразующих минералов входят в состав грунтов и влияют на их свойства.

Второй раздел посвящен глубокому изучению физических, водных и механических свойств горных пород. В нем представлены не только перечень характеристик с математическими формулами для их определения, но и лабораторные методы, с помощью которых эти характеристики определяются, перечислены рекомендуемые приборы и оборудование.

Важно, чтобы студенты представляли полный объем исследований, которые могут быть проведены с грунтами, для качественной характеристики пород различного генетического и петрографического типа. С этой целью представлены схемы последовательности изучения состава, строения и свойств от скальных до глинистых пород.

Определение вышеперечисленных свойств должно проводиться с соблюдением требований норм, правил и стандартов. Поэтому большое внимание уделено классификации горных пород с учетом новых документов: СТБ 943-93, ГОСТ 5180-84, ГОСТ 12248-96, ГОСТ 22733-77, ГОСТ 24143-80, ГОСТ 25584-90, ГОСТ 30416-96 и др.

Необходимо не только уметь определять свойства грунтов, но и уметь читать графическое изображение в виде диаграмм, циклограмм, кривых и номограмм. С этой целью студенты знакомятся с основными навыками построения номограмм и выражения общих физических свойств через различные зависимости.

Определение физических, водных и механических свойств грун-

тов необходимо для использования их в расчетах и вычислениях. Курсовая работа содержит раздел, в котором студенты проводят расчет устойчивости откосов и склонов на основании определенных показателей грунтов. Расчетная часть работы включает два основных метода, применяемых при оценке устойчивости: метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения и метод плоских поверхностей скольжения, - которые используются для однородных и слоистых грунтов.

Проведенный расчет может указать на неустойчивость грунтового массива, что потребует от студента применения конкретных инженерных решений. Одним из способов повышения устойчивости откосов является строительство подпорных стенок, конструкция которых зависит от активных давлений, возникающих в грунтовом массиве со стороны засыпки.

Выполнив задания по каждому из перечисленных разделов, студент приобретает знания:

- о свойствах и формах связей в кристаллических минералах, о современных методах исследования минерального состава пород;

- о полноте комплекса исследований горных пород, включающего физические, водные и механические свойства, о методах их определения, приборах и оборудовании, применяемых при испытаниях;

- о применимости физико-механических свойств грунтов в инженерных расчетах;

- об оценке устойчивости откосов и склонов различными методами в зависимости от их сложения;

- о применении инженерных сооружений, подтвержденные расчетами и эпюрами.

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и одного листа графического материала.

Пояснительная записка выполняется на листах белой писчей бумаги формата 210×297 мм, за исключением расчетных схем (разд. 3 и 4), которые выполняются на миллиметровой бумаге того же формата. Каждый лист пояснительной записки имеет рамку с полями: сверху и внизу – 20 мм, слева – 35 мм, справа – 10 мм. Каждый раздел начинается с новой страницы. Изложение материала в разделе производится в соответствии с заданием. Перечень необходимых листов в пояснительной записке:

титульный лист;  
введение;  
содержание;  
раздел 1;  
раздел 2;  
раздел 3;  
раздел 4;  
заключение;  
список используемой литературы.

В пределах раздела могут быть подразделы, обозначенные в соответствии с заданием.

Схемы и графики выполняются только в карандаше, под линейку и лекала. Текст пояснительной записки пишется ручкой одного цвета – черного или синего.

Лист графического материала имеет формат А1 (594×841 мм). На листе выполняется рамка, а в правом нижнем углу – штамп. Лист ориентируется вдоль большей стороны и делится горизонтальной прямой пополам. Верхняя половина листа вертикальной прямой разбивается на две равные части. Нижняя часть листа двумя вертикальными прямыми – на три равные части. Таким образом, получается пять прямоугольников, в которых помещаются следующие рисунки и чертежи:

- верхний левый – расчетная схема в масштабе одного из методов оценки устойчивости откоса (по указанию преподавателя);
- верхний правый – расчетная схема подпорной стенки с эпюрами, в масштабе;
- нижний левый – номограмма;
- нижний средний – схема прибора для определения механических свойств грунтов;
- нижний правый – решетка Браве.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА

При строительстве различных инженерных сооружений, в том числе автомобильных дорог, аэродромов, тоннелей и мостов, горные породы используются как естественные основания этих со-

оружений и как материал для их строительства. Горные породы состоят из множества минералов.

Минералы – это природные химические соединения или самородные элементы, относительно однородные по химическому составу и физическим свойствам и образованные в результате разнообразных физико-химических процессов, происходящих в земной коре и на поверхности земли. Из трех тысяч известных в настоящее время минералов в образовании горных пород принимают участие не более двадцати пяти, называемых породообразующими. Среди породообразующих минералов различают главные и второстепенные.

Минеральный состав оказывает весьма значительное влияние на многие физические свойства и степень устойчивости горных пород в инженерных сооружениях. Он резко меняется в зависимости от исходного состава, степени раздробленности, условий формирования и залегания горной породы.

Большинство минералов представлено кристаллическим веществом. Атомы в кристаллах расположены закономерно – наподобие узлов пространственных решеток и строго определенном порядке. В простых кристаллах структурная единица состоит из одного атома (железо, медь, серебро). В кристаллах более сложных веществ структурная единица содержит несколько атомов или молекул одного или нескольких химических элементов. Французский кристаллограф Огюст Браве математическим путем доказал, что в каждой кристаллической решетке из бесконечного числа параллелепипедов повторяемости всегда можно выбрать такой, с помощью которого можно охарактеризовать всю решетку в целом. Параллелепипед повторяемости характеризуется шестью параметрами: трансляциями, являющимися его ребрами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , и углами между ними  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Все кристаллические структуры описываются четырнадцатью трансляционными группами.

Под координационным числом понимают число ближайших соседних атомов или ионов одного вида, находящихся на одинаковом расстоянии от атома или иона, принятого за центральный. Координационное число (к.ч.) в структурах кристаллов в значительной степени определяется природой сил, действующих между частицами. Металлические структуры стремятся к высокой координации –

12 или 8. Структуры металлоидов обладают наименьшими координационными числами – 3-4.

Силы, связывающие между собой атомы в кристаллах, почти полностью электрические, роль магнитных взаимодействий весьма незначительна, гравитационных - ничтожна. Химическая связь возникает при сближении атомов и обуславливается взаимодействием внешних валентных электронов. В настоящее время различаются связи:

гетерополярная,  
гомеополярная,  
металлическая,  
ван-дер-ваальсовая,  
водородная.

Если минералы не имеют внешних признаков правильного строения, их называют некристаллическими или аморфными. Классификация минералов основывается на их химическом составе.

### Задание к разделу 1

1. Дать определение минералам [1, 2].
2. Перечислить классы минералов и представить подробную характеристику тому классу, к которому принадлежит выбранный минерал [2].
3. Представить подробную характеристику, включая и химическую формулу, физическим свойствам минерала [2, 3].
4. Начертить и дать характеристику кристаллической решетке O. Браве [4].
5. Привести характеристику типа химической связи с определением координационного числа [4].
6. Представить анализ метода определения минерального состава песчаных, глинистых и карбонатных пород [5].

Изложение материала по разд. 1 осуществлять в соответствии с исходными данными, помещенными в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для выполнения задания (разд. 1)

Показатели		Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Название минерала:										
1.1.	Пирит	01				26					
1.2.	Корунд		02				27				
1.3.	Гематит			03				28			
1.4.	Кварц				04					29	
1.5.	Халцедон					05					30
1.6.	Опал						06				
1.7.	Магнетит							07			
1.8.	Оливин								08		
1.9.	Авгит									09	
1.10.	Роговая обманка										10
1.11.	Тальк	11									
1.12.	Группа монтмориллонита		12								
1.13.	Группа каолинита			13							
1.14.	Мусковит				14						
1.15.	Биотит					15					
1.16.	Гляукоцит						16				
1.17.	Микроклин							17			
1.18.	Ортоклаз								18		
1.19.	Альбит									19	
1.20.	Нефелин										20
1.21.	Апатит	21									
1.22.	Сидерит		22								
1.23.	Магнезит			23							
1.24.	Ангидрит				24						
1.25.	Гипс					25					



1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2.	Типы решеток Браве:										
2.1.	Триклинная примитивная	01				15				29	
2.2.	Моноклинные примитивная		02				16				30
2.3.	Моноклинные базоцентрированная			03				17			
2.4.	Ромбическая примитивная				04				18		
2.5.	Ромбическая базоцентрированная					05				19	
2.6.	Ромбическая объемноцентрированная						06				20
2.7.	Ромбическая гранецентрированная	21						07			
2.8.	Тригональная примитивная		22						08		
2.9.	Тетрагональная примитивная			23						09	
2.10.	Тетрагональная объемноцентрированная				24						10
2.11.	Гексагональная примитивная	11				25					
2.12.	Кубическая примитивная		12				26				
2.13.	Кубическая объемноцентрированная			13				27			
2.14.	Кубическая гранецентрированная				14				28		
3.	Типы связей:										
3.1.	Гетерополярная	01			24	15	06			29	20
3.2.	Гомеополярная	11	02			25	16	07			30
3.3.	Металлическая	21	12	03			26	17	08		
3.4.	Ван-дер-ваальсовая		22	13	04			27	18	09	
3.5.	Водородная			23	14	05			28	19	10

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4.	Методы изучения минерального состава:										
4.1.	Иммерсионный	01			14			27		09	
4.2.	Окрашивания	21	02	13		15	26		08		10
4.3.	Термический		22	03			16	07	28		20
4.4.	Электронномикроскопический		12	23	04	25	06	17		19	30
4.5.	Рентгенографический и электроннографический	11			24	05			18	29	

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ, ВОДНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Физические свойства горных пород характеризуют их физическое состояние, т.е. плотность, влажность, пористость, консистенцию, трещиноватость и выветриваемость в условиях естественного залегания, а также в земляных сооружениях и отвалах.

Главнейшими физическими свойствами являются плотность, пористость, а для полускальных, песчаных и глинистых пород, кроме того, влажность. По этим свойствам можно косвенно судить о прочности, деформируемости и устойчивости горных пород (табл. 2).

Таблица 2

### Физические свойства пород

Название группы пород	Свойства
1	2
Скальные	Плотность высокая (2,65-3,1 г/см <sup>3</sup> ), пористость незначительная - доли процента.
Полускальные	Плотность средняя (2,20-2,65 г/см <sup>3</sup> ), пористость до 10-15%, у отдельных разновидностей выше.

Окончание табл. 2

1	2
Рыхлые несвязные	Плотность (1,40-1,90 г/см <sup>3</sup> ) и пористость (25-40%) изменяются в широких пределах.
Мягкие связные	Плотность (от 1,10-1,20 до 1,90-2,10 г/см <sup>3</sup> ) и пористость (от 12-15 до 75-80%) изменяются в широких пределах.

Основные характеристики физических свойств горных пород для оценки их физического состояния представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики физических свойств

Характеристики	Метод определения	Грунты (область применимости)	Обозначение, размерность	Формула для вычислений
1	2	3	4	5
1. Плотность грунта	Режущим кольцом	Легко поддающиеся вырезке или не сохраняющие свою форму без кольца	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V}$ <p>где <math>m_1</math> - масса кольца с грунтом и пластинками, г;  <math>m_0</math> - масса кольца, г;  <math>m_2</math> - масса пластинок, г;  <math>V</math> - объем грунта, равный внутреннему объему кольца, см<sup>3</sup>;</p> $V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h$
	Взвешивание в воде парафинированных образцов	Пылевато-глинистые немерзлые, склонные к крошению или трудно поддающиеся вырезке		
	Взвешивание в нейтральной жидкости	Мерзлые		

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
2. Плотность сухого грунта	Расчетный	Все грунты	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W}$ <p>где <math>\rho</math> - плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  <math>W</math> - влажность грунта, %</p>
3. Плотность частиц грунта	Пикнометрический с водой, пикнометрический с нейтральной жидкостью	Все грунты, кроме засоленных и набухающих	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s = \frac{m_3}{m_3 + m_4 - m_5} \rho_w$ <p>где <math>m_3</math> - масса сухого грунта, г;  <math>m_4</math> - масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;  <math>m_5</math> - масса пикнометра с водой, г;  <math>\rho_w</math> - плотность воды, г/см<sup>3</sup></p>
	Метод двух пикнометров	Засоленные и набухающие		
		Засоленные		
4. Влажность, в том числе гигроскопическая ( $W_p$ )*	Высушиваемые до постоянной массы	Все грунты	$W$ , %	$W = \frac{m_6 - m_7}{m_7 - m_8} \cdot 100$ <p>где <math>m_6</math> - масса влажного грунта с бюксой и крышкой, г;  <math>m_7</math> - масса высушенного грунта с бюксой и крышкой, г;  <math>m_8</math> - масса пустой бюксы с крышкой, г</p>
5. Влажность границы текучести	Пенетрация конусом	Пылевато-глинистые	$W_L$ , %	

1	2	3	4	5
6. Влажность границы раскатывания	Раскатывные в мгут	Пылевато-глинистые	$W_p$ , %	
7. Полная влагоемкость	Расчетный	Все грунты	$W_n$ , %	$W_n = \left( \frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho} \right) \cdot 100 =$ $= \frac{n}{\rho(1-n)} \cdot 100$
8. Пористость	Расчетный	Все грунты	$n$ , %	$n = \left( 1 - \frac{\rho_d}{\rho} \right) \cdot 100$
	Метод насыщения	Скальные и полускальные		
9. Коэффициент пористости	Расчетный	Все грунты	$e$ , %	$e = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d} =$ $= \frac{n}{1-n} \cdot 100$
10. Число пластичности	Расчетный	Пылевато-глинистые	$I_p$ , %	$I_p = W_L - W_p$
11. Показатель текучести (консистенции)	Расчетный	Пылевато-глинистые	$I_L$	$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$
12. Степень влажности	Расчетный	Все грунты	$S_r$	$S_r = \frac{W}{W_n}$

\*Гигроскопическая влажность – влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, то есть в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха.

Водные свойства горных пород проявляются в их способности изменять состояние, прочность и устойчивость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду или фильтровать ее.

Основными свойствами, определяющими отношение горных пород к воде, являются их водоустойчивость, влагоемкость, капиллярность и водопроницаемость (табл. 4).

## Характеристики водных свойств

Свойства	Показатели	Метод или приборы для определения	Грунты (область применимости метода)	Формула для вычислений
1	2	3	4	5
Водоустойчивость	Скорость и характер размокания	1. Прибор для определения скорости размокания ПРГ-1	Глинистые	$\varepsilon_{sw} = \frac{h_k - h_n}{h_n},$ <p>где <math>h_k</math> - высота образца в кольце после набухания;  <math>h_n</math> - высота образца до увлажнения и набухания</p>
	Величина и влажность набухания (относительное набухание)	2. Метод А.М. Васильева	Глинистые	
	Величина и влажность усадки (относительная просадочность)	3. Высушивание образца в термостате	Глинистые и некоторые полускальные	$\varepsilon_{SL} = \frac{V - V_0}{V} \cdot 100,$ <p>где <math>V</math> - объем режущего цилиндра;  <math>V_0</math> - объем высушенного образца</p>
	Содержание водорастворимых соединений (степень засоленности)	4. Анализ водных и солянокислых вытяжек	Карбонатные, глинистые породы	$D_{SAL} = \frac{m_{SAL}}{m_{c.zp}},$ <p>где <math>m_{SAL}</math> - масса солей в образце;  <math>m_{c.zp}</math> - масса абсолютно сухого грунта</p>

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
	Размягчаемость	5. Сопротивление породы при одноосном сжатии	Скальные и полускальные	$K_p = \frac{R_{сж.в}}{R_{сж.с}}$ <p>где <math>R_{сж.в}</math> - предел прочности при сжатии водонасыщенного образца;  <math>R_{сж.с}</math> - предел прочности при сжатии воздушно-сухого образца</p>
Вла- гоем- кость	Полная влагоемкость	6. Расчетный. Для песков - метод насыщения	Любые	$W_n = \left( \frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho} \right) \cdot 100 =$ $= \frac{n}{\rho(1-n)} \cdot 100$
	Максимальная молекулярная влагоемкость	7. Метод влагоемких сред	Глинистые	$W_{м.м.}$
		8. Метод высоких колонн	Песчаные	
		9. Метод центрифугирования	Песчаные	
Водоотдача. Коэффициент водоотдачи	10. Метод высоких колонн	Песчаные мелкозернистые, скальные, полускальные, галечники	$W_B = W_n - W_{м.м.}$ $\mu_w = \frac{V_B}{V_n}$ <p>где <math>V_B</math> - объем воды, свободно вытекающей из породы, загруженной в трубку;  <math>V_n</math> - объем породы, загруженной в трубку</p>	

1	2	3	4	5
Капиллярность	Высота капиллярного поднятия	11. Стеклопая трубка длиной 80-100 см, капилляриметр конструкции Г.Н. Каменского	Пески мелкие и тонкозернистые. Глинистые породы	$H_k$
Водопроницаемость	Коэффициент фильтрации	12. Прибор Союздорнии для определения коэффициента фильтрации	Песчаные	$K_{\phi 10} = \frac{864 \cdot h}{t \cdot T} \cdot \varphi\left(\frac{S}{H_0}\right),$ <p>где 864 - переводной коэффициент из см/с в м/сут;  <math>h</math> - высота образца, см;  <math>t</math> - время падения уровня воды, с;  <math>T = (0,7 + 0,03T_{\phi})</math> - поправка температуры;  <math>T_{\phi}</math> - фактическая температура воды, °С;  <math>\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)</math> - безразмерный коэффициент, определяемый по таблице (ГОСТ 25384-90)</p>
		13. Прибор Г.Н. Каменского для определения коэффициента фильтрации	Песчаные и глинистые	
		14. Прибор Г. Тиме.	Рыхлые несвязные нарушенного сложения	
		15. Прибор Д. Капецкого	Песчаные и глинистые	
		16. Трубка Г.Н. Каменского	Песчаные	
17. Трубка СПЕЦГЕО	Песчаные и глинистые			



1	2	3	4	5
		18. Компрессионно-фильтрационный прибор	Глинистые	
		19. Прибор ПВ конструкции Д.И. Знаменского – В.И. Хаустова	Глинистые	
		20. Прибор Ю.М. Абелева – А.Н. Озерецковского	Глинистые	

Механические свойства горных пород определяют их поведение под влиянием внешних усилий – нагрузок. Они проявляются и оцениваются прочностью и деформируемостью горных пород.

Свойство горных пород воспринимать нагрузки не разрушаясь называется прочностью, а изменять под нагрузкой форму сложения и объем – деформацией.

Основные зависимости, характеризующие закономерности изменений деформаций и прочности горных пород, приведены в табл. 5.

Минеральный состав, структура, текстура, условия залегания, физическое состояние и физико-механические свойства являются основными генетическими признаками, определяющими петрографический состав горных пород. Различные генетические и петрографические типы пород объединяются в группы по физико-механическим свойствам, характеризующиеся определенными строительными качествами. По этим признакам выделяются пять групп горных пород (табл. 2):

- 1) твердые – скальные;
- 2) относительно твердые – полускальные;
- 3) рыхлые несвязные;
- 4) мягкие связные;
- 5) особого состава, состояния и свойств.

## Характеристики механических свойств

Характеристики	Метод определения	Названия применяемых приборов	Грунты (область применимости метода)	Формула для вычислений
1	2	3	4	5
1. Модуль упругости	Испытание на одноосное сжатие	Рычажный пресс, испытательная машина	Мягкие связные глинистые и полускальные с $R_{сж} < 2,5 \text{ МПа}$	$E_y = \frac{\pi}{4} \frac{P \cdot D(1 - \mu^2)}{\delta_y}$ <p>где <math>\frac{\pi}{4}</math> - коэффициент, учитывающий жесткость штампа;  <math>P</math> - нагрузка;  <math>D</math> - диаметр штампа;  <math>\mu</math> - коэффициент Пуассона;  <math>\delta_y</math> - упругая деформация</p>
2. Модуль деформации	Испытание на одноосное сжатие	Рычажный пресс, испытательная машина	Скальные и полускальные	$E_g = \frac{\sigma}{\delta} = \frac{P \cdot \Delta h}{F \cdot h}$ <p>где <math>\sigma</math> - напряжение;  <math>\delta</math> - относительная деформация;  <math>P</math> - нагрузка;  <math>\Delta h</math> - величина деформации;  <math>F</math> - площадь поперечного сечения;  <math>h</math> - высота образца</p>
	Компрессионные испытания	Компрессионный прибор КПр1	Песчаные и глинистые	
3. Модуль осадки	Компрессионные испытания	Компрессионный прибор КПр1	Песчаные и глинистые	$e_p = 1000\delta$ <p>где <math>\delta = \frac{\Delta h}{h}</math> - относительная деформация</p>

1	2	3	4	5
4. Предел прочности при сжатии	Испытание на одноосное сжатие	Испытательная машина, пресс	Скальные, полускальные, укрепленные	$R_{сж} = \frac{10 \cdot P}{F},$ <p>где <math>P</math> - разрушающая нагрузка, кН;  <math>F</math> - первоначальная площадь основания образца</p>
5. Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона)	Измерение продольных и поперечных деформаций образца при его испытании на одноосное сжатие	Прибор для измерения продольных и поперечных деформаций образца	Мягкие связные, глинистые и полускальные с $R_{сж} < 2,5$ МПа	$\mu = \frac{\delta_{поп}}{\delta_{пр}},$ <p>где <math>\delta_{поп}</math> - относительная поперечная деформация;  <math>\delta_{пр}</math> - относительная продольная деформация.  Для скальных и полускальных грунтов <math>\mu = 0,1-0,4</math>;  для крупнообломочных <math>\mu = 0,27</math>;  для песков и супесей <math>\mu = 0,30</math>;  для суглинков <math>\mu = 0,35</math>;  для глин <math>\mu = 0,42</math></p>
6. Коэффициент бокового давления	Расчетный метод Метод трехосного сжатия	— Стабилометр	Песчаные, глинистые  Полускальные, рыхлые несвязные, мягкие связные	$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu};$ $\xi = \text{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right),$ <p>где <math>\varphi</math> - угол внутреннего трения.  Для скальных грунтов <math>\xi = 0-0,1</math>;  для полускальных <math>\xi = 0,2-0,3</math>;  для песков <math>\xi = 0,35-0,41</math>;  для суглинков и глин <math>\xi = 0,2-0,75</math></p>

1	2	3	4	5
7. Коэффициент сжимаемости	Компрессионные испытания	Компрессионно-фильтрационный прибор конструкции Н.Н. Маслова, прибор конструкции Гидропроекта	Породы естественного сложения - песчаные и нарушенного сложения - глинистые	$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}$ <p>где <math>e_1</math> - коэффициент пористости при давлении <math>P_1</math>;  <math>e_2</math> - коэффициент пористости при давлении <math>P_2</math></p>
8. Коэффициент относительной сжимаемости	Компрессионные испытания	Прибор конструкции Гидропроекта	Песчаные и глинистые нарушенного и естественного сложения	$a_0 = 100 \cdot \frac{\Delta h}{h}$ <p>где <math>\Delta h</math> - изменение высоты образца;  <math>h</math> - первоначальная высота образца</p>
9. Просадочность	Компрессионные испытания	Компрессионный прибор	Лессовые, глинистые	$\delta_h = \frac{h - h_k}{h}$ $\delta_d = \frac{d - d_k}{d}$ $\delta_v = \frac{v - v_k}{v}$ <p>где <math>h, d, v</math> - начальные значения высоты, диаметра и объема образца;  <math>h_k, d_k, v_k</math> - конечные значения высоты, диаметра и объема образца</p>

1	2	3	4	5
10. Набухание	Компрессионные испытания	Прибор для определения свободного набухания грунтов (ПНГ), компрессионный прибор	Глинистые	$\delta_0 = \frac{\Delta h}{h}$ - свободное набухание; $\delta_n = \frac{\Delta h_n}{h}$ - набухание под нагрузкой
11. Сопротивление срезу грунта	Метод консолидированного среза	Срезной прибор, прибор Гидропроекта	Песчаные, глинистые с $I_L \leq 1$	$\tau = p \operatorname{tg} \varphi + C$ , где $p = \frac{P}{F}$ - нормальное давление;
	Метод неконсолидированного среза	Срезной прибор Маслова-Лурье, компрессионная установка для предварительного уплотнения	Суглинистые глины с $I_L \geq 0,5$	$P$ - нормальная нагрузка; $F$ - площадь среза; $\varphi$ - угол внутреннего трения; $C$ - сцепление

Для каждой группы физические, водные и механические свойства имеют вполне определенные значения.

Полный комплекс свойств горных пород и последовательность их изучения представлены для скальных и полускальных, а также для песчаных и глинистых пород на рис. 1 и 2.

Исследование вещественного состава и строения горных пород заключается в проведении макроскопического анализа (прямым и косвенным методом).

При макроскопическом изучении пород дается описание всех основных признаков: цвета и оттенков, формы и размера зерен, особенностей текстуры.

Изучение магматических, метаморфических, осадочных сцементированных и глинистых горных пород под микроскопом является продолжением макроскопического изучения породы. При макроскопическом изучении образцов в шлифах особое внимание уделяют порообразующим и вторичным минералам, присутствию органики.

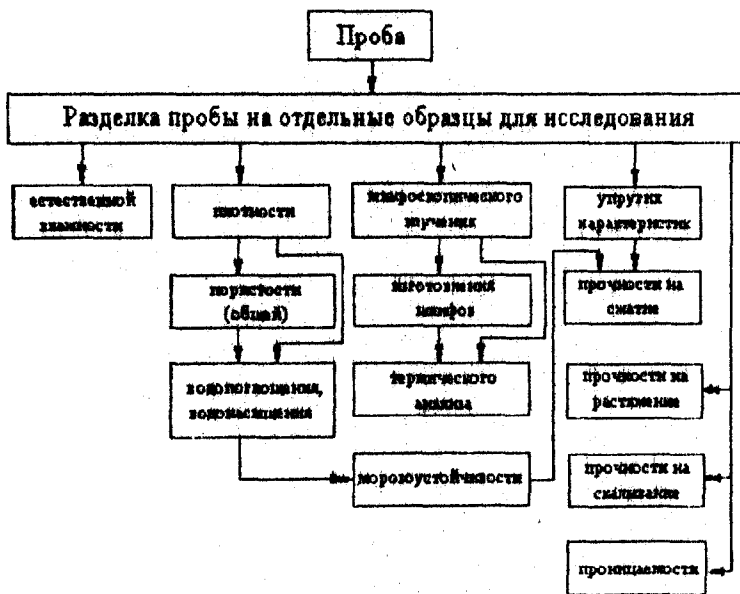


Рис. 1. Последовательность изучения состава, строения и физико-механических свойств скальных и полускальных горных пород

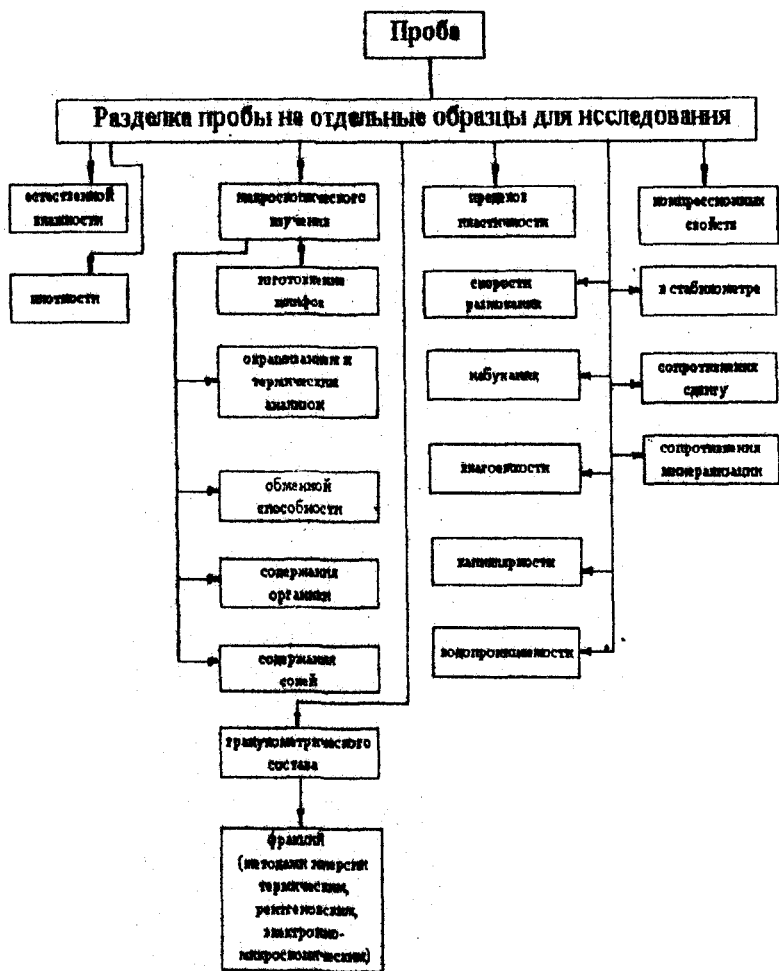


Рис. 2. Последовательность изучения состава, строения и физико-механических свойств песчаных и глинистых пород

Зерновой или гранулометрический состав грунтов основывается на их классификации, приведенной в табл. 6 в соответствии с СТБ 943-93.

Т а б л и ц а 6

Типы и виды грунтов без жестких структурных связей

Под- группа	Название	Особенности	Размер и содержание
1	2	3	4
I. Круп- нооб- ломоч- ные грунты	По грануломет- рическому со- ставу: валунный	При преобладании окатанных частиц	Масса частиц крупнее 200 мм более 50% общей массы
	глыбованный	При преобладании неокатанных частиц	
	галечниковый	При преобладании окатанных частиц	Масса частиц крупнее 10 мм более 50% общей массы
	щебенистый	При преобладании неокатанных частиц	
	гравийный	При преобладании окатанных частиц	Масса частиц крупнее 2 мм более 50% общей массы
дресвяный	При преобладании неокатанных частиц		
	По составу и содержанию заполнителя: с песчаным заполнителем	Размер частиц 2-0,05 мм	При его со- держании более 40 % от общей массы
	с пылевато- глинистым за- полнителем	Размер пыли 0,05- - 0,005 мм Размер глины <0,005 мм	При его со- держании более 30 % от общей массы



1	2	3	4
2. Песчаные грунты (песок – в гранулометрическом составе частиц крупнее 2 мм менее 50 % общей массы)	По гранулометрическому составу: гравелистый крупный		Масса частиц крупнее 2 мм более 25 % общей массы
	средний		Масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 % общей массы
	мелкий		Масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 % общей массы
	пылеватый		Масса частиц крупнее 0,1 мм 75 % и более общей массы
3. Пылевато-глинистые грунты	По содержанию включений по массе: с галькой (щебнем), с гравием (дресвой)	При преобладании окатанных или неокатанных частиц	Содержание соответствующих частиц крупнее 2 мм 15-25 % общей массы
	галечниковый (щебнистый), гравелистый (дресвяный)	При преобладании окатанных или неокатанных частиц	Содержание соответствующих частиц крупнее 2 мм 26-50 % общей массы

Выбор метода определения гранулометрического состава осуществляется с учетом данных, приведенных в табл. 7.

## Методы определения гранулометрического состава грунта

Методы определения	Название метода	Применяемый прибор	Размер частиц
Прямые	1. Ситовой без промывки водой	Набор сит	от 10 до 0,5 мм
	2. Ситовой с промывкой водой		от 10 до 0,1 мм
	3. Пипеточный	Пипетка конструкции М.И. Захарьева	от 0,1 и более до 0,001 мм и менее
	4. Метод А.Н. Сабанина (метод двойного отмучивания)	Прибор А.Н. Сабанина	от 0,1 и более до 0,01 мм и менее
Косвенные	5. Ареометрический	Ареометр для измерения плотности суспензии	от 0,08 до 0,001 мм и менее
	6. С.И. Рутковского	Песчаные фракции – отмучиванием. Глинистые – по величине набухания Н: $\Gamma = 22,67 \cdot Н$ . Пылеватые – как разность между 100% и суммой песчаной и глинистой фракции	от 0,25 до 0,01 мм и менее
	7. Визуальный		от 2 мм и крупнее до 0,25 мм

Результаты гранулометрических анализов изображаются в виде различных графиков:

- 1) диаграммы глинистых пород;
- 2) треугольной диаграммы глинистых пород;
- 3) треугольной диаграммы песчаных пород;
- 4) треугольной диаграммы гравелистых пород;
- 5) интегральной кривой глинистой породы в простом масштабе;

6) интегральной кривой глинистой породы в полулогарифмическом масштабе;

7) кривой по способу Свирьстроя;

8) циклограммы.

В грунтоведении и механике грунтов часто применяются номограммы, представляющие собой комбинацию нескольких графиков, объединенных общими показателями и зависимостями. Применение номограмм в расчетах позволяет сохранить время на вычисления. Наиболее широко распространенные номограммы приведены в табл. 8.

Таблица 8

Перечень используемых номограмм

№ п/п	Наименование номограммы	Ссылка на литературу
1	2	3
1	Номограмма В.А. Приклонского для вычисления плотности сухого грунта по плотности частиц грунта и влажности	[5], с. 107
2	Номограмма В.А. Приклонского для вычисления пористости и коэффициента пористости горных пород по плотности грунта и плотности сухого грунта	[5], с. 116
3	Номограмма для вычисления коэффициента насыщения горных пород водой по их влажности, плотности грунта и пористости	[5], с. 120
4	Номограмма для вычисления коэффициента относительной плотности песка	[5], с. 129
5	Номограмма Н.Н. Биндемана для определения коэффициента фильтрации в приборе Г.Н. Каменского	[5], с. 165
6	Номограмма для определения модуля упругости по скорости распространения продольных волн	[5], с. 214
7	Номограмма для определения вертикальных нормальных напряжений в грунте при нагрузке от насыпи	[1], с. 137
8	Номограмма для определения главных напряжений и углов видимости от величины нагрузки	[6], с. 168
9	График Ямбу для установления координат центра наиболее опасной поверхности скольжения	[6], с. 428

1	2	3
10	Номограммы для определения времени промерзания земляного полотна на критическую глубину (по И. А. Золотарю)	[7], с. 52
11	Номограмма для вычисления коэффициента теплопроводности мерзлых песчаных грунтов	[7], с. 54
12	Номограмма для вычисления высоты насыпи в зависимости от удельного влагонакопления и глубины промерзания	[7], с. 95
13	Номограмма для вычисления вспомогательных координат	[7], с. 147
14	Номограмма для вычисления объема грунта призмы обрушения и длины кривой скольжения при $m=1,5$	[7], с. 149
15	Номограмма для вычисления объема грунта призмы обрушения и длины кривой скольжения при $m=1$	[7], с. 150
16	Номограмма для вычисления объема грунта призмы обрушения и длины кривой скольжения при $m=1,75$	[7], с. 151
17	Номограмма для вычисления скорости осадки основания насыпи	[7], с. 194

### Задание к разделу 2

1. Представить характеристики физических, водных и механических свойств одной из групп горных пород (на основании исходных данных, табл. 9, и инженерно-геологической классификации горных пород, с. 12-13 [5]).

2. Представить схему изучения свойств горной породы в зависимости от исходных данных (рис. 1 или 2).

3. Представить подробную характеристику физического свойства грунта (в соответствии с заданием), описать методы определения, при необходимости начертить схему прибора (на основании исходных данных и табл. 3 [5]).

4. Представить подробную характеристику водных свойств грунта, описать методы определения, при необходимости начертить схему прибора (на основании исходных данных и табл. 4 [5]).

5. Представить подробную характеристику механических свойств грунта, описать методы определения, начертить схему прибора (на основании исходных данных и табл. 5 [5]).

6. Представить характеристику одной подгруппы грунтов без жестких структурных связей (на основании исходных данных, табл. 6 и СТБ 943-93).

7. Выбрать метод определения гранулометрического состава, описать его, начертить при необходимости прибор и изобразить результат анализа одним из графических способов (на основании исходных данных и табл. 7 [5]).

8. Начертить и описать одну из номограмм (исходные данные, табл. 8). Задание необходимо выполнять в соответствии с исходными данными для выполнения задания (разд. 2).

Таблица 9

Исходные данные для выполнения задания (разд. 2)

Показатели	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Наименование горных пород:										
Граниты	01		13							
Базальты		02		14						
Гнейсы			03		15					
Глинистые сланцы				04		16				
Известняки глинистые					05		17			
Доломиты глинистые						06		18		
Пески							07		19	30
Гравий								08	29	20
Галечники	21							28	09	
Глины		22					27			10
Суглинки	11		23			26				
Супеси		12		24	25					

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2. Схема изучения свойств горных пород: скальных и полускальных (рис. 1)	01	02	03 13	04 14	05 15	06 16	17	18		
	11 21	12 22	23	24	25	26	27	28	09 19 29	10 20 30
3. Физические свойства грунта (табл. 3)	01-2 11-5 21-9	02-4 12-6 22-10	03-7 13-2 23-11	04-8 14-4 24-12	05-9 15-7 25-1	06-12 16-8 26-2	17-9 07-1 27-3	18-12 08-2 28-4	09-3 19-7 29-5	10-4 20-8 30-6
	01-3 11-7 21-10	02-5 12-6 22-11	03-6 13-10 23-12	04-10 14-3 24-13	05-3 15-5 25-14	06-5 16-10 26-15	17-3 07-1 27-16	18-10 08-2 28-17	09-3 19-7 29-18	10-4 20-8 30-19
5. Механические свойства грунта (табл. 5)	01-1 11-11 21-10	02-2 12-1 22-11	03-3 13-2 23-1	04-4 14-3 24-2	05-5 15-4 25-3	06-6 16-5 26-4	07-7 17-6 27-5	08-8 18-7 28-6	09-9 19-8 29-7	10-10 20-9 30-8
	6. Типы и виды грунтов без жестких структурных связей: 1) (табл. 6)	01	02	03 13	04 14	05 15	06 16	17	18	
2)		11	22	24		26	07	28	09 29	20 30
3)		21	12	23		25	27	08	19	10
7. Методы определения гранулометрического состава (табл. 7)	01-1 11-3 21-6	02-2 12-4 22-5	03-7 13-1 23-4	04-1 14-2 24-3	05-2 15-3 25-6	06-7 16-1 26-5	17-2 07-5 27-4	18-7 08-6 28-3	09-3 19-5 29-6	10-4 20-6 30-5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8. Графическое изображение гранулометрического состава	01-4	02-8	03-4 13-8	04-8 14-4	05-4 15-8	06-8 16-4	17-8 07-1	18-4 08-2	09-3 19-1	10-5 20-2
	11-6	12-7	23-6	24-7	25-1	26-2	27-3	28-5	29-6	30-7
	21-3	22-5								
9. Номограммы (табл. 8)	01-1	02-2	03-3	04-4	05-5	06-6	07-7	08-9	09-9	10-10
	11-11	12-12	13-13	14-14	15-15	16-16	17-17	18-16	19-15	20-14
	21-13	22-11	23-12	24-10	25-9	26-8	27-7	28-6	29-5	30-4

### 3. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Крутые откосы земляного полотна и естественных склонов оползают под влиянием собственного веса, когда сдвигающие касательные напряжения преобладают над силами сопротивления грунта сдвигу, причем последние обусловлены силами внутреннего трения и сцепления. При проверке устойчивости откосов и склонов различают следующие задачи:

устойчивость откосов в насыпях и выемках из однородных грунтов;

устойчивость откосов в слоистых грунтах.

Каждая из этих задач может быть решена методами, приведенными в табл. 10.

Таблица 10

## Методы оценки устойчивости откосов и склонов

Вид строения откоса	Метод оценки	Математическое выражение	Наименьшее требуемое значение показателя
1	2	3	4
Одно-родный	1. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС): без учета дополнительных силовых воздействий	$K_y = \frac{\sum P_i \operatorname{tg} \varphi_w + C_w L}{\sum R X_i} \cdot R$	1,3
	2. То же, с учетом гидростатического давления	$\gamma_w^{\text{вз}} = \gamma_w - \gamma_{\text{в}}$ $\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_w \cdot h_c + \gamma_w^{\text{вз}} \cdot h_3}{H}$	1,3
	3. То же, с учетом фильтрационного давления	$\operatorname{tg} \varphi_{\text{в}} = B \cdot \operatorname{tg} \varphi_w$ $B = \frac{\alpha + \frac{b}{2} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}{\alpha + b + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}$	1,3
	Гольдштейна	$K_y = A \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + \frac{c}{\gamma_w H} \cdot D$	1,3
	Маслова	$K_y = \frac{\sum N \operatorname{tg} \varphi_w + cL}{\sum T}$	1,0
	Шахунянца	$K_y = \frac{T_{\text{уд}}}{T_{\text{ср}}}$	1,3
Номограмм	$K_y = \frac{\varphi}{\theta} + \frac{cL}{QS \sin \theta}$	1,3	



1	2	3	4
Слю- стый	4. Метод горизонтальных сил Маслова-Берера (плоских поверхностей скольжения, ППС) без учета дополнительных силовых воздействий	$K_y = \frac{\sum P_i [tg a_i - tg(a - \psi_i)]}{\sum P_i tg a_i}$	1,2
	5. То же, с учетом фильтрационного давления	$K_y = \frac{\sum P_i [tg a_i - tg(a - \psi_i)]}{\sum (P_i tg a_i + W_{\phi, \text{зоп.}})}$	1,3
	Соколовского	$h = \frac{2c \cdot \text{Cos} \varphi}{\gamma(1 + \text{Sin} \varphi)}$	1,3
	Троицкой	$K_y = \frac{C}{SN\gamma H}$	1,3

### 3.1. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС без учета дополнительных силовых воздействий

#### 3.1.1. Вычисляем параметр $\lambda_{cp}$ по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma_w \cdot H \cdot tg \varphi_w}{C_w},$$

где  $\gamma_w$  - расчетное значение удельного веса грунта, кН/м<sup>3</sup> (исходные данные);

$H$  - высота откоса, м (исходные данные);

$\varphi_w$  - угол внутреннего трения, град. (исходные данные);

$C_w$  - сцепление, кН/м<sup>2</sup> (исходные данные).

### 3.1.2. Вычисляем угол наклона поверхности откоса

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{H \cdot m};$$

где  $m$  - заложение откоса (1:m).

3.1.3. Зная  $L_{ср}$  и крутизну откоса  $\beta$ , по графику Ямбу ([6], с. 428) определяем относительные координаты центра опасной дуги скольжения  $x_0$  и  $y_0$ .

3.1.4. Умножая  $x_0$  и  $y_0$  на высоту откоса  $H$ , получаем абсолютные координаты центра вращения  $x_1$  и  $y_1$ .

3.1.5. На миллиметровой бумаге формата А4 (210x297) по исходным данным в масштабе 1:100 вычерчиваем контуры откоса (рис. 3). В зависимости от категории дороги (табл. 11) по верху откоса откладываем половину ширины земляного полотна и проводим осевую линию.

Таблица 11

Характеристика земляного полотна

Показатель	Категория дороги					
	I-а	I-б	II	III	IV	V
Ширина земляного полотна, м	28,5 36 43,5	27,5 35	15	12	10	8

Из точки подошвы откоса восстанавливаем перпендикуляр и откладываем координату  $y_1$ . Из полученной точки откладываем горизонтальный отрезок  $x_1$ . Если значение  $x_1$  положительное, то отрезок откладываем вправо, если отрицательное - влево.

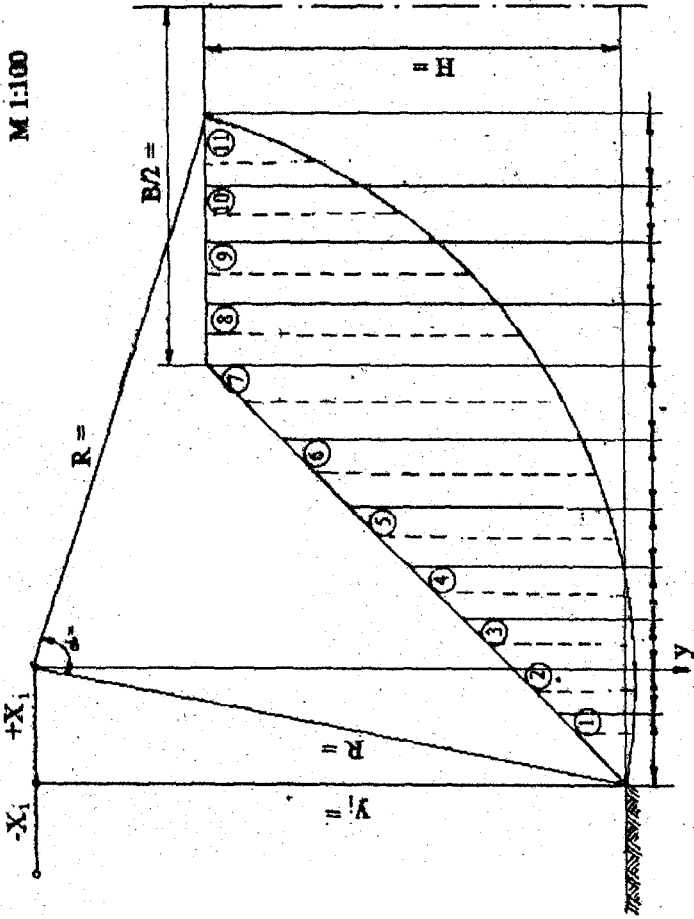


Рис. 3. Расчетная схема к методу КЦПС (без учета дополнительных силовых воздействий).

Из найденного центра радиусом  $R$  проводим дугу кривой скольжения и опускаем перпендикуляр. Объем грунта, находящийся справа от перпендикуляра и ограниченный дугой скольжения, будет способствовать возникновению вращающих моментов  $M_{вр}$ , а объем, находящийся слева, - возникновению удерживающих моментов  $M_{уд}$ .

3.1.6. Полученный отсек обрушения делим на расчетные блоки вертикальными сечениями. Ширину блока принимаем не более 2 м и примерно одинаковой. Разделение на блоки начинаем от оси "у" вправо и влево. Вертикальное сечение в обязательном порядке должно пройти через верхнюю точку откоса. В каждом блоке проводим среднюю линию, разделяющую блок пополам и обозначенную пунктирной линией. Исключения составляют первый и последний блоки, представляющие собой не трапеции, а треугольники. В таких геометрических фигурах центр тяжести лежит на линии, находящейся на удалении, равном  $2/3$  основания треугольника от его вершины. Поэтому средние линии этих двух блоков будут находиться не посередине блока, а на расстоянии, равном  $2/3$  основания от вершины треугольника. Длину средней линии в каждом блоке вычисляем по схеме, изображенной на миллиметровой бумаге, и проставляем на схеме возле пунктирной линии.

3.1.7. Производим расчет моментов поблочно. Результаты вычислений заносим в табл. 12.

Таблица 12

Результаты определения моментов

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м <sup>3</sup>	Удельный вес грунта, кН/м <sup>3</sup>	Вес блока $P_i$ , кН	Длина плеча, $x_i$ , м	Момент $P_i \cdot x_i$ , кН·м
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
...							
II							

$$\Sigma P_i =$$

$$\Sigma P_i x_i =$$

Среднюю высоту и ширину блока вычисляем из расчетной схемы, выполненной в масштабе 1:100.

Объем блока определяем путем умножения средней высоты на ширину блока.

Удельный вес грунта берем в исходных данных. Вес блока  $P_i$  вычисляем путем умножения объема блока на удельный вес грунта.

Длину плеча определяем из расчетной схемы.

Плечо равняется отрезку, равному расстоянию от оси "у" до средней линии соответствующего блока. Плечо, откладываемое вправо, записываем со знаком плюс, влево - со знаком минус.

Момент вычисляем путем умножения веса блока на длину плеча. Момент имеет тот же знак, что и плечо.

После расчета всех блоков вычисляем общий вес всех блоков  $P_i$  и сумму моментов  $P_i \cdot x_i$ .

3.1.8. Определяем длину дуги скольжения  $L$ , для чего вначале находим показатель

$$\text{arcs} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180},$$

где  $\alpha$  - угол, взятый из расчетной схемы и составленный двумя радиусами, соединяющими центр кривой вращения и концы кривой скольжения.

Длину дуги скольжения определяем из выражения

$$L = \text{arc} \alpha \cdot R,$$

где  $R$  - радиус кривой скольжения, взятый из расчетной схемы.

3.1.9. Рассчитываем коэффициент устойчивости из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot \text{tg} \varphi_w + C_w \cdot L}{\sum P_i \cdot x_i} \cdot R,$$

где  $\Sigma P_i$  - общий вес всех блоков (табл. 12);

$ig \varphi_w$  - коэффициент внутреннего трения ( $\varphi_w$  - угол внутреннего трения, берем из исходных данных);

$C_w$  - сцепление,  $\text{кН/м}^2$  (исходные данные);

$L$  - длина дуги скольжения, м;

$\Sigma P_i x_i$  - сумма моментов,  $\text{кН}\cdot\text{м}$  (табл. 12);

$R$  - радиус кривой скольжения, м.

Если вычисленный коэффициент устойчивости больше значения, указанного в табл. 10, то откос считается устойчивым, если меньше - неустойчивым. Для неустойчивых откосов должно быть либо изменено заложение откоса в сторону более пологого склона, либо предусмотрено устройство подпорных стенок.

### 3.2. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом гидростатического давления

#### 3.2.1. Вычисляем удельный вес грунта, взвешенного в воде:

$$\gamma_w^{\text{вз}} = \gamma_w - \gamma_{\text{в}}, \text{кН/м}^3,$$

где  $\gamma_w$  - удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$  (исходные данные);

$\gamma_{\text{в}}$  - удельный вес воды,  $\text{кН/м}^3$ .

#### 3.2.2. Вычисляем средневзвешенное значение удельного веса грунта

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_w \cdot h_c + \gamma_w^{\text{вз}} \cdot h_3}{H}, \text{кН/м}^3,$$

где  $h_c$  - высота сухой части грунта, определяемая из выражения

$$h_c = H - h_3,$$

где  $H$  - высота откоса (исходные данные), м;

$h$ , - высота зоны затопления, равная горизонту верхних вод ГВВ (исходные данные), м.

3.2.3. Вычисляем параметр  $\lambda_{cp}$  по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma_{cp} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi_w}{C_w}$$

Значения составляющих те же, что и в 3.1.1.

3.2.4. Определяем угол наклона поверхности (см. 3.1.2). Зная  $\lambda_{cp}$  и  $\beta$ , определяем относительные и абсолютные координаты центра опасной дуги скольжения (см. 3.1.3 и 3.1.4).

3.2.5. Найдя координаты центра кривой скольжения, вычерчиваем расчетную схему (см. 3.1.5, 3.1.6, рис. 4).

3.2.6. На расчетную схему наносим горизонтальную линию, обозначающую горизонт верхних вод ГВВ.

3.2.7. В тех блоках, в которых линия ГВВ пересекла среднюю линию, вычисляем длину средней линии, лежащей ниже уровня ГВВ, и длину средней линии, лежащей выше уровня ГВВ (в нашей расчетной схеме это блоки 5-10).

3.2.8. Производим расчет моментов поблочно. Результаты вычислений заносим в табл. 13.

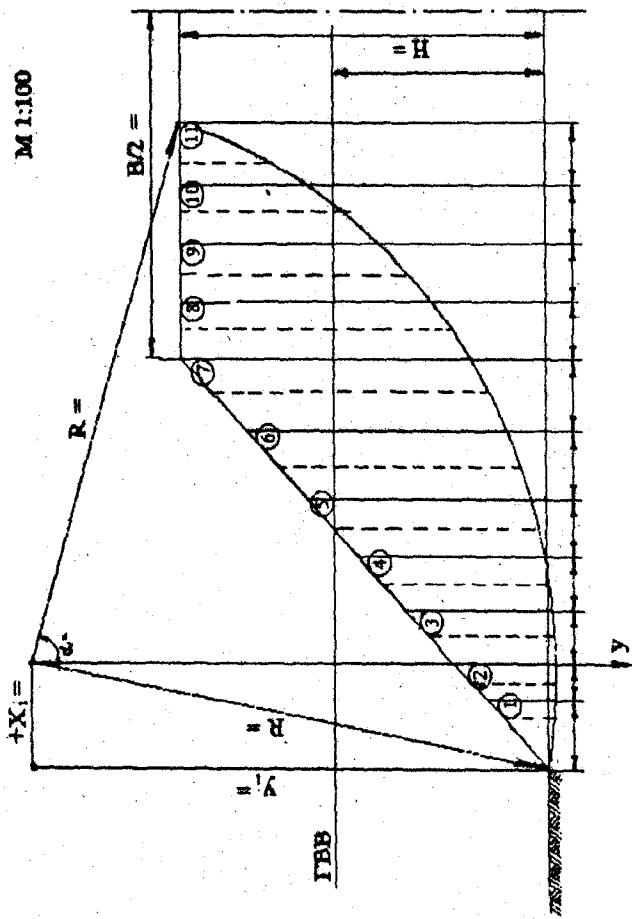


Рис. 4. Расчетная схема к методу КЦС (с учетом гидростатического давления)



Таблица 13

## Результаты определения моментов

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м <sup>3</sup>	Удельный вес влажного грунта	Удельный вес взвешенного грунта	Вес блока P <sub>н</sub> , кН	Величина плеча x <sub>н</sub> , м	Момент P <sub>н</sub> x <sub>н</sub> , кН·м
				$\gamma_w$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_w^{вз}$ , кН/м <sup>3</sup>			
1								
5	h <sub>1</sub>		v <sub>1</sub>	$\gamma_w$	$\gamma_w^{вз}$	P <sub>1</sub>		
	h <sub>2</sub>		v <sub>2</sub>					
6	h <sub>1</sub>		v <sub>1</sub>	$\gamma_w$	$\gamma_w^{вз}$	P <sub>1</sub>		
	h <sub>2</sub>		v <sub>2</sub>					
7	h <sub>1</sub>		v <sub>1</sub>	$\gamma_w$	$\gamma_w^{вз}$	P <sub>1</sub>		
	h <sub>2</sub>		v <sub>2</sub>					
10	h <sub>1</sub>		v <sub>1</sub>	$\gamma_w$	$\gamma_w^{вз}$	P <sub>1</sub>		
	h <sub>2</sub>		v <sub>2</sub>					
11	h <sub>1</sub>		v <sub>1</sub>	$\gamma_w$	$\gamma_w^{вз}$	P <sub>1</sub>		
	h <sub>2</sub>		v <sub>2</sub>					
11				$\gamma_w$				

$$\Sigma P_i = \Sigma P_i x_i =$$

Средняя высота блоков, разделенных линией ГВВ на части, записывается двумя цифрами: верхняя - длина средней линии выше ГВВ; нижняя - длина средней линии ниже ГВВ.

Ширина и объем блока определяются аналогично 3.1.7.

Удельный вес влажного грунта берем из исходных данных, а удельный вес взвешенного грунта - из 3.2.1.

Вес блока вычисляем также по частям. Объем сухой части блока умножается на удельный вес влажного грунта, а объем затопленной части блока - на удельный вес взвешенного в воде грунта.

Величину плеча определяем по 3.1.7.

Момент вычисляем по частям блоков.

После заполнения таблицы вычисляем суммы P<sub>i</sub> и P<sub>i</sub>x<sub>i</sub>.

3.2.9. Длину дуги скольжения определяем так же, как в 3.1.8.

3.2.10. Коэффициент устойчивости  $K$ , определяем так же, как в 3.1.9.

### 3.3. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС с учётом фильтрационного давления

3.3.1. Вычисляем удельный вес грунта, взвешенного в воде (см. 3.2.1.).

3.3.2. Вычисляем средневзвешенное значение удельного веса грунта (см. 3.2.2).

3.3.3. Вычисляем параметр  $\lambda_{cp}$  (см. 3.2.3).

3.3.4. Определяем угол наклона поверхности откоса (см. 3.1.2).

3.3.5. Определяем относительные координаты центра опасной дуги скольжения (см. 3.1.3).

3.3.6. Определяем абсолютные координаты (см. 3.1.4).

3.3.7. Вычерчиваем расчётную схему (см. 3.1.5) (рис. 5).

3.3.8. Отсек обрушения делим на блоки и рассчитываем средние линии (см. 3.1.6).

3.3.9. На откосе насыпи наносим две горизонтальные линии: линию горизонта верхних вод ГВВ, линию спада воды до уровня горизонта вод ГВ. Оба значения имеются в исходных данных.

3.3.10. Вычисляем среднюю точку кривой депрессии

$$A = \frac{B}{2} \cdot \mathcal{Z} ,$$

где  $B$  – ширина земляного полотна (табл. 11);

$\mathfrak{I}$  – гидравлический градиент или средний уклон линии депрессии, равный:

для песков  $\mathfrak{I} = 0$ ,

для пылеватых грунтов  $\mathfrak{I} = 0,05-0,06$ ,

для суглинистых грунтов  $\mathfrak{I} = 0,06-0,08$ .

3.3.11. Проводим кривую депрессии, через которую осуществляется фильтрация воды. Кривую проводим по трём точкам:

первая точка (М) – точка пересечения плоскости откоса с уровнем ГВ;

вторая точка (N) – точка пересечения осевой линии земляного полотна дороги с уровнем ГВВ;

третья точка находится на вертикальной прямой, опущенной через бровку земляного полотна путём отложения отрезка А от уровня ГВВ.

Три точки плавно, с помощью лекала соединяем между собой.

3.3.12. Вычисляем фиктивный угол внутреннего трения по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = B \operatorname{tg} \varphi_w,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{\phi}$  – коэффициент внутреннего трения ( $\varphi_w$  – угол внутреннего трения, берём из исходных данных);

$B$  – коэффициент, учитывающий соотношение между  $\gamma_w$  и  $\gamma_w^{23}$ , определяем из выражения

$$B = \frac{a + \frac{b}{2} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}}{a + b + \frac{c}{2} + \frac{d}{2}},$$

где  $a$  – средняя высота блока в зоне сухого грунта, м;

$b$  – средняя высота блока в зоне фильтрации давления, м;

$c$  – то же, в зоне затопления, м;

$d$  – то же, в зоне застоя, м (рис. 5).

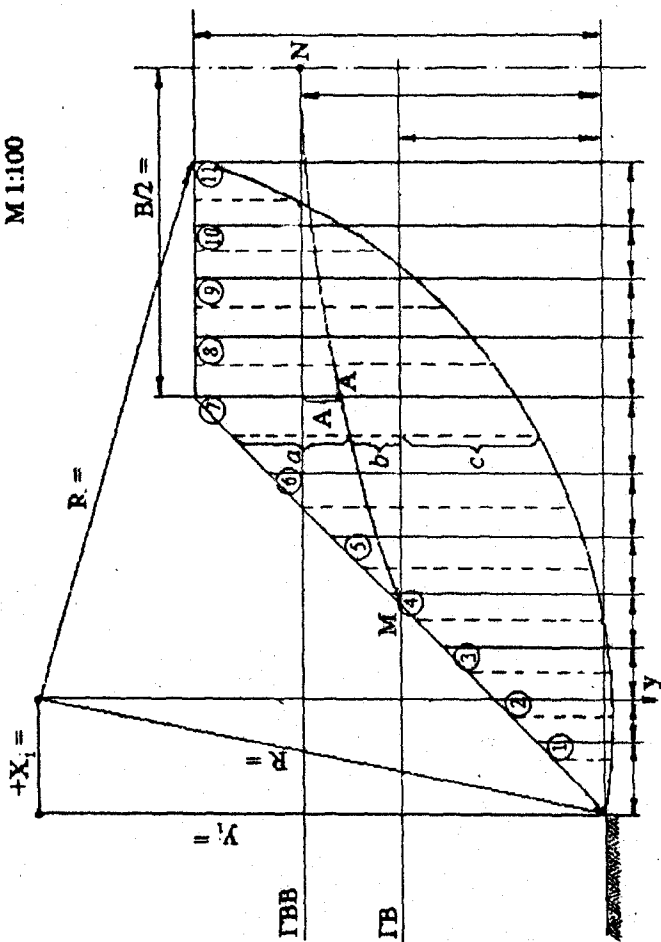


Рис. 5. Расчетная схема к методу КПС (с учетом фильтрационного движения)

Результаты расчётов сводим в табл. 14.

Таблица 14

Расчет составляющих для определения  
коэффициента устойчивости

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м <sup>3</sup>	Удельный вес грунта, кН/м <sup>3</sup>	Вес блока $P_i$ , кН	Плечо $x_i$ , м	Момент $P_i x_i$ , кН/м	$B$	Коэф. внутр. трения $1g \varphi$	Фиктивный угол внутр. трения $1g \varphi_f$	$P_i x_i \cdot 1g \varphi_f$

$$\sum P_i \cdot x_i =$$

$$\sum P_i \cdot 1g \varphi_f =$$

Среднюю высоту находим по расчётной схеме независимо от пересечения блока кривой депрессии.

Ширина и объём блока находим так же, как в табл. 12.

Удельный вес грунта принимаем на основании исходных данных, независимо от зон, возникающих в откосе при фильтрационном давлении.

Вес блока, плечо и моменты определяем по табл. 12.

Показатель  $B$  вычисляем для каждого блока. При отсутствии в блоке соответствующей зоны показатель, характеризующий зону, равняется нулю.

Коэффициент внутреннего трения определяем исходя из величины угла внутреннего трения (исходные данные).

Фиктивный угол внутреннего трения рассчитываем для каждого блока.

После заполнения таблицы вычисляются суммарные значения  $P_i x_i$  и  $P_i 1g \varphi_f$ .

3.3.13. Определяем длину дуги скольжения (см. 3.1.8).

3.3.14. Рассчитываем коэффициент устойчивости из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\phi} + C_w L}{\sum P_i \cdot X_i} \cdot R,$$

где  $C_w$  – сцепление, кН/м<sup>2</sup> (исходные данные);

$R$  – радиус кривой скольжения, м (расчетная схема).

### 3.4. Расчет устойчивости откоса по методу ППС без учёта дополнительных силовых воздействий

3.4.1. На основании исходных данных ( $H$ ,  $m$ , категория дороги) на миллиметровой бумаге формата А4 строим очертание откоса в масштабе 1:100.

3.4.2. Разбиваем откос на блоки в соответствии с заданием.

3.4.3. В пределах каждого блока произвольно проводим поверхность скольжения, получаем ломаную линию, отражающую слоистый характер строения откоса из грунтов различных физико-механических характеристик. Транспортиром измеряем угол наклона поверхности скольжения в пределах блока ( $\alpha_i$ ) и подписываем каждый угол.

3.4.4. Для каждого блока проводим среднюю линию, измеряем ее и подписываем (рис. 6).

3.4.5. Объем блока определяем путем умножения средней высоты на ширину блока.

3.4.6. Вес блока рассчитываем путем умножения объема блока на удельный вес грунта, который берем из исходных данных и корректируем с учетом 3.4.9.

3.4.7. Длину участка поверхности скольжения измеряем линейкой с учетом выбранного масштаба ( $M$  1:100).

3.4.8. Угол сдвига вычисляем по формуле

$$\psi_{pi} = \arctg \left( \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{C_w \cdot l_i}{P_i} \right),$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коэффициент внутреннего трения ( $\varphi_i$  – угол внутреннего трения, берём из исходных данных и корректируем с учетом 3.4.9);

$C_w$  – сцепление,  $\text{кН/м}^2$  (исходные данные корректируем с учетом 3.4.9);

$l_i$  – длина участка поверхности скольжения в пределах блока, м (расчётная схема);

$P_i$  – вес блока, кН.

3.4.9. Результаты расчетов сводим в табл. 15.

Таблица 15

Сводная ведомость результатов расчетов

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м	Удельный вес грунта, $\text{кН/м}^3$	Вес блока $P_i$ , кН	Угол наклона ПС $\alpha_i$	$\operatorname{tg} \alpha_i$	$P_i \operatorname{tg} \alpha_i$	Угол внутр. трения $\varphi_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Р.сх.	Р.сх.	2x3	Ис.д.	4x5	Р.сх.	Расчет	6x8	Ис.д.

$\sum P_i \operatorname{tg} \alpha_i$

Окончание табл. 15

$\operatorname{tg} \varphi_i$	Сцепление $C_w$ , $\text{кН/м}^2$	Длина участка ПС $l_i$ , м	Угол сдвига $\psi_{pi}$	$\alpha_i - \psi_{pi}$	$\operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})$	$\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})$	$P_i / [\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})]$
11	12	13	14	15	16	17	18
Расчет	Ис.д.	Р.сх.	Расчет	7-14	Расчет	8-16	6x17

$\sum P_i / [\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg}(\alpha_i - \psi_{pi})]$

M 1:100

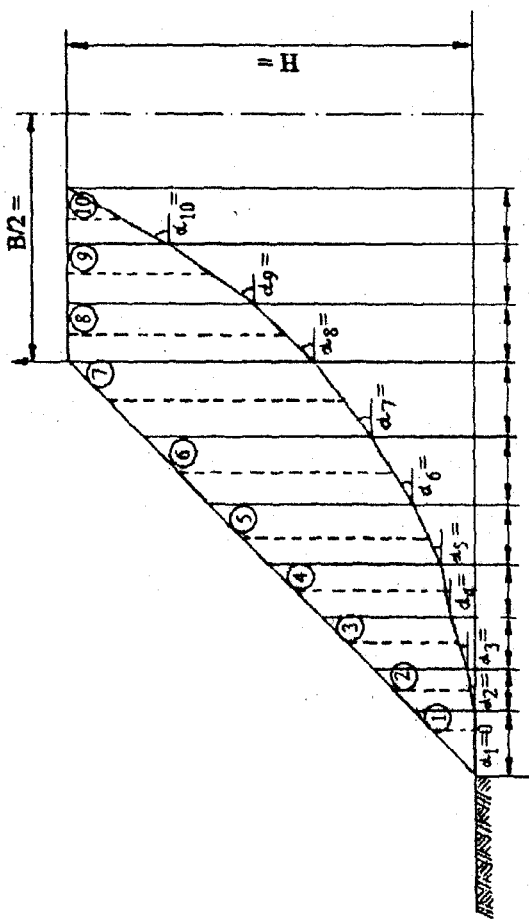


Рис. 6. Расчетная схема к методу ППС (без учета дополнительных силовых воздействий)



Показатели, характеризующие грунты в методе ППС, корректируются для каждого блока. Исходные данные дают по одному значению: удельного веса, сцепления и угла внутреннего трения.

Удельный вес грунта варьируется в пределах  $\pm 0,5$  с интервалом 0,1. Например, дан удельный вес  $18,75 \text{ кН/м}^3$ . Расписываем значения:  $18,75+0,5=19,25 \text{ кН/м}^3$ ,  $18,75-0,5=18,25 \text{ кН/м}^3$ . Полный ряд: 18,25; 18,35; 18,45 и т.д. до  $19,25 \text{ кН/м}^3$ .

Сцепление варьируется в пределах  $\pm 5$  с интервалом 1,0. Например, дано сцепление  $20 \text{ кН/м}^2$ . Расписываем значения:  $20+5=25 \text{ кН/м}^2$ ,  $20-5=15 \text{ кН/м}^2$ . Полный ряд: 15, 16, 17 и т.д. до  $25 \text{ кН/м}^2$ . (Если в исходных данных дается меньшее количество блоков чем 10, то расписывается столько, сколько дано по заданию, а остальные отбрасываются).

Угол внутреннего трения варьируется в пределах  $\pm 5$  с интервалом 1,0. Например, дан угол внутреннего трения  $12^\circ$ , расписываем значения:  $12+5=17^\circ$ ,  $12-5=8^\circ$ . Полный ряд: 8, 9, 10 и т.д. до  $17^\circ$ .

Таким образом, для каждого блока для показателей 5, 10, 12 (табл. 15) должны быть различные значения.

Угол наклона ПС  $\alpha_i$  принимаем положительным при наклоне поверхности скольжения в сторону общего смещения отсека и отрицательным - при наклоне в противоположную сторону (в пассивной зоне).

3.4.10. Рассчитываем коэффициент устойчивости по методу ППС:

$$K_y = \frac{\sum P_i \{ \text{tg} \alpha_i - \text{tg}(\alpha - \psi_{pi}) \}}{\sum P_i \cdot \text{tg} \alpha_i}$$

где числитель представлен 18-й колонкой табл. 15, знаменатель - 9-й колонкой табл. 15.

Полученный показатель сравниваем со значением коэффициента устойчивости из табл. 10 и делаем вывод об устойчивости откоса.

### 3.5. Расчет устойчивости откоса по методу ППС с учетом фильтрационного давления

3.5.1. На основании исходных данных вычерчиваем расчетную схему (см. 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, рис. 7).

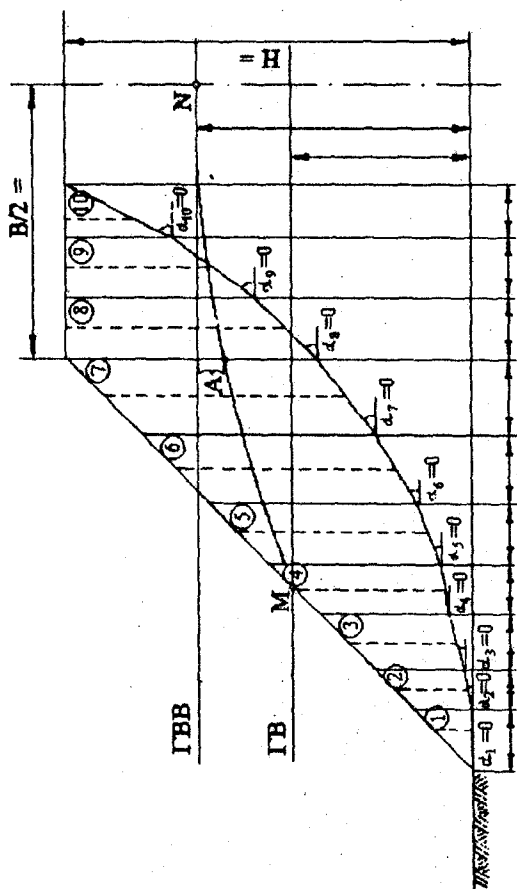


Рис. 7. Расчетная схема к методу ППС (с учетом фильтрационного давления)

3.5.2. Для каждого блока проводим среднюю линию. Особенность составляют крайние блоки, имеющие форму треугольников (см. 3.3.6).

3.5.3. На откос насыпи наносим ГВВ и ГВ (см. 3.3.9).

3.5.4. Определяем среднюю точку кривой депрессии и проводим кривую депрессии (см. 3.3.10, 3.3.11).

3.5.5. Измеряем среднюю высоту, а в тех блоках, где кривая депрессии делит ее на отрезки, подписываем каждый отрезок.

3.5.6. Определяем вес грунта во взвешенном состоянии (см. 3.2.1 с учетом 3.4.9).

3.5.7. Вес блоков определяется с учетом состояния грунта (влажное или взвешенное), поэтому необходимо в расчете использовать удельный вес грунта и удельный вес грунта, находящегося в водонасыщенном состоянии. Удельный вес грунта принимается на основании исходных данных и варьируется согласно 3.4.9.

3.5.8. Угол наклона и длину поверхности скольжения принимаем по расчетной схеме.

3.5.9. Среднее удельное давление блока определяем из выражения

$$\rho_0 = \frac{P_i}{l_i}, \text{ кН/м}^2,$$

где  $P_i$  – вес блока, кН;

$l_i$  – длина плоскости скольжения в пределах блока, м;

$\rho_0$  – удельное давление, измеряемое в  $\text{кН/м}^2$ , поскольку этот показатель рассчитывается на толщину блока, равную 1 м.

3.5.10. Угол сдвига определяем из выражения

$$\text{tg} \psi_{pi} = \text{tg} \varphi_w + \frac{C_w}{\rho_0},$$

где  $\varphi_w$  - угол внутреннего трения;  
 $C_w$  - сцепление, кН/м<sup>2</sup>;  
 $\rho_0$  - удельное давление, кН/м<sup>2</sup>.

3.5.11. Поскольку метод ППС применяется для откосов, сложенных из грунтов с различными физико-механическими характеристиками, угол внутреннего трения, сцепление и удельный вес грунта должны быть различными. Варьирование проводим аналогично 3.4.9.

3.5.12. При наличии в склоне фильтрационного давления его рассчитываем для каждого выделенного блока по зависимости

$$W_{\phi} = \gamma_{\text{в}} \cdot \mathcal{J} \cdot V,$$

где  $\gamma_{\text{в}}$  - удельный вес воды, равный 10 кН/м<sup>3</sup>;  
 $\mathcal{J}$  - гидравлический градиент, равный 0,06;  
 $V$  - объем блока, м<sup>3</sup>.

3.5.13. Результаты расчетов сводим в табл. 16.

3.5.14. Коэффициент устойчивости откоса с учетом фильтрационного давления определяем из выражения

$$K_y = \frac{\sum P_i [tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]}{\sum (P_i tg \alpha_i + W_{\text{в.гор}})},$$

где числитель представлен 22-й колонкой табл. 16, знаменатель - суммой 23-й и 26-й колонок табл. 16.

Крутизну откоса  $\beta$  определяем из выражения 3.1.2.

Полученный показатель сравниваем со значениями табл. 10 и делаем вывод об устойчивости откоса.

Таблица 16

## Сводная ведомость результатов расчетов

№ блока	Ширина блока, м	Средняя высота блока, м	Объем блока, м <sup>3</sup>	Удельный вес грунта, кН/м <sup>3</sup>	Удельный вес грунта во взвешенном состоянии, кН/м <sup>3</sup>	Вес отдельных частей блока, кН
1	2	3	4	5	6	7
	Расч. схема	Расч. схема	2х3	Исх. данные	См. 3.2.1	4х5, 4х6

Продолжение табл. 16

Общий вес блока P <sub>i</sub> , кН	Угол наклона ПС α <sub>i</sub> , град	tg α <sub>i</sub>	Длина поверхности скольжения l <sub>i</sub> , м	Среднее удельное давление $\rho_0 = \frac{P_i}{l_i}$ , кН/м <sup>2</sup>	Сцепление C <sub>w</sub> , кН/м <sup>2</sup>	$\frac{C_w}{\rho_0}$
8	9	10	11	12	13	14
Σ 7	Р.сх.	Расчет	Расч. схема	8:11	Исх. данные	13:12

Продолжение табл. 16

Угол внутреннего трения φ <sub>w</sub> , град	tg φ <sub>w</sub>	Тангенс угла сдвига tg ψ <sub>pi</sub>	Угол сдвига ψ <sub>pi</sub>	α <sub>i</sub> - ψ <sub>pi</sub>	tg(α <sub>i</sub> - ψ <sub>pi</sub> )	tg α <sub>i</sub> - tg(α <sub>i</sub> - ψ <sub>pi</sub> )
15	16	17	18	19	20	21
Исх. данные 3.5.11	Расчет	16+14	Расчет	9-18	Расчет	10-20

$P_i [tga_i -$ $-tg(a_i - \psi_{pi})]$	$P_i tga_i$	Градиент $J$	$W_\phi = \gamma_v \cdot J \cdot V$	$W_{\phi, \text{гор}} =$ $= W_\phi \cdot \cos \beta$
22	23	24	25	26
8x21	8-10	0,06	Расчет	Расчет

$$\Sigma P_i [tga_i -$$

$$-tg(a_i - \psi_{pi})]$$

$$\Sigma P_i tga_i$$

$$\Sigma W_\phi \cdot \cos \beta$$

### Задание к разделу 3

1. Ознакомиться с методами оценки устойчивости откосов и склонов (табл. 10 данного пособия, [7]).

2. Произвести расчет устойчивости откоса для однородного грунта по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения для одного из трех случаев [8]:

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

3. Произвести расчет устойчивости откоса для слоистого грунта по методу плоских поверхностей скольжения для одного из двух вариантов [8]:

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

Исходные данные для выполнения задания 3 приведены в табл. 17.

Исходные данные для выполнения задания (разд. 3)

Показатели	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Категория дороги	01-II 11-Ia 21-V	02-III 12-Ib 22-IV	03-IV 13-II 23-III	04-V 14-III 24-II	05-II 15-IV 25-Ia	06-III 16-V 26-Ib	07-IV 17-Ia 27-II	08-V 18-Ib 28-III	09-II 19-IV 29-Ia	10-III 20-V 30-Ib
2. Высота откоса $H$ , м	01-8,0 11-9,5 21-11,0	02-8,5 12-10,0 22-8,0	03-9,0 13-10,5 23-8,5	04-9,5 14-11,0 24-9,0	05-10,0 15-8,0 25-9,5	06-10,5 16-8,5 26-10,0	07-11,0 17-9,0 27-10,5	08-8,0 18-9,5 28-11,0	09-8,5 19-10,0 29-8,0	10-9,0 20-10,5 30-8,5
3. Крутизна откоса $1:m$	01-1,0 11-2,0 21-1,75	02-1,5 12-1,0 22-2,0	03-1,75 13-1,5 23-1,0	04-2,0 14-1,75 24-1,5	05-1,5 15-2,0 25-1,75	06-1,75 16-1,5 26-2,0	07-2,0 17-1,75 27-1,0	08-1,0 18-2,0 28-1,5	09-1,5 19-1,0 29-1,75	10-1,75 20-1,5 30-2,0
4. Удельный вес грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	01-18,75 11-19,25 21-20,0	02-18,8 12-19,3 22-20,1	03-18,85 13-19,35 23-20,2	04-18,9 14-19,4 24-20,3	05-18,95 15-19,45 25-20,4	06-19,0 16-19,5 26-20,5	07-19,05 17-19,60 27-20,6	08-19,10 18-19,7 28-20,7	09-19,15 19-19,8 29-20,8	10-19,20 20-19,9 30-21,0
5. Сцепление грунта $C$ , кН/м <sup>2</sup>	20	21	22	23	24	25	24	23	22	21
6. Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	01-12 11-22 21-32	02-13 12-23 22-33	03-14 13-24 23-12	04-15 14-25 24-13	05-16 15-26 25-14	06-17 16-27 26-15	07-18 17-28 27-16	08-19 18-29 28-17	09-20 19-30 29-18	10-21 20-31 30-19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7. Уровень горизонта верхних вод (ГВВ), м	01-5	02-5,5	03-6	04-6,5	05-7,0	06-7,5	07-8,0	08-5,0	09-6,0	10-7,0
	11-7	12-8	13-8	14-7,0	15-6,0	16-6,0	17-7,0	18-7,5	19-8,0	20-8,0
	21-8	22-6	23-6,5	24-7,0	25-7,0	26-8,0	27-8,5	28-8,0	29-6,0	30-6,5
	01-3	02-3,5	03-4,0	04-4,5	05-5,0	06-5,5	07-6,0	08-3,0	09-4,0	10-4,0
	11-5	12-5,0	13-6,0	14-5,0	15-4,0	16-3,0	17-4,5	18-4,5	19-5,0	20-6,0
8. След воды до уровня ГВ, м	21-6	22-3,0	23-3,5	24-4,0	25-5,0	26-5,0	27-5,5	28-4,0	29-3,0	30-3,5
	9	8	7	8	9	7	8	9	7	8
9. Кол-во блоков при разбивке по методу ППС (минимальное)										
10. Вид грунта: пылеватый суллинистый										
11. Метод КППС (табл. 10):										
1	01	22	13	04	25	16	07	28	19	10
2	11	02	23	14	05	26	17	08	29	20
3	21	12	03	24	15	06	27	18	09	30
12. Метод ППС (табл. 10):										
4	21	12	03	14	05	16	07	18	09	20
5	11	02	13	04	15	06	17	08	19	30



## 4. ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ 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, которое передается со стороны грунтовой толщи на подпорную стенку, называется активным. Давление, воспринимаемое грунтом от боковой части фундамента подпорной стенки, называется пассивным.

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

В строительной практике возникают следующие случаи, влияющие на выбор расчетных характеристик:

- засыпка произведена сыпучим грунтом;
- помимо засыпки сыпучим грунтом стенка имеет дополнительную равномерно распределенную нагрузку;
- засыпка произведена связным грунтом;
- часть подпорной стенки затоплена водой.

### 4.1. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке

4.1.1. На миллиметровой бумаге формата А4 (210x297 мм) в масштабе вычерчиваем профиль подпорной стенки с учетом исходных данных. Размер подпорной стенки по верху равен половине размера этой же стенки по низу. Ширину горизонтальной площадки принимаем произвольно (рис. 8).

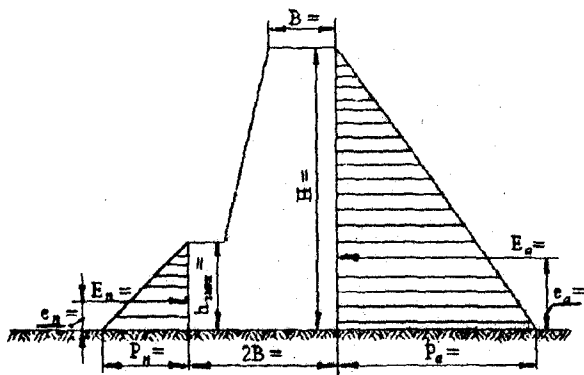


Рис. 8. Эпюра давлений при песчаной засыпке

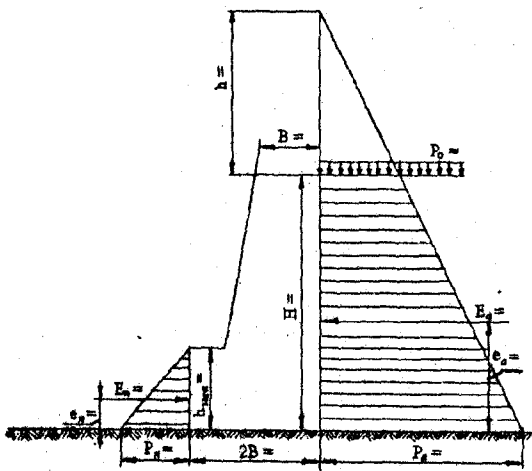


Рис. 9. Эпюра давлений при песчаной засыпке и дополнительной равномерно распределенной нагрузке

4.1.2. Определяем активное давление от песчаной засыпки на уровне подошвы фундамента:

$$P_a = \gamma_w \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2,$$

где  $\gamma_w$  - удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup> (исходные данные);

$H$  - высота подпорной стенки, м (исходные данные);

$\varphi_w$  - угол внутреннего трения, град. (исходные данные).

4.1.3. Определяем пассивное давление от подпорной стенки на песчаный грунт:

$$P_n = \gamma_w \cdot h_{\text{загл}} \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2,$$

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

4.1.4. Строим эпюру распределения активного и пассивного давления на подпорную стенку. Эти эпюры носят прямолинейный характер. В верхней точке подпорной стенки давления равны нулю, а в нижней - соответственно  $P_a$  или  $P_n$ .

Для построения эпюры активного давления берем две точки. Первую - в верхней точке подпорной стенки со стороны засыпки, вторую - на уровне подошвы фундамента, на расстоянии от вертикальной плоскости подпорной стенки, равном  $P_a$  в масштабе. Соединяем эти точки прямой и заштриховываем.

Аналогично строим эпюру распределения пассивного давления, только откладывается она со стороны фундамента влево. Нижняя точка эпюры равняется расстоянию  $P_n$  в масштабе.

4.1.5. Определяем полное активное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки высотой  $H$ :

$$E_a = \gamma_w \cdot \frac{H^2}{2} \left( \operatorname{tg}^2 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м,}$$

где составляющие формулы те же, что и в выражении 4.1.2.

4.1.6. Определяем полное пассивное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки с высотой фундамента  $h_{загл}$ :

$$E_n = \gamma_w \cdot \frac{h_{загл}^2}{2} \left( \operatorname{tg}^2 45 + \frac{\varphi_w}{2} \right),$$

где составляющие формулы те же, что и в выражении 4.1.3.

4.1.7. Определяем точку приложения активного давления

$$e_a = \frac{1}{3} H, \text{ м.}$$

4.1.8. На эпюре активного давления (рис. 8) от подошвы фундамента откладываем величину  $e_a$  и проводим горизонтальную стрелку, обозначающую  $E_a$ .

4.1.9. Определяем точку приложения пассивного давления

$$e_n = \frac{1}{3} h_{загл}, \text{ м.}$$

4.1.10. На эпюре пассивного давления (рис. 8) от подошвы фундамента откладываем величину  $e_n$  и проводим горизонтальную стрелку, обозначающую  $E_n$ .

#### 4.2. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке и наличии дополнительной равномерно распределенной нагрузки

4.2.1. Если на поверхности засыпки действует сплошная равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $P_0$ , то ее действие заменяем давлением приведенного столба грунта, равным

$$h = \frac{P_0}{\gamma_w},$$

где  $P_0$  - равномерно распределенная нагрузка,  $\text{кН/м}^2$  (исходные данные).

4.2.2. Определяем активное давление от песчаной засыпки с учетом наличия равномерно распределенной нагрузки на поверхности засыпки:

$$P_a = \gamma_w (H + h) g^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2.$$

Расшифровка условных обозначений приведена в 4.1.2.

4.2.3. На миллиметровой бумаге формата А4 в масштабе вычерчиваем профиль подпорной стенки с учетом исходных данных (см. 4.1.1, рис. 9).

4.2.4. Для построения эпюры активного давления откладываем вверх по вертикальной плоскости стенки величину  $h$  и принимаем ее за нулевую точку.

4.2.5. На уровне подошвы подпорной стенки откладываем отрезок, равный величине  $P_0$  в масштабе. Соединяем верхнюю и нижнюю точки и получаем эпюру распределения активного давления с учетом равномерно распределенной нагрузки. На эпюру наносим горизонтальную штриховку.

4.2.6. Величину пассивного давления определяем из выражения 4.1.3. Эпюра распределения пассивного давления имеет такой же характер, как на рис. 8.

4.2.7. Определяем полное активное давление несвязного грунта с учетом наличия равномерно распределенной нагрузки на 1 м длины подпорной стенки:

$$E_a = \frac{\gamma_w}{2} (H^2 + 2Hh) \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м.}$$

4.2.8. Определяем точку приложения активного давления

$$e_a = \frac{H \cdot H + 3h}{3 \cdot H + 2h}, \text{ м.}$$

4.2.9. Величину полного пассивного давления несвязных грунтов и точку его приложения к фундаменту подпорной стенки определяем из выражений 4.1.6 и 4.1.9.

4.2.10. На эпюрах активного и пассивного давления вносим обозначения полных активного и пассивного давлений несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки (рис. 9).

4.3. Расчет подпорной стенки при глинистой засыпке

4.3.1. Определяем активное давление грунта на подпорную стенку с учетом сцепления  $C_w$ :

$$P_a'' = \gamma_w \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - 2C_w \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2,$$

где  $C_w$  - сцепление глинистого грунта, кН/м<sup>2</sup> (исходные данные).

Расшифровка остальных условных обозначений приведена в 4.1.2.

Поскольку глинистый грунт обладает сцеплением, которое связывает частицы в массиве, то активное давление на подпорную стенку меньше, чем в варианте засыпки песчаным грунтом.

4.3.2. Определяем активное давление грунта без учета сцепления:

$$P'_a = \gamma_w \cdot H \cdot \lg^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2.$$

Расшифровка условных обозначений приведена в 4.1.2.

4.3.3. На миллиметровой бумаге формата А4 в масштабе чертим профиль подпорной стенки с учетом исходных данных (рис. 10).

4.3.4. Строим эпюру активного давления. Для этого вначале строим эпюру (см. 4.1.1; 4.1.2; 4.1.4). После построения треугольной эпюры откладываем отрезок, равный  $P'_a$ , от точки эпюры на уровне подошвы фундамента.

4.3.5. Определяем глубину  $h_c$ , на которой суммарное давление равно нулю, поскольку наличие сцепления уменьшает боковое давление грунта на стенку:

$$h_c = \frac{2c_w}{\gamma_w \cdot \lg \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right)}, \text{ м}$$

Откладываем значение  $h_c$  от верхней точки подпорной стенки и получаем точку пересечения с максимальной прямой. Соединяем эту точку с точкой  $P'_a$ , получаем эпюру активного давления на подпорную стенку.

4.3.6. Определяем полное активное давление связанного грунта на 1 м длины подпорной стенки:

$$E_a = \gamma_w \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - 2C_w \left[ H \cdot \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right) - \frac{C_w}{\gamma_w} \right], \text{ кН/м.}$$

Расшифровка условных обозначений приведена в 4.1.2 и 4.3.1.

4.3.7. Определяем высоту подпорной стенки, на которую действует активное давление:

$$H_c = H - h_c, \text{ м.}$$

4.3.8. Определяем точку приложения активного давления

$$e_a = \frac{H_c}{3}, \text{ м.}$$

Откладываем величину  $e_a$  и в этой точке проводим горизонтальную стрелку, обозначающую полное активное давление  $E_a$  (рис. 10).

4.3.9. Определяем пассивное давление грунта на подпорную стенку с учетом сцепления  $C_w$ :

$$P_n'' = \gamma_w \cdot h_{загл} \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C_w \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2.$$

Расшифровка условных обозначений приведена в 4.1.3.

4.3.10. Определяем пассивное давление на поверхности фундамента подпорной стенки (при  $h_{загл} = 0$ ):

$$P_n' = 2C_w \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2.$$



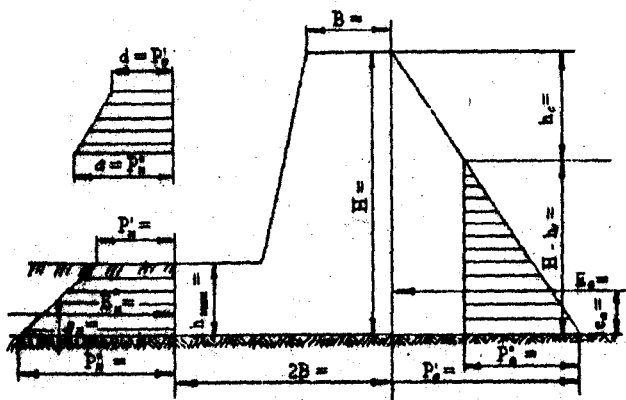


Рис. 10. Эпюра давлений при засыжке глинистым грунтом

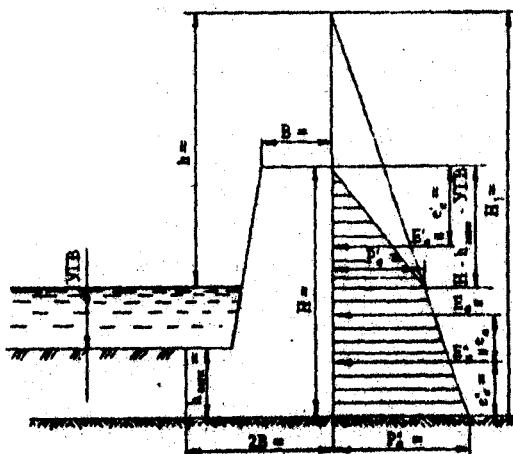


Рис. 11. Эпюра давлений при песчаной засыжке и частичном затоплении

4.3.11. Определяем точку приложения полного активного давления

$$e_n = \frac{h_{загзл} \cdot \frac{a+2d}{3}}{a+d}, \text{ м,}$$

где  $h_{загзл}$  - величина заглубления фундамента, м;

$a$  и  $d$  - нижнее и верхнее основание трапеции (рис. 10), равное

$$a = P_n'', \quad d = P_n'$$

4.3.12. Эпюру пассивного давления строим в определенной последовательности:

1) от верхней точки фундамента откладываем в масштабе величину  $P_n'$ ;

2) от нижней точки подошвы подпорной стенки откладываем в масштабе величину  $P_n''$ ;

3) соединяем точки и получаем трапецию;

4) от подошвы подпорной стенки откладываем  $e_n$  и проводим горизонтальную стрелку, обозначающую  $E_n$ .

#### 4.4. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке и ее частичном затоплении

4.4.1. На миллиметровой бумаге формата А4 в масштабе и с учетом исходных данных рисуем профиль подпорной стенки (рис. 11). На схему наносим уровень грунтовых вод (УГВ). Линию УГВ продолжаем по другую сторону подпорной стенки.

4.4.2. Определяем активное давление грунта, лежащего выше уровня воды:

$$P_a' = \gamma_w \cdot Z \cdot \text{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2,$$

где  $Z$  - высота подпорной стенки выше уровня грунтовых вод, равная

$$Z = H - (h_{загзл} + \text{УГВ}), \text{ м,}$$

где  $H$  - высота подпорной стенки, м (исходные данные);  
 $h_{\text{загл}}$  - величина заглубления фундамента, м (исходные данные);  
 $УГВ$  - уровень грунтовых вод, м (исходные данные).

4.4.3. Определяем удельный вес грунта во взвешенном состоянии

$$\gamma_w^{\text{вз}} = \gamma_w - \gamma_v, \text{ кН/м}^3,$$

где  $\gamma_w$  - удельный вес грунта (исходные данные);  
 $\gamma_v$  - удельный вес воды, равный  $10 \text{ кН/м}^3$ .

4.4.4. Определяем высоту пласта приведенного столба водонасыщенного грунта по отношению к высоте пласта столба сухого грунта:

$$h = \frac{\gamma_w \cdot Z}{\gamma_w^{\text{вз}}}, \text{ м.}$$

4.4.5. Вычисляем общую приведенную высоту слоя грунта засыпки, находящегося в водонасыщенном состоянии:

$$H_1 = h + h_{\text{загл}} + УГВ, \text{ м.}$$

4.4.6. Определяем активное давление грунта, приведенного к водонасыщенному состоянию.

$$P_a'' = \gamma_w^{\text{вз}} \cdot H_1 \cdot \text{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м}^2,$$

где  $\varphi_w$  - угол внутреннего трения грунта, град.

4.4.7. Строим эпюру активного давления в следующем порядке: на уровне УГВ откладываем в масштабе значение величины  $P_a''$ , соединяем полученную точку с верхней точкой вертикальной плоскости подпорной стенки;

от УГВ откладываем по вертикальной плоскости подпорной стенки значение  $h$ ;

на уровне подошвы фундамента откладываем величину  $P''_a$ ;

соединяем точки  $h$ ,  $P'_a$  и  $P''_a$  и получаем эпюру активных давлений.

4.4.8. Определяем полное активное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящейся выше УГВ:

$$E'_a = \gamma_w \cdot \frac{Z^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_w}{2} \right), \text{ кН/м.}$$

4.4.9. Определяем точку приложения полного активного давления

$$e'_a = \frac{2}{3} Z, \text{ м.}$$

4.4.10. Откладываем величину  $e'_a$  от верхней точки вертикальной плоскости подпорной стенки вниз. Проводим горизонтальную стрелку, обозначающую  $E'_a$ .

4.4.11. Определяем полное активное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки, находящейся ниже УГВ:

$$E''_a = \frac{P'_a + P''_a}{2} (h_{\text{загл}} + \text{УГВ}), \text{ кН/м.}$$

4.4.12. Определяем точку приложения полного активного давления  $e''_a$ :

$$e''_a = \frac{h_{\text{загл}} + \text{УГВ}}{3} \frac{P''_a + 2P'_a}{P''_a + P'_a}, \text{ м.}$$

4.4.13. Откладываем величину  $e''_a$  от подошвы подпорной стенки вверх и проводим горизонтальную стрелку, обозначающую  $E''_a$ .

4.4.14. Определяем полное активное давление несвязного грунта на 1 м длины подпорной стенки:

$$E_a = E'_a + E''_a, \text{ кН/м.}$$

4.4.15. Для определения точки приложения полного активного давления  $E_a$  находим расстояние между точками приложения  $E'_a$  и  $E''_a$ , равное

$$X = H - (e'_a + e''_a), \text{ м.}$$

4.4.16. Определяем точку приложения полного активного давления  $E_a$ . Для этого составляем пропорцию

$$E''_a e_a = E'_a (x - e_a),$$

отсюда

$$e_a = \frac{E'_a \cdot x}{E'_a + E''_a}, \text{ м.}$$

4.4.17. Откладываем на эпюре активных давлений (рис. 11) от точки  $e''_a$  вверх величину отрезка, равного  $e$ . Проводим в этой точке горизонтальную стрелку, обозначающую  $E_a$ .

#### Задание к разделу 4

1. Ознакомиться с теорией давления грунтов на ограждения [6, 9].
2. Произвести расчет активных и пассивных давлений различных грунтов, находящихся в сухом и водонасыщенном состояниях. Исходные данные для выполнения задания 4 приведены в табл. 18.

Исходные данные для выполнения задания (разд. 4)

Показатели	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Высота подпорной стенки $H$ , м:										
7	01		13		25		07		19	
8		02		14		26		08		20
9	21		03		15		27		09	
10		22		04		16		28		10
11	11		23		05		17		29	
12		12		24		06		18		30
2. Величина заглубления фундамента $h_{\text{загл}}$ , м:										
2,0	01	22	13	14	25	26	07	08	19	20
2,5	21	02	23	04	15	16	27	28	09	10
3,0	11	12	03	24	05	06	17	18	29	30
3. Ширина подпорной стенки по низу $2B$ , м:										
2	01	02	13	14	25	26	07	08	19	20
3	21	22	03	04	15	16	27	28	09	10
4	11	12	23	24	05	06	17	18	29	30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4. Удельный вес грунта $\gamma_w$ , кН/м <sup>3</sup> (см. табл. 17)										
5. Угол внутреннего трения грунта $\varphi_w$ , град. (см. табл. 17)										
6. Сцепление грунта $C_w$ , кН/м <sup>2</sup> (см. табл. 17)	11	22	03		15	26	07	28	19	30
7. Равномерно распределенная нагрузка $P_o$ , кН/м <sup>2</sup> :										
160		02								10
170			23							
180				14						
190					25					
200						06				
210								18		
8. Уровень грунтовых вод УГВ, м:										
1	21					16				
2		12					27		29	
3				04				08		20
9. Произвести расчет:										
4.1	01		13	24	05		17		09	
4.2		02	23	14	25	06		18		10
4.3	11	22	03		15	26	07	28	19	30
4.4	21	12		04		16	27	08	29	20

## Литература

1. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1986.
2. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Инженерная геология, дорожное грунтоведение и механика грунтов» для студентов специальностей «Автомобильные дороги» и «Мосты и тоннели» / Составители: Р.И.Петрашевский, Т.К.Богданович, Ю.Г.Бабаскин, А.А.Куприянчик. – Мн.: БПИ, 1987.
3. Годовиков А. А. Минералогия. – М. Недра, 1975.
4. Вегман Е. Ф., Руфанов Ю. Г., Федорченко И.Н. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография. – М.: Металлургия, 1990.
5. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. – Л.: Недра, 1972.
6. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1982.
7. Леонович И. И., Вyrко Н. П. Механика земляного полотна. – Мн.: Наука и техника, 1975.
8. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Инженерная геология, дорожное грунтоведение и механика грунтов» студентами заочного обучения специальностей «Строительство и эксплуатация дорог и аэродромов» и «Мосты и тоннели» / Составители: Т.К.Богданович, Р.И.Петрашевский, Ю.Г.Бабаскин, А.А.Куприянчик. – Мн.: БПИ, 1996.
9. Цытович Н. А. Механика грунтов. – М.: Высш. школа, 1973.



## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА</b> .....	5
<b>2. ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ, ВОДНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД</b> .....	10
<b>3. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ</b> .....	31
3.1. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС без учета дополнительных силовых воздействий.....	33
3.2. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом гидростатического давления.....	38
3.3. Расчет устойчивости откоса по методу КЦПС с учетом фильтрационного давления.....	42
3.4. Расчет устойчивости откоса по методу ППС без учета дополнительных силовых воздействий.....	46
3.5. Расчет устойчивости откоса по методу ППС с учетом фильтрационного давления.....	49
<b>4. ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ</b> .....	57
4.1. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке.....	57
4.2. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке и наличии дополнительной равномерно распределенной нагрузки.....	61
4.3. Расчет подпорной стенки при глинистой засыпке.....	62
4.4. Расчет подпорной стенки при песчаной засыпке и ее частичном затоплении.....	66
<b>Литература</b> .....	72