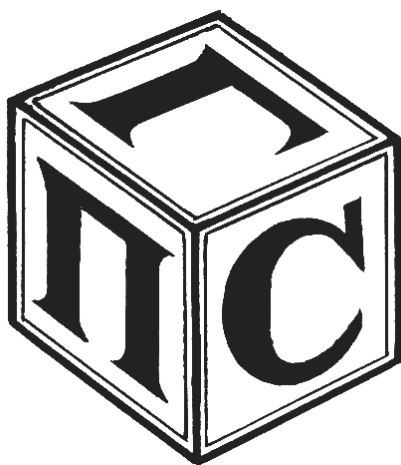


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

# ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Методические рекомендации к самостоятельной работе  
для студентов специальности  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»  
заочной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 69:656  
ББК 78.74  
Д96

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»  
«22» марта 2022 г., протокол № 10

Составитель ст. преподаватель И. В. Гомелюк

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

В методических рекомендациях дан материал для самостоятельной подготовки по решению задач инженерной геологии, гидрогеологии и механики грунтов, приведены данные для выполнения аудиторной контрольной работы, обозначены ее объем и содержание.

Учебно-методическое издание

## ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Ответственный за выпуск

В. В. Данилов

Корректор

Т. А. Рыжикова

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×80/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 81 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

Введение.....	4
1 Построение инженерно-геологического разреза.....	5
2 Определение гидрогеологических параметров.....	11
3 Построение карты гидроизогипс.....	15
4 Определение давления грунтов на ограждения.....	17
4.1 Определение давления на подпорную стенку от сыпучего грунта....	18
4.2 Определение давления на подпорную стенку от сыпучего грунта с учетом пригрузки на поверхности грунта.....	19
4.3 Определение давления на подпорную стенку от связного грунта.....	21
5 Расчет устойчивости грунтового откоса.....	23
6 Расчет напряжений в грунте от действия сосредоточенных сил.....	27
6.1 Определение напряжений в грунте от действия сосредоточенных сил....	28
7 Расчет напряжений в грунте от действия неравномерно распределен- ной полосообразной нагрузки.....	31
7.1 Определение напряжений в грунте от действия неравномерно распределенной нагрузки.....	32
8 Классификация песчаных и пылевато-глинистых грунтов.....	35
8.1 Определение наименования песчаного грунта и его физико-меха- нических свойств.....	36
8.2 Определение наименования пылевато-глинистого грунта и его физико-механических свойств.....	38
Список литературы.....	43
Приложение А.....	44

## Введение

Цель преподавания дисциплины «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна»: дать студентам основные знания об элементах инженерной геологии, грунтах как строительном материале, об изменении их свойств в зависимости от консистенции, под действием прикладываемых к грунту нагрузок.

Курс «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» готовит студентов к чтению материалов изысканий, их анализу для выбора оптимальных проектных решений по размещению сооружений конструкций и способов производства земляных работ, соответствующих природным условиям. Инженер-строитель самостоятельно анализирует предназначенные для него геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические карты и разрезы совместно с отчетом текста об изысканиях.

Механика грунтов является теоретической базой фундаментостроения. Применение положений современной механики грунтов в проектной и производственной практике позволяет более полно использовать несущую способность оснований, выбирать наиболее экономичные и рациональные способы возведения фундаментов зданий и инженерных сооружений с учетом инженерно-геологической обстановки. Инженер имеет знания о прочности грунта, его деформируемости, возникновении и распределении напряжений в грунтовой толще под влиянием собственного веса и внешней нагрузки, процессах уплотнения однородных и слоистых грунтовых конструкций, реологических свойствах.

Для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 03 01 учебный план предусматривает выполнение аудиторных контрольных по курсу «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна». Их цель – закрепить, систематизировать и углубить теоретические знания, полученные студентами за период самостоятельного изучения курса. Студенты должны уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения практических и теоретических задач.

Аудиторные контрольные работы по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» составлены в соответствии с программой дисциплины. В методических рекомендациях даны исходные данные для выполнения работ, обозначены их объем и содержание. В процессе решения задач студент учится использовать действующие строительные нормы и правила, руководства, справочные и литературные материалы.

Решение задач оформляется в письменном виде и содержит условие задачи, решение и необходимые схемы. Выбор задания производится по указанию преподавателя.

## 1 Построение инженерно-геологического разреза

**Задача.** Постройте геологический разрез по данным бурения скважин. Вариант для выполнения задания принимается из таблицы 1.1. Скважины расположены на одной прямой, на расстоянии 50 м друг от друга. Масштабы: горизонтальный 1:1000; вертикальный 1:100. Пример построения разреза представлен на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Данные для построения инженерно-геологических разрезов

Вариант	Номер скважины		1	2	3
	Наименование слоя	Генезис	Мощность слоя, м		
1	2	3	4	5	6
1	1 Растительный слой		0,3	0,3	
	2 Торф	hQ		1,1	2,3
	3 Песок мелкий	fgQ	2,5	0,8	
	4 Глина	lQ		0,5	0,6
	5 Песок средней крупности	fgQ	1,0	1,0	1,6
	6 Песок крупный	fgQ	2,8	3,1	
	7 Мел	K	2,9	4,7	7,0
	УГВ, м		210,5	213,1	213,2
	Отметка устья скважины, м		212,2	216,8	216,0
2	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3
	2 Песок пылеватый	aQ	0,5	1,1	
	3 Песок мелкий	lQ	2,5	0,8	2,4
	4 Глина	lQ		0,5	
	5 Песок средней крупности	fgQ	1,0	1,0	1,6
	6 Суглинок	fgQ	3,8	3,1	
	7 Известняк	K		5,2	6,7
	УГВ, м		210,5	210,1	209,2
	Отметка устья скважины, м		213,2	214,8	213,0
3	1 Песок пылеватый	pQ		0,6	
	2 Песок средней крупности	fgQ	4,5	1,0	2,2
	3 Песок крупный	fgQ		1,2	
	4 Супесь	lQ		3,2	
	5 Суглинок	gQ		1,5	
	6 Глина	gQ	4,5	1,2	5,5
	7 Известняк	C	1,6		
	УГВ, м		202,1	202,7	202,0
	Отметка устья скважины, м		205,6	206,3	205,0
4	1 Растительный слой		0,3	0,3	
	2 Торф	hQ			1,0
	3 Мергель	lQ			1,2
	4 Песок мелкий	fgQ	5,5	2,2	
	5 Песок средней крупности	fgQ	2,0	3,0	3,0
	6 Глина	fgQ		1,6	
	7 Суглинок	gQ	5,2		5,8
	УГВ, м		208,2	207,4	207,2
	Отметка устья скважины, м		209,3	208,0	207,5

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	
5	1 Растительный слой		0,3			
	2 Песок средней крупности	aQ	3,3	1,0	0,9	
	3 Песок мелкий	aQ	2,1	0,9		
	4 Песок крупный	fgQ		1,1		
	5 Суглинок	gQ		3,0		
	6 Глина	N	1,0	1,2	1,2	
	7 Мергель	P		1,4	6,7	
	УГВ, м			238,7	238,9	238,8
	Отметка устья скважины, м			240,1	242,7	241,4
6	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3	
	2 Песок мелкий	fgQ	2,5	0,8	0,6	
	3 Глина	lQ	0,5		1,6	
	4 Песок крупный	fgQ	0,8		1,2	
	5 Песок мелкий	fgQ		1,9	1,2	
	6 Песок средней крупности	fgQ	2,0	4,0		
	7 Алевролит	J	2,9	4,0	7,0	
	УГВ, м			210,5	213,1	213,1
	Отметка устья скважины, м			212,2	216,8	216,0
7	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3	
	2 Песок пылеватый	pQ		0,6	0,4	
	3 Песок мелкий	fgQ	2,8	1,0	2,3	
	4 Песок средней крупности	fgQ	1,5	0,8	2,8	
	5 Песок мелкий	fgQ	1,7	1,5		
	6 Песок средней крупности	fgQ	4,7	1,3		
	7 Мел	K	2,0	6,5	5,2	
	УГВ, м			247,2	246,0	245,2
	Отметка устья скважины, м			249,8	247,5	245,8
8	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3	
	2 Песок мелкий	fgQ	3,2	2,0	2,4	
	3 Песок крупный	fgQ	0,9	0,8		
	4 Песок мелкий	fgQ	3,3	1,2	4,5	
	5 Глина	fgQ		0,9		
	6 Песок средней крупности	lQ	2,8	2,1	3,9	
	7 Мел	K	1,5	2,2		
	УГВ, м			244,7	244,7	243,9
	Отметка устья скважины, м			247,0	245,8	244,8
9	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3	
	2 Песок мелкий	fgQ	3,5			
	3 Песок пылеватый	pQ		0,3	0,5	
	4 Песок мелкий	fgQ		0,6	2,3	
	5 Суглинок	fgQ		1,0		
	6 Доломит	T	2,6	1,7	5,3	
	7 Известняк	C	0,5	1,4		
	УГВ, м			220,3	218,5	217,5
	Отметка устья скважины, м			223,7	221,5	219,8

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
10	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3
	2 Песок мелкий	fgQ		0,4	
	3 Песок крупный	fgQ	1,0		
	4 Суглинок	fgQ	1,7		
	5 Песок средней крупности	fgQ		2,6	1,7
	6 Глина	1Q	0,7	1,2	0,8
	7 Доломит	T	3,0	1,0	9,0
	УГВ, м		218,2	217,6	216,8
	Отметка устья скважины, м		221,0	219,5	218,0
11	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3
	2 Песок средней крупности	fgQ	4,5	1,0	2,2
	3 Песок мелкий	fgQ	3,5	1,1	4,2
	4 Песок крупный	fgQ		1,2	0,6
	5 Супесь	1Q		3,2	
	6 Суглинок	1Q	1,3	1,0	
	7 Известняк	C	1,6	0,8	1,8
	УГВ, м		202,1	202,7	202,0
	Отметка устья скважины, м		205,6	206,3	205,0
12	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3
	2 Песок пылеватый	pQ	1,0	0,6	1,2
	3 Песок мелкий	aQ	1,6	3,0	1,6
	4 Песок крупный	fgQ	1,2	2,4	1,4
	5 Супесь	fgQ	1,7	2,1	
	6 Мел	K		2,2	2,2
	7 Известняк	D	5,2	2,4	3,5
	УГВ, м		203,4	203,4	203,1
	Отметка устья скважины, м		205,5	206,3	205,0
13	1 Растительный слой		0,3	0,3	0,3
	2 Песок мелкий	aQ	4,5	2,2	3,0
	3 Песок средней крупности	fgQ		1,5	1,4
	4 Песок мелкий	fgQ		4,6	0,8
	5 Песок крупный	fgQ	1,0	1,2	1,0
	6 Мел	K	1,0	2,2	
	7 Известняк	D	4,2	1,0	2,9
	УГВ, м		203,7	204,3	204,3
	Отметка устья скважины, м		206,6	206,0	207,3
14	1 Растительный слой		0,3	0,3	
	2 Торф	hQ			1,0
	3 Мергель	1Q			1,2
	4 Песок мелкий	fgQ	5,5	2,2	
	5 Песок средней крупности	fgQ	2,0	3,0	3,0
	6 Суглинок	gQ	5,2		5,8
	7 Известняк	K			
	УГВ, м		208,2	207,4	207,2
	Отметка устья скважины, м		209,3	208,0	207,5

## Окончание таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
15	1 Растительный слой			0,3	0,3
	2 Торф	hQ	2,0		
	3 Мергель	lQ	1,8	0,6	
	4 Песок мелкий	fgQ			2,0
	5 Песок средней крупности	fgQ	1,0	2,0	1,3
	6 Глина	lQ		0,7	1,0
	7 Известняк	K	1,2	2,4	
	УГВ, м		206,3	206,5	206,3
	Отметка устья скважины, м		206,5	207,5	207,0

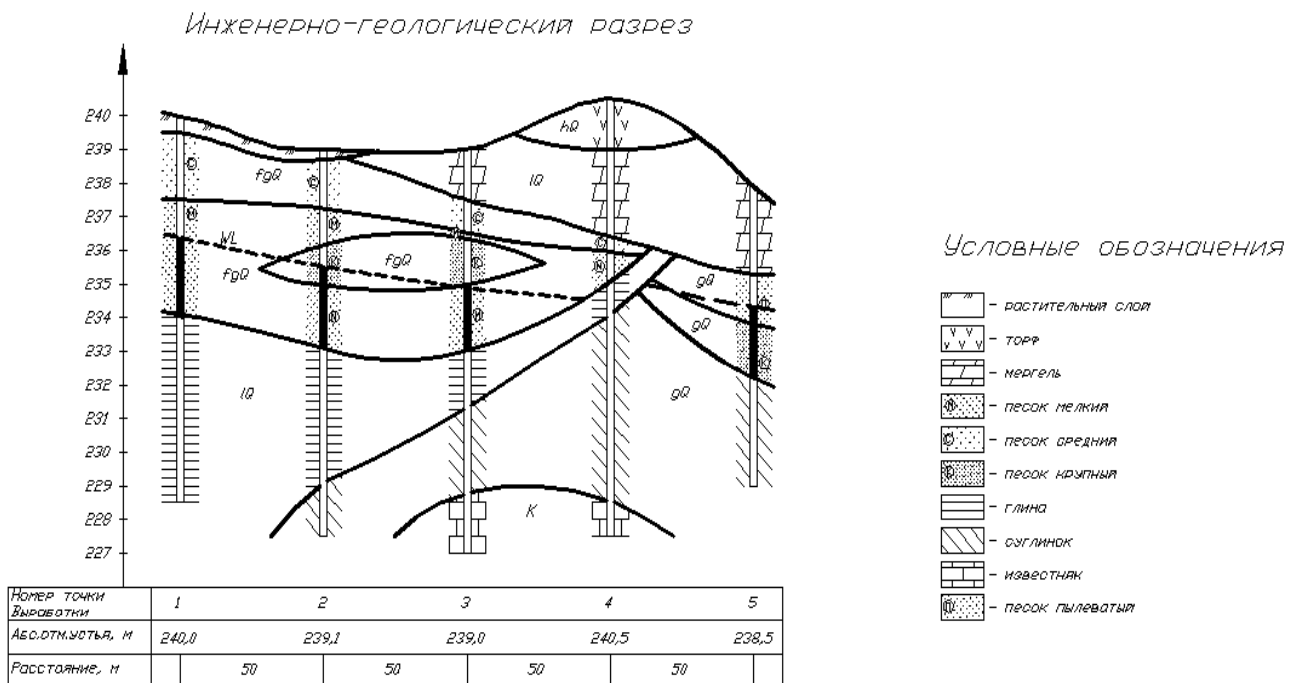


Рисунок 1.1 – Инженерно-геологический разрез

**Указания к решению**

Геологические карты, независимо от их вида, не дают полного представления о строении участка земной коры в том или ином месте. Представление это дополняется геологическими разрезами, или профилями.

Геологический разрез – это вертикальное сечение части литосферы, его можно ясно представить, если мысленно рассечь вертикально часть земной коры и нанести на чертеж в определенном масштабе обнажившиеся напластования горных пород. Разрез можно провести в любом направлении при горизонтальном залегании пластов. Геологические разрезы позволяют изображать отложения, которые не выходят на дневную поверхность и присутствие которых определя-



ется разведочными выработками и геофизическими методами. Разрезы могут составляться по геологическим картам или непосредственно по материалам бурения, шурфования, геофизических работ, по описанию естественных обнажений.

В наиболее простом случае разрез строится по материалам одной скважины или шурфа. Такой разрез называется колонкой в отличие от собственно геологического разреза, который отражает строение участка по определенному направлению.

В зависимости от цели исследования направлениями для составления профиля могут служить оси проектируемых сооружений, мостовых переходов и дорожных трасс, створы плотин и т. д. Разрез должен составляться в определенном масштабе. Следует стремиться к тому, чтобы горизонтальный и вертикальный масштабы геологического разреза были одинаковыми. Такой разрез дает картину, полностью соответствующую действительности. Однако увеличивать вертикальный масштаб по отношению к горизонтальному приходится в тех случаях, когда необходимо отобразить интересующие формы рельефа. Часто прибегают к уменьшению горизонтального масштаба по сравнению с вертикальным для уменьшения длины чертежа.

### ***Порядок выполнения работы***

Построение начинается с вычерчивания топоосновы – топографического профиля по выбранному направлению. Для нанесения топографического профиля с левой стороны листа проводится вертикальный линейный масштаб в виде линейки с делениями. Это облегчает составление и чтение разреза. Затем проводят условно базисную (нулевую линию), равную длине профиля. Нулевая линия проводится ниже наиболее низкой точки рельефа в выбранном сечении. Ее можно провести и на высоте устья той скважины, которая имеет самую низкую абсолютную отметку.

Линия топографического профиля проводится с таким расчетом, чтобы сверху осталось место для написания заголовка, а внизу – для изображения геологического строения и оформления профиля. Затем на нулевую линию наносятся в горизонтальном масштабе расстояния между скважинами в соответствии с заданием. Из нанесенных на нулевую линию точек (пользуясь вертикальным масштабом профиля) восстанавливают перпендикуляры, по своей величине равные превышению данной точки над отметкой нулевой линии. Соединив концы перпендикуляров плавной линией, получают линию топографического профиля. Затем наносятся осевые линии скважин и шурфов.

На проведенных осевых линиях скважин небольшими горизонтальными штрихами отмечают сверху вниз мощность пройденных слоев, а рядом указывают условными обозначениями литологический состав и возраст каждого слоя. Затем приступают к увязке разреза, к выделению литологических границ.

Производя увязку, соединяют непрерывными линиями в одно целое каждый пласт, вскрытый в отдельных выработках. В первую очередь увязывают наиболее характерные слои, встреченные в нескольких соседних скважинах. Это выдержанные пласты или прослойки горных пород, которыми могут быть глина, торф, супесь моренная и т. д. Они служат «руководящими», «опорными» или «маркирующими» горизонтами. На тех участках, где построение разреза основано на предположениях автора, границы между слоями наносятся предположительно (изображаются штриховой линией). Если порода, обнаруженная в одной скважине (шурфе), в соседней отсутствует, то изображают ее постепенное выклинивание к середине расстояния между скважинами или шурфами.

На разрез наносят отметки уровней подземных вод и соединяют их в единую пунктирную линию уровня. После увязки всех литологических границ слоев вдоль скважин наносится штриховка согласно общепринятым условным обозначениям (таблица А.1).

Кроме того, на профиле пишутся индексы, которые указывают на возраст и происхождение пород.

Оси буровых скважин и шурфов выделяются четкими линиями, а их забои подчеркиваются. Справа от оси скважин приводятся абсолютные отметки подошвы пластов, а слева – отметки подземных вод и дата замера.

Номера скважин, их абсолютные отметки и расстояния между соседними скважинами указываются под разрезом. Номер скважины и абсолютную отметку ее устья можно указывать и сверху, над линией топографического профиля, у вертикальных линий оси скважин.

Условные возрастные обозначения горных пород располагаются в строгой последовательности (от более молодых к более древним) и наносятся справа от разреза (сверху вниз) или под разрезом (слева направо).

Разрез подписывается вверху. Например: «Инженерно-геологический разрез по линии скважин 1-10». Тут же под разрезом, в средней его части, указываются масштабы.

## 2 Определение гидрогеологических параметров

**Задача.** Для определения гидрогеологических параметров артезианского водоносного горизонта был заложен куст скважин, состоящий из одной центральной и двух наблюдательных скважин, расположенных в плане по одной прямой на расстояниях соответственно  $L_1$  и  $L_2$  от центральной. Всеми скважинами под слоем водоупорных глин вскрыты водоносные пески на полную мощность  $m$ . При этом пьезометрический уровень установился ниже поверхности земли. Из центральной скважины производилась откачка воды с определением дебита  $q$ , а в наблюдательных скважинах замерялись понижения уровней  $S_1$  и  $S_2$ .

Используя приведенные ниже результаты замеров, выбранные в соответствии с вариантом из таблицы 2.1, постройте схему и определите коэффициент фильтрации песков  $K_f$ , коэффициент водопроницаемости водоносного слоя  $T$  и радиус влияния  $R$ .

Таблица 2.1 – Результаты замеров при испытании скважины

Но- мер вари- анта	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$m$ , м	$q$ , м <sup>3</sup> /сут	$S_1$ , м	$S_2$ , м	Но- мер вари- анта	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$m$ , м	$q$ , м <sup>3</sup> /сут	$S_1$ , м	$S_2$ , м
1	30	130	40,3	527	2,68	1,92	16	50	150	30,8	357	2,81	1,25
2	10	90	28,1	321	3,15	2,34	17	25	96	24,6	268	1,64	1,02
3	15	95	15,4	68	1,84	1,25	18	30	112	28,3	248	1,52	0,98
4	5	30	12,6	54	1,64	0,92	19	18	76	18,4	198	1,25	0,89
5	8	42	7,5	105	0,50	0,32	20	8	42	10,2	67	0,68	0,52
6	25	110	34,9	284	2,80	1,68	21	6	54	8,7	80	0,58	0,34
7	20	80	18,6	226	1,75	1,12	22	27	110	18,9	305	1,28	0,78
8	4	35	8,9	154	0,85	0,35	23	42	128	28,4	357	1,34	0,65
9	6	50	23,8	147	0,94	0,31	24	44	145	21,5	369	1,49	1,00
10	50	180	42,5	367	3,11	2,18	25	51	150	32,9	456	1,80	0,64
11	60	130	28,3	612	2,80	1,90	26	5	15	5	260	3,00	1,50
12	5	40	16,4	80	1,63	0,56	27	10	30	30	155	0,50	0,20
13	30	90	18,8	210	2,26	1,04	28	10	30	30	207	0,80	0,35
14	80	170	36,2	723	4,32	2,97	29	10	30	30	260	1,20	0,70
15	5	15	5	260	3,00	1,50	30	6	20	12	130	0,50	0,20

Схема для определения гидрогеологических параметров в артезианском водоносном горизонте представлена на рисунке 2.1.



выходят на поверхность, называется областью дренажа или разгрузки. Поверхностные слои горных пород, не содержащие свободных капиллярных и гравитационных вод, называются зоной аэрации.

В основу классификации подземных вод могут быть положены различные признаки. По условиям залегания подземные воды имеют следующую классификацию (рисунок 2.2).

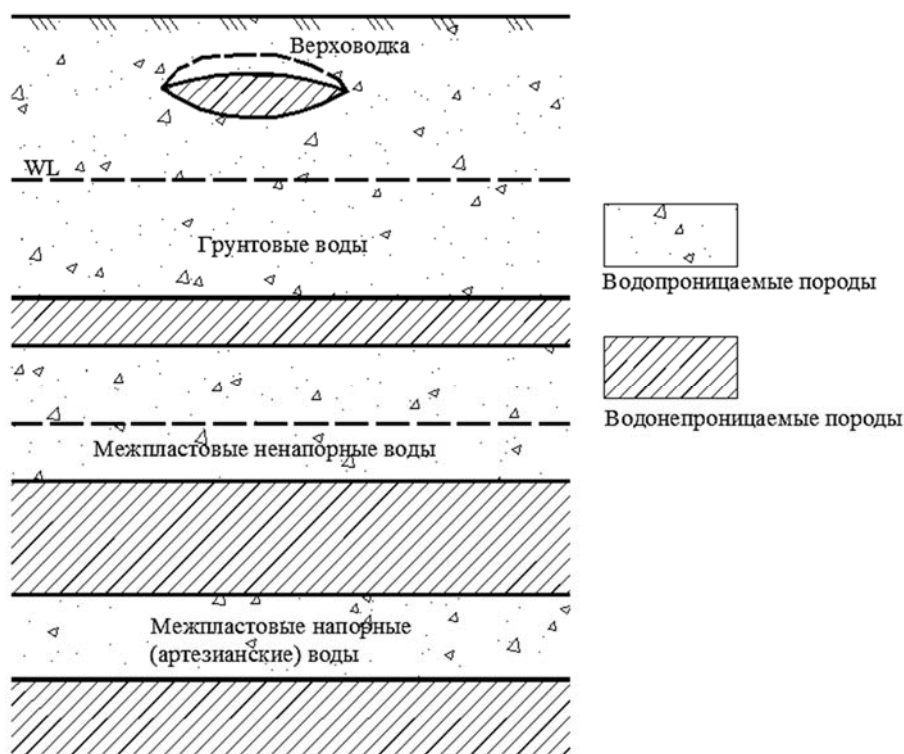


Рисунок 2.2 – Условия залегания подземных вод

Верховодка – подземные воды, залегающие вблизи поверхности земли и отличающиеся непостоянством распространения и дебита. Верховодка приурочена к первому от поверхности земли водоупорному пласту и занимает ограниченные территории. Воды верховодки обычно пресные, слабоминерализованные, но часто бывают загрязнены органическими веществами и содержат повышенные количества железа и кремнекислоты.

Грунтовыми водами называются воды, залегающие на первом водоупорном горизонте ниже верховодки. Они характеризуются более или менее постоянным дебитом. Уровень грунтовых вод подвержен постоянным колебаниям, на него влияют количество и качество выпадающих осадков, климат, рельеф, наличие растительного покрова и хозяйственная деятельность человека. Грунтовые воды являются одним из источников водоснабжения, выходы подземных вод на поверхность называются родниками, или ключами.

Межпластовые воды могут быть безнапорные и напорные (артезианские). Напорные (артезианские) воды находятся в водоносном слое, заключенном

между водоупорными слоями, и испытывают гидростатическое давление, обусловленное разностью уровней в месте питания и выхода воды на поверхность. Характеризуются постоянством дебита. Область питания у артезианских вод, размеры бассейнов которых достигают иногда тысячи километров, лежит обычно выше области стока воды и выше выхода напорных вод на поверхность Земли.

Горные породы по отношению к воде характеризуются следующими показателями: влагоемкостью, водоотдачей и водопроницаемостью. Водопроницаемость пород характеризуется коэффициентом фильтрации  $K_f$ , представляющим собой скорость движения подземной воды при гидравлическом градиенте, равном 1 см/с, м/ч или м/сут.

### ***Порядок выполнения работы***

Для расчета коэффициента фильтрации можно воспользоваться следующей формулой:

$$K_f = \frac{0,366 \cdot q \cdot (\lg L_2 - \lg L_1)}{m(S_1 - S_2)}, \quad (2.1)$$

где  $q$  – количество фильтрующейся воды, м<sup>3</sup>/сут;

$L_1$  и  $L_2$  – расстояния от наблюдательных скважин до центральной, м;

$m$  – мощность водоносного горизонта, м;

$S_1$  и  $S_2$  – понижение уровней в наблюдательных скважинах, м.

Коэффициент водопроницаемости равен произведению коэффициента фильтрации и мощности водоносного пласта:

$$T = K_f \cdot m, \quad (2.2)$$

где  $T$  – коэффициент водопроницаемости;

$m$  – мощность напорного пласта, м;

$K_f$  – коэффициент фильтрации.

Вследствие откачки воды происходит воронкообразное понижение уровня. Образуется воронка депрессии, имеющая в плане форму близкую к кругу. Радиус депрессионной воронки называют радиусом влияния  $R$ . Радиус влияния можно определить из уравнения

$$\lg R = \frac{(S_1 \cdot \lg L_2 - S_2 \cdot \lg L_1)}{(S_1 - S_2)}. \quad (2.3)$$

После решения задачи строится схема с нанесением гидрогеологических параметров.

### 3 Построение карты гидроизогипс

**Задача.** При выполнении разведочных работ пробурено 12 скважин, расположенных в плане по квадратной сетке, как показано на рисунке 3.1, на расстоянии 20 м друг от друга. В таблице 3.1 приведены абсолютные отметки устьев скважин (в числителе) и результаты одновременного замера глубин залегания уровней грунтовых вод (в знаменателе).

Используя эти данные, постройте на топографической основе карту гидроизогипс масштаба 1:500, приняв сечение горизонталей и гидроизогипс через 1 м. На карте выделите участки с глубиной залегания уровня грунтовых вод менее 2 м.

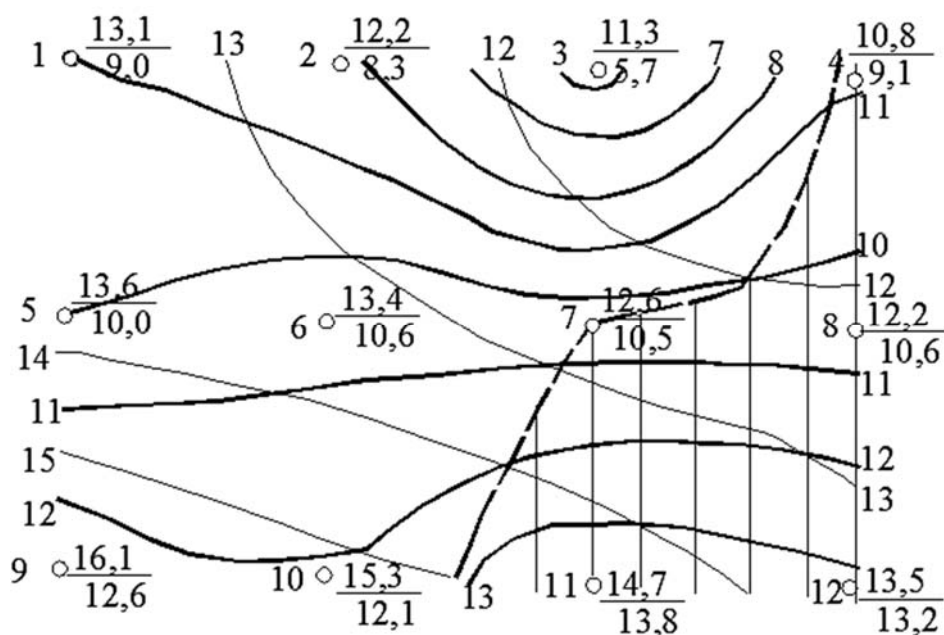


Рисунок 3.1 – Карта гидроизогипс

Таблица 3.1 – Абсолютные отметки устьев скважин (в числителе) и глубин залегания уровней грунтовых вод (в знаменателе)

Вариант	Номер скважины											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$\frac{12,4}{3,9}$	$\frac{11,3}{2,4}$	$\frac{10,6}{1,5}$	$\frac{10,5}{1,8}$	$\frac{13,0}{3,2}$	$\frac{12,5}{2,0}$	$\frac{12,3}{1,7}$	$\frac{12,4}{2,8}$	$\frac{15,3}{3,2}$	$\frac{14,2}{1,3}$	$\frac{13,7}{0,4}$	$\frac{13,3}{2,3}$
2	$\frac{13,6}{3,6}$	$\frac{13,1}{2,8}$	$\frac{12,5}{2,0}$	$\frac{12,4}{1,7}$	$\frac{16,7}{3,6}$	$\frac{15,1}{3,2}$	$\frac{14,4}{1,1}$	$\frac{13,5}{0,4}$	$\frac{18,2}{1,3}$	$\frac{18,3}{4,2}$	$\frac{18,2}{3,1}$	$\frac{17,0}{2,0}$
3	$\frac{13,2}{4,1}$	$\frac{12,5}{2,9}$	$\frac{12,0}{2,4}$	$\frac{11,7}{3,5}$	$\frac{15,2}{4,2}$	$\frac{14,0}{2,0}$	$\frac{13,6}{1,2}$	$\frac{13,3}{3,3}$	$\frac{18,8}{5,0}$	$\frac{18,0}{4,2}$	$\frac{17,3}{3,6}$	$\frac{17,2}{5,2}$
4	$\frac{10,3}{4,2}$	$\frac{9,1}{4,3}$	$\frac{8,4}{2,6}$	$\frac{7,5}{2,0}$	$\frac{10,6}{3,8}$	$\frac{10,3}{3,4}$	$\frac{9,5}{2,3}$	$\frac{9,1}{1,5}$	$\frac{13,3}{3,6}$	$\frac{12,2}{3,2}$	$\frac{11,2}{1,3}$	$\frac{10,5}{0,2}$
5	$\frac{9,1}{4,3}$	$\frac{8,2}{2,5}$	$\frac{7,6}{1,6}$	$\frac{7,5}{2,0}$	$\frac{10,1}{3,2}$	$\frac{9,5}{2,4}$	$\frac{9,4}{1,8}$	$\frac{9,2}{2,5}$	$\frac{12,0}{3,2}$	$\frac{11,3}{1,7}$	$\frac{10,5}{0,8}$	$\frac{10,3}{2,3}$
6	$\frac{10,6}{3,6}$	$\frac{10,1}{3,0}$	$\frac{9,5}{2,3}$	$\frac{9,6}{1,5}$	$\frac{13,2}{3,5}$	$\frac{12,4}{3,2}$	$\frac{11,5}{1,1}$	$\frac{10,5}{0,2}$	$\frac{15,6}{3,3}$	$\frac{15,3}{4,0}$	$\frac{15,1}{2,9}$	$\frac{14,3}{2,4}$

Окончание таблицы 3.1

Вариант	Номер скважины											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	<u>10,1</u> 3,6	<u>9,5</u> 2,1	<u>9,4</u> 1,5	<u>9,6</u> 2,5	<u>11,2</u> 3,3	<u>12,3</u> 0,9	<u>10,5</u> 0,2	<u>10,3</u> 2,3	<u>15,3</u> 4,2	<u>15,4</u> 3,2	<u>14,3</u> 1,9	<u>14,4</u> 4,1
8	<u>15,7</u> 2,2	<u>16,6</u> 3,7	<u>17,5</u> 5,3	<u>18,2</u> 5,4	<u>17,3</u> 2,1	<u>15,0</u> 2,8	<u>15,2</u> 4,4	<u>15,4</u> 3,3	<u>10,5</u> 0,2	<u>11,2</u> 0,9	<u>12,3</u> 3,2	<u>13,4</u> 3,5
9	<u>8,5</u> 2,6	<u>9,1</u> 1,7	<u>10,0</u> 4,3	<u>10,5</u> 4,1	<u>10,8</u> 3,2	<u>11,3</u> 0,9	<u>8,5</u> 2,9	<u>11,8</u> 6,2	<u>12,6</u> 5,5	<u>13,1</u> 6,5	<u>9,2</u> 3,5	<u>13,1</u> 6,6
10	<u>6,9</u> 2,2	<u>8,1</u> 3,3	<u>10,2</u> 4,3	<u>9,5</u> 3,8	<u>7,9</u> 6,6	<u>6,3</u> 4,7	<u>6,7</u> 2,4	<u>7,9</u> 1,3	<u>9,5</u> 2,7	<u>4,8</u> 2,6	<u>3,2</u> 1,5	<u>6,5</u> 1,4
11	<u>11,3</u> 3,8	<u>9,8</u> 1,9	<u>12,0</u> 1,8	<u>14,4</u> 3,2	<u>12,8</u> 5,0	<u>12,5</u> 2,4	<u>13,3</u> 2,2	<u>14,6</u> 2,8	<u>12,8</u> 2,9	<u>13,5</u> 3,7	<u>15,2</u> 4,4	<u>16,3</u> 4,0
12	<u>16,2</u> 2,9	<u>14,5</u> 2,3	<u>12,4</u> 2,3	<u>10,7</u> 2,3	<u>14,6</u> 2,0	<u>13,1</u> 1,6	<u>11,6</u> 1,6	<u>12,3</u> 3,6	<u>13,5</u> 1,8	<u>13,2</u> 1,7	<u>13,3</u> 2,1	<u>13,2</u> 2,7
13	<u>13,3</u> 2,1	<u>12,2</u> 1,8	<u>12,3</u> 1,9	<u>13,1</u> 2,1	<u>12,6</u> 2,2	<u>9,8</u> 0,5	<u>11,1</u> 2,5	<u>11,4</u> 2,7	<u>11,7</u> 2,2	<u>8,8</u> 1,0	<u>8,8</u> 1,2	<u>10,4</u> 2,7
14	<u>9,8</u> 0,9	<u>12,2</u> 2,7	<u>11,9</u> 1,2	<u>11,8</u> 0,6	<u>10,7</u> 0,1	<u>13,5</u> 2,1	<u>14,4</u> 2,2	<u>13,8</u> 1,3	<u>12,4</u> 0,8	<u>14,3</u> 2,1	<u>15,4</u> 2,3	<u>16,2</u> 2,7

### ***Порядок выполнения работы***

В заданном масштабе наносят на карту план расположения скважин, обозначая их кружками диаметром 2 мм. Слева от каждой скважины записывают ее номер, справа в числителе – абсолютную отметку устья, в знаменателе – абсолютную отметку уровня грунтовых вод (WL). Абсолютную отметку уровня грунтовых вод в каждой скважине вычисляют как разность между отметкой устья и глубиной залегания грунтовых вод.

Далее путем интерполяции между абсолютными отметками устьев скважин точки с абсолютными отметками, равными целому числу (по заданию сечение горизонталей и гидроизогипс через 1 м). Соединив точки с одинаковыми отметками плавными линиями, получают горизонтали рельефа (на рисунке 3.1 обозначены тонкими линиями).

Аналогично путем интерполяции находят точки с абсолютными отметками уровня грунтовых вод. Соединив точки с одинаковыми отметками WL плавными линиями, получим гидроизогипсы (на рисунке 3.1 – жирные линии). При составлении карты гидроизогипс нельзя интерполировать между точками, расположенными по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов.

Для выделения участков с глубиной залегания грунтовых вод менее 2 м находят точки пересечения горизонталей и гидроизогипс с разностью отметок 2 м. Линия, проведенная через эти точки, – гидроизобата – будет границей участка. На рисунке 3.1 гидроизобата показана пунктирной линией, а участок с глубиной залегания грунтовых вод менее 2 м заштрихован.



## 4 Определение давления грунтов на ограждения

**Задача.** Подпорная стенка высотой  $H$  с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой имеет заглубление фундамента  $h$ . Определите активное и пассивное давление грунта на подпорную стенку при различных случаях загрузки и грунтовых условиях: грунт сыпучий; грунт сыпучий с пригрузом интенсивностью  $q$ , кПа; грунт связный.

Исходные данные приведены в таблице 4.1. Схема к расчету представлена на рисунке 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Номер варианта	$H$ , м	$h$ , м	Грунт сыпучий		Грунт связный			$q$ , кПа
			$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\phi$ , град	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\phi$ , град	$c$ , кПа	
1	6,00	1,80	19,6	17	20,5	16	16	150
2	8,00	2,20	21,5	21	19,8	19	18	220
3	7,00	2,00	20,6	16	20,2	17	15	160
4	5,00	1,90	19,1	14	20,9	18	21	150
5	9,00	2,50	20,3	25	20,8	21	23	180
6	4,00	1,60	21,8	18	19,7	20	19	120
7	6,00	1,90	20,8	12	20,6	14	14	240
8	10,00	3,20	19,4	19	19,8	22	22	200
9	8,00	2,30	20,4	16	19,6	23	20	150
10	7,00	2,40	21,3	20	20,4	19	25	140
11	5,00	1,5	20,1	24	19,7	15	24	130
12	6,50	2,2	19,4	19	20,4	10	27	270
13	9,50	2,6	21,1	17	20,8	17	24	210
14	7,00	2,0	20,5	24	19,4	16	26	190
15	12,00	3,2	19,6	21	20,3	17	27	185
16	11,00	3,4	21,1	26	20,7	14	27	160
17	6,50	2,7	20,4	24	19,8	18	23	200
18	7,50	1,8	21,4	28	20,4	20	24	270
19	8,50	2,1	19,7	30	19,4	16	29	180
20	9,00	2,6	20,7	17	20,0	18	27	195
21	13,00	3,9	21,3	24	19,7	14	27	165
22	9,50	2,5	19,8	20	19,8	13	24	170
23	6,50	1,8	20,6	21	20,7	18	26	210
24	8,50	2,4	19,4	19	20,3	20	18	150
25	11,00	3,2	21,5	27	19,4	17	29	170
26	13,50	3,4	20,6	26	19,9	21	17	160
27	7,50	2,4	19,4	21	19,2	16	26	180
28	9,00	2,8	21,6	19	20,6	17	27	200
29	15,00	4,1	20,2	22	20,4	13	28	240
30	12,50	3,2	21,0	27	20,8	12	27	180

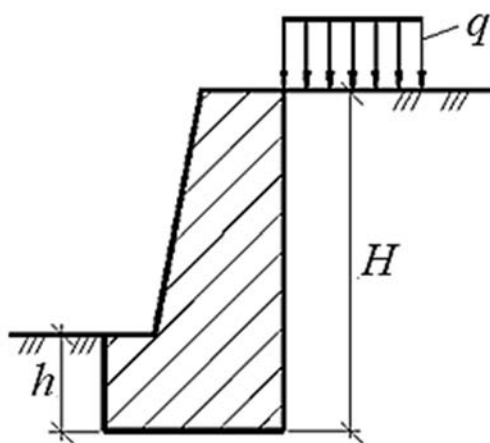


Рисунок 4.1 – Схема к расчету подпорной стенки

#### 4.1 Определение давления на подпорную стенку от сыпучего грунта

Общее выражение для определения давления сыпучих грунтов имеет следующий вид:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (4.1)$$

где  $z$  – расстояние точки от поверхности засыпки.

Максимальное активное давление грунта на вертикальную гладкую стенку при  $z = H$

$$\sigma_{ya(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4.2)$$

Равнодействующая активного давления на подпорную стенку равна площади эпюры давления

$$E_a = \sigma_{ya(H)} \cdot \frac{H}{2}. \quad (4.3)$$

Максимальное пассивное давление грунта на заднюю грань вертикальной стены при  $z = h$ :

$$\sigma_{yp(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (4.4)$$

Равнодействующая пассивного давления.

$$E_p = \sigma_{yp(h)} \cdot \frac{h}{2}. \quad (4.5)$$

Пример расчета.

Дано: высота стенки  $H = 6$  м; высота заглубления стенки  $h = 1,5$  м; угол внутреннего трения грунта  $\varphi = 16^\circ$ ; удельный вес грунта  $\gamma = 22$  кН/м<sup>3</sup>.

Решение

$$\sigma_{ya(H)} = 22 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 75 \text{ кПа.}$$

$$E_a = 75 \cdot \frac{6}{2} = 225 \text{ кН/м.}$$

$$\sigma_{yp(h)} = 22 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{16}{2}\right) = 58,1 \text{ кПа.}$$

$$E_p = 58,1 \cdot \frac{1,5}{2} = 43,58 \text{ кН/м.}$$

По полученным данным строят расчетную схему и эпюру напряжений (рисунок 4.2). При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

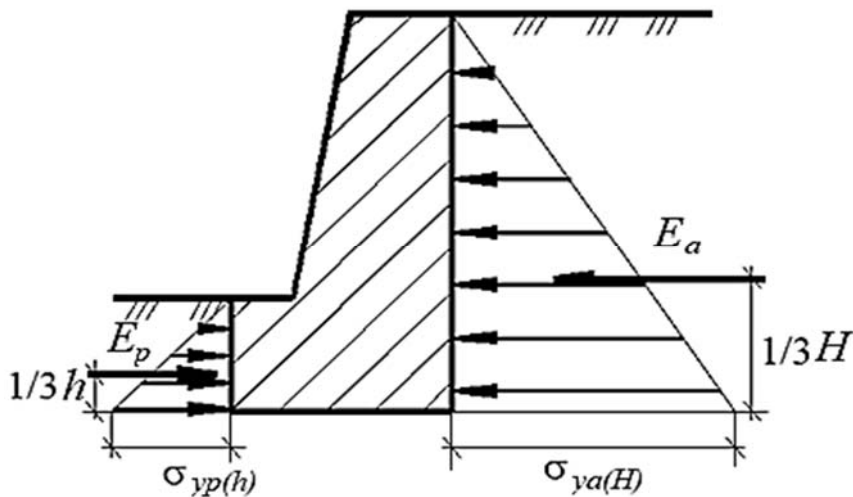


Рисунок 4.2 – Расчетная схема подпорной стены при определении давления от идеально сыпучего грунта

#### 4.2 Определение давления на подпорную стенку от сыпучего грунта с учетом пригрузки на поверхности грунта

При определении давления действие сплошного равномерно распределенного пригруза в этом случае заменяется эквивалентной высотой слоя грунта:

$$b = \frac{q}{\gamma}. \quad (4.6)$$

Активное давление на уровне верха подпорной стенки

$$\sigma_{ya(b)} = \gamma \cdot b \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (4.7)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки

$$\sigma_{ya(b+H)} = \gamma \cdot (b + H) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (4.8)$$

Равнодействующая активного давления

$$E_a = \frac{H \cdot \left(\sigma_{ya(b)} + \sigma_{ya(b+H)}\right)}{2}. \quad (4.9)$$

Пример расчета.

Дано: высота стенки  $H = 6$  м; высота заглубления стенки  $h = 1,5$  м; угол внутреннего трения грунта  $\varphi = 16^\circ$ ; удельный вес грунта  $\gamma = 22$  кН/м<sup>3</sup>; интенсивность пригрузки  $q = 50$  кПа.

Решение

$$b = \frac{50}{22} = 2,27 \text{ м.}$$

$$\sigma_{ya(b)} = 22 \cdot 2,27 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 28,36 \text{ кПа.}$$

$$\sigma_{ya(b+H)} = 22 \cdot (2,27 + 6) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 103,33 \text{ кПа.}$$

$$E_a = \frac{6 \cdot (28,36 + 103,33)}{2} = 395,07 \text{ кН/м.}$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рисунок 4.3).

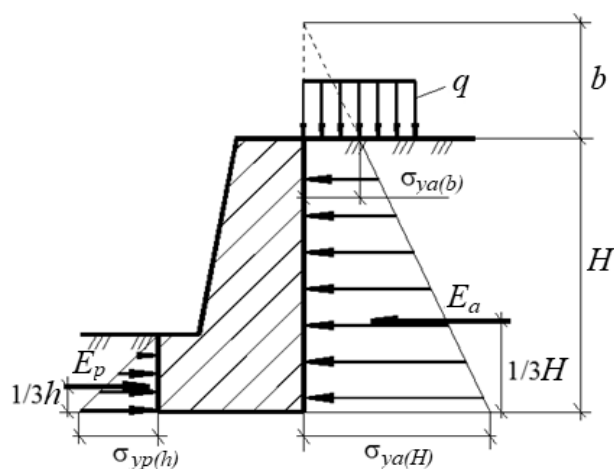


Рисунок 4.3 – Расчетная схема подпорной стены при определении давления от идеально сыпучего грунта с учетом пригрузки

### 4.3 Определение давления на подпорную стенку от связного грунта

Действие сил сцепления заменяется всесторонним давлением связности:

$$p_e = \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi}. \quad (4.10)$$

Далее приводим давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта:

$$h_1 = \frac{c}{(\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi)}. \quad (4.11)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки

$$\sigma_2 = \gamma \cdot (H + h_1) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - p_e. \quad (4.12)$$

Подставляя в (4.12) значения (4.10) и (4.11) и преобразовывая, получаем

$$\sigma_2 = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{2c}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (4.13)$$

На некоторой глубине суммарное давление будет равно нулю, из условия  $\sigma_2 = 0$  находим высоту  $h_c$

$$h_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (4.14)$$

Равнодействующая активного давления

$$E_a = \frac{\sigma_2 \cdot (H - h_c)}{2}. \quad (4.15)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунта

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (4.16)$$

Пример расчета.

Дано: высота стенки  $H = 6$  м; высота заглубления стенки  $h = 1,5$  м; угол внутреннего трения грунта  $\varphi = 21^\circ$ ; удельное сцепление грунта  $c = 18$  кПа; удельный вес грунта  $\gamma = 22$  кН/м<sup>3</sup>.





### Указания к решению

В проектной практике решения подобных задач широко распространен расчет устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

За коэффициент устойчивости откоса  $K_y$  принимают отношение момента сил, удерживающих откос от сдвига  $M_{y\partial}$ , к моменту сил, стремящихся сдвинуть откос  $M_{сдв}$ .

$$K_y = \frac{M_{y\partial}}{M_{сдв}} = \frac{(\sum N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi + c \cdot L) \cdot R}{\sum T_i \cdot R}, \quad (5.1)$$

где  $N_i$  – нормальные составляющие от веса отсеков  $P_i$ , равные  $P_i \cdot \cos \Theta_i$ ;

$P_i$  – вес расчетного отсека;

$\Theta_i$  – угол между направлением силы  $P_i$  и нормальной составляющей  $N_i$ ;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта откоса;

$c$  – удельное сцепление грунта откоса;

$L$  – длина дуги скольжения AC;

$R$  – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;

$T_i$  – касательные составляющие от веса отсеков  $P_i$ , равные  $P_i \cdot \sin \Theta_i$ .

Для откосов сложенных однородной толщей грунтов для определения координат  $X$  и  $Y$  центра  $O$  (центр наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости  $K_y$  получается минимальным) используется график Янбу, представленный на рисунке А.1.

Вместе с тем, без большой погрешности формула (5.1) для определения коэффициента устойчивости откоса может быть записана в более простом виде при  $\cos \Theta = 0,8$ :

$$K_y = \frac{(0,8 \cdot \sum P_i \cdot \operatorname{tg}\varphi + c \cdot L) \cdot R}{\sum P_i \cdot X_i}, \quad (5.2)$$

где  $X_i$  – плечо от линии действия веса расчетного отсека до центра вращения (рисунок 5.2).

Сдвигающий момент принимается для восходящей ветви кривой скольжения отрицательным, а для нисходящей ветви – положительным.

Радиус круглоцилиндрической дуги скольжения  $R$ , а также ширину и высоту отсеков допускается определять графически из расчетной схемы, выполненной в масштабе М 1:100. Для расчета выделяют 1 п. м по длине откоса (перпендикулярно к плоскости чертежа). Вес расчетного отсека определяется как произведение удельного веса грунта на объем отсека:

$$P_i = \gamma \cdot V_i = \gamma \cdot A_i \cdot 1, \quad (5.3)$$

где  $A_i$  – площадь  $i$ -го отсека.







## 6 Расчет напряжений в грунте от действия сосредоточенных сил

**Задача.** К горизонтальной поверхности массива грунта в одном створе приложены три вертикальные сосредоточенные силы  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , расстояние между осями действия сил  $r_1$  и  $r_2$ . Определите величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил:

- 1) по вертикали I-I, проходящей через точку приложения силы  $P_2$ ;
- 2) по горизонтали II-II, проходящей на расстоянии  $z$  от поверхности массива грунта.

Точки по вертикали расположите от поверхности на расстоянии 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 м. Точки по горизонтали расположите вправо и влево от оси действия силы  $P_2$  на расстоянии 0, 1,0, 3,0 м.

По вычисленным напряжениям и заданным осям постройте эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ .

Схема к расчету представлена на рисунке 6.1.

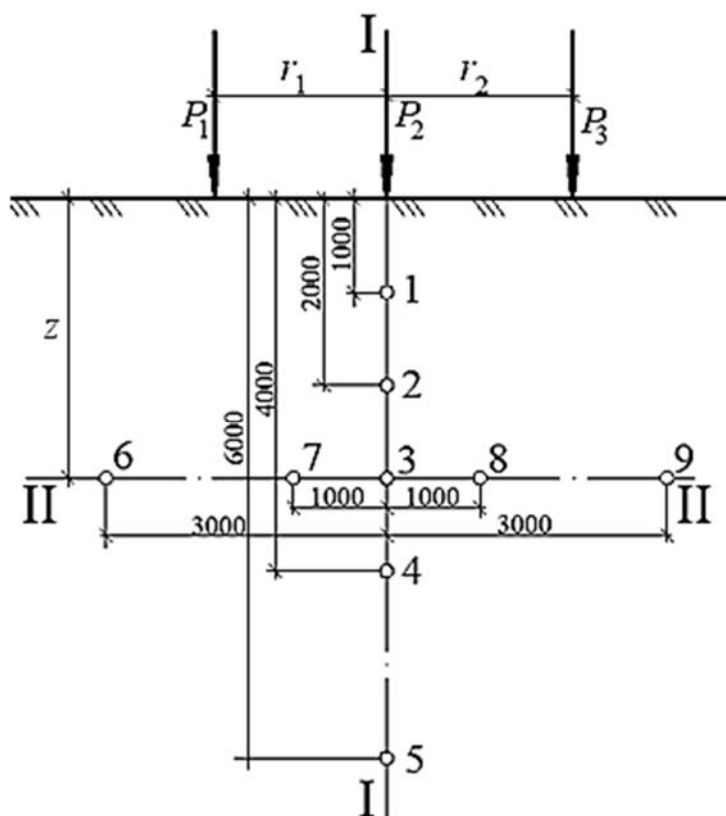


Рисунок 6.1 – Схема к расчету напряжений в грунте от совместного действия сосредоточенных сил

Исходные данные приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные к задаче

Номер варианта	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$r_1$ , м	$r_2$ , м	$z$ , м
1	1200	800	1400	1,0	2,00	3,00
2	1200	800	1200	2,0	2,00	2,50
3	1900	600	1300	3,0	1,00	2,00
4	1300	500	1500	3,0	2,00	3,00
5	1100	700	1800	2,0	3,00	2,00
6	1800	800	1600	3,0	2,00	1,50
п	1000	600	1100	1,0	1,00	2,00
8	1800	800	1400	3,0	1,00	3,00
9	1500	700	1900	2,0	3,00	2,50
10	1300	600	1300	2,0	2,00	2,00
11	1900	500	1500	3,0	2,0	1,5
12	1500	400	1200	1,0	2,0	2,5
13	1600	700	1000	3,0	1,0	2,0
14	1800	900	1700	2,0	3,0	3,0
15	2000	400	1500	2,0	3,0	3,5
16	1400	800	1400	1,0	2,0	2,5
17	1700	700	1200	3,0	2,0	3,0
18	1800	600	1600	1,0	4,0	2,0
19	1400	500	1700	1,0	3,0	1,5
20	1300	400	1400	2,0	4,0	3,0

### 6.1 Определение напряжений в грунте от действия сосредоточенных сил

Для случая, когда к горизонтальной поверхности массива грунта приложено несколько сосредоточенных сил  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ , величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  в любой точке массива грунта можно определить суммированием составляющих напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости

$$\sigma_{zi} = \frac{\sum k_i \cdot P_i}{z_i^2}, \quad (6.1)$$

где  $k_i$  – коэффициент, являющийся функцией отношения  $\frac{r_i}{z_i}$ ;

$r_i$  – расстояние по горизонтальной оси от рассматриваемой точки до оси  $z$ , проходящей через точку приложения сосредоточенной силы  $P_i$ ;

$z_i$  – глубина рассматриваемой точки от плоскости приложения сосредоточенной силы  $P_i$ .

Значения коэффициента  $k$  приведены в таблице А.2.

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

Пример расчета.

Дано:  $P_1 = 1100$  кН;  $P_2 = 700$  кН;  $P_3 = 1800$  кН;  $r_1 = 2$  м;  $r_2 = 3$  м;  $z = 3$  м.

*Решение*

Определяем напряжения в точках, расположенных по вертикали I – I.

Точка 1  $z = 1$  м.

$$r_1 = 2 \text{ м}; \quad r_1/z = 2/1 = 2; \quad k_1 = 0,0085;$$

$$r_2 = 0; \quad r_2/z = 0/1 = 0; \quad k_2 = 0,4775;$$

$$r_3 = 3 \text{ м}; \quad r_3/z = 3/1 = 3; \quad k_3 = 0,0015;$$

$$\sigma_{z1} = 0,0085 \frac{1100}{1^2} + 0,4775 \frac{700}{1^2} + 0,0015 \frac{1800}{1^2} = 346 \text{ кПа} = 0,346 \text{ кПа.}$$

Точка 2  $z = 2$  м.

$$r_1 = 2 \text{ м}; \quad r_1/z = 2/2 = 2; \quad k_1 = 0,0844;$$

$$r_2 = 0; \quad r_2/z = 0/2 = 0; \quad k_2 = 0,4775;$$

$$r_3 = 3 \text{ м}; \quad r_3/z = 3/2 = 1,5; \quad k_3 = 0,0251;$$

$$\sigma_{z1} = 0,0844 \frac{1100}{2^2} + 0,4775 \frac{700}{2^2} + 0,0251 \frac{1800}{2^2} = 118 \text{ кПа} = 0,118 \text{ кПа.}$$

Точка 3  $z = 3$  м.

$$r_1 = 2 \text{ м}; \quad r_1/z = 2/3 = 0,6667; \quad k_1 = 0,1889;$$

$$r_2 = 0; \quad r_2/z = 0/3 = 0; \quad k_2 = 0,4775;$$

$$r_3 = 3 \text{ м}; \quad r_3/z = 3/3 = 1; \quad k_3 = 0,0844;$$

$$\sigma_{z1} = 0,1889 \frac{1100}{3^2} + 0,4775 \frac{700}{3^2} + 0,0844 \frac{1800}{3^2} = 77,1 \text{ кПа} = 0,077 \text{ кПа.}$$

Точка 4  $z = 4$  м.

$$r_1 = 2 \text{ м}; \quad r_1/z = 2/4 = 0,5; \quad k_1 = 0,2733;$$

$$r_2 = 0; \quad r_2/z = 0/4 = 0; \quad k_2 = 0,4775;$$

$$r_3 = 3 \text{ м}; \quad r_3/z = 3/4 = 0,75; \quad k_3 = 0,1565;$$

$$\sigma_{z1} = 0,2733 \frac{1100}{4^2} + 0,4775 \frac{700}{4^2} + 0,1565 \frac{1800}{4^2} = 57,3 \text{ кПа} = 0,057 \text{ кПа.}$$

Точка 5  $z = 6$  м.

$$r_1 = 2 \text{ м}; \quad r_1/z = 2/6 = 0,33; \quad k_1 = 0,3687;$$

$$r_2 = 0; \quad r_2/z = 0/6 = 0; \quad k_2 = 0,4775;$$

$$r_3 = 3 \text{ м}; \quad r_3/z = 3/6 = 0,5; \quad k_3 = 0,2733;$$

$$\sigma_{z1} = 0,3687 \frac{1100}{6^2} + 0,4775 \frac{700}{6^2} + 0,2733 \frac{1800}{6^2} = 34,2 \text{ кПа} = 0,034 \text{ кПа.}$$

Определяем напряжения в точках расположенных по горизонтали II – II.

Точка 6  $z = 3$  м.

$$r_1 = 1 \text{ м}; \quad r_1/z = 1/3 = 0,33; \quad k_1 = 0,3687;$$

$$r_2 = 3 \text{ м}; \quad r_2/z = 3/3 = 1; \quad k_2 = 0,0844;$$

$$r_3 = 6 \text{ м}; \quad r_3/z = 6/3 = 2; \quad k_3 = 0,0085;$$

$$\sigma_{z1} = 0,3687 \frac{1100}{3^2} + 0,0844 \frac{700}{3^2} + 0,0085 \frac{1800}{3^2} = 53,3 \text{ кПа} = 0,053 \text{ кПа.}$$

Точка 7  $z = 3$  м.

$$\begin{aligned} r_1 &= 1 \text{ м}; & r_1/z &= 1/3 = 0,33; & k_1 &= 0,3687; \\ r_2 &= 1 \text{ м}; & r_2/z &= 1/3 = 0,33; & k_2 &= 0,3687; \\ r_3 &= 4 \text{ м}; & r_3/z &= 4/3 = 1,33; & k_3 &= 0,0374; \end{aligned}$$

$$\sigma_{z1} = 0,3687 \frac{1100}{3^2} + 0,3687 \frac{700}{3^2} + 0,0374 \frac{1800}{3^2} = 81,2 \text{ кПа} = 0,081 \text{ кПа}.$$

Точка 8  $z = 3$  м.

$$\begin{aligned} r_1 &= 3 \text{ м}; & r_1/z &= 3/3 = 1; & k_1 &= 0,0844; \\ r_2 &= 1 \text{ м}; & r_2/z &= 1/3 = 0,33; & k_2 &= 0,3687; \\ r_3 &= 2 \text{ м}; & r_3/z &= 2/3 = 0,67; & k_3 &= 0,1889; \end{aligned}$$

$$\sigma_{z1} = 0,0844 \frac{1100}{3^2} + 0,3687 \frac{700}{3^2} + 0,1889 \frac{1800}{3^2} = 76,7 \text{ кПа} = 0,077 \text{ кПа}.$$

Точка 9  $z = 3$  м.

$$\begin{aligned} r_1 &= 5 \text{ м}; & r_1/z &= 5/3 = 1,67; & k_1 &= 0,0171; \\ r_2 &= 3 \text{ м}; & r_2/z &= 3/3 = 1; & k_2 &= 0,0844; \\ r_3 &= 0 \text{ м}; & r_3/z &= 0/3 = 0; & k_3 &= 0,4775; \end{aligned}$$

$$\sigma_{z1} = 0,0171 \frac{1100}{3^2} + 0,0844 \frac{700}{3^2} + 0,4775 \frac{1800}{3^2} = 104 \text{ кПа} = 0,104 \text{ кПа}.$$

По полученным значениям напряжений строим эпюры распределения напряжений по соответствующим точкам (рисунок 6.2).

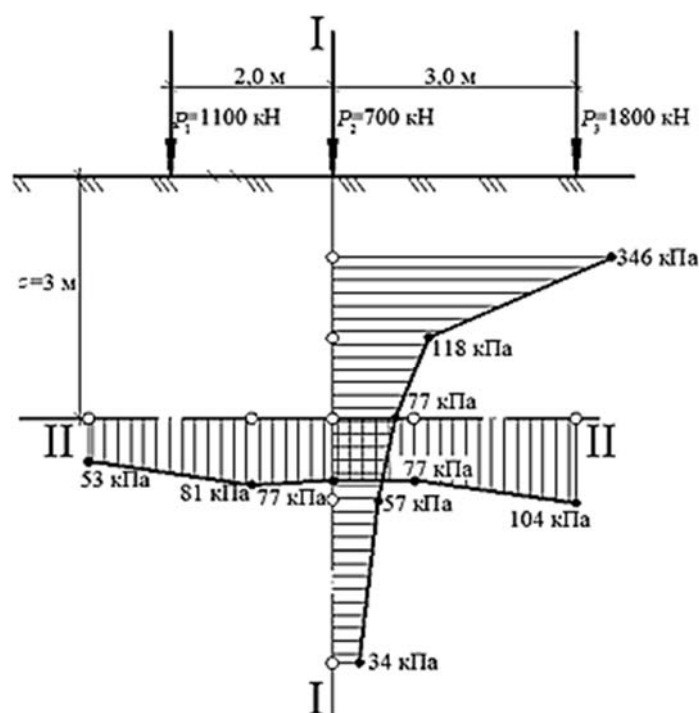


Рисунок 6.2 – Эпюры напряжений

## 7 Расчет напряжений в грунте от действия неравномерно распределенной полосообразной нагрузки

**Задача.** К горизонтальной поверхности массива грунта приложена вертикальная неравномерная нагрузка, распределенная в пределах гибкой полосы (ширина полосы  $b$ ) по закону трапеции от  $P_1$  до  $P_2$ . Определите величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  загруженной полосы и горизонтали, расположенной на расстоянии  $z$  от поверхности. Точки по вертикали расположите от поверхности на расстоянии 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 м. Точки по горизонтали расположите вправо и влево от середины загруженной полосы на расстоянии 0, 1,0, 3,0 м. По вычисленным напряжениям постройте эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ .

Исходные данные приведены в таблице 7.1. Схема к расчету представлена на рисунке 7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные к задаче

Номер варианта	$b$ , м	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	$z$ , М	Расчетная вертикаль
1	3,00	0,12	0,22	1,0	$M_1$
2	5,00	0,18	0,28	3,0	$M_2$
3	4,00	0,22	0,32	2,0	$M_3$
4	5,00	0,26	0,36	2,0	$M_4$
5	6,00	0,14	0,24	4,0	$M_5$
6	4,00	0,16	0,26	2,0	$M_5$
7	6,00	0,24	0,34	3,0	$M_4$
8	5,00	0,15	0,25	4,0	$M_3$
9	4,00	0,13	0,23	2,0	$M_2$
10	3,00	0,21	0,31	1,0	$M_1$
11	3,50	0,19	0,25	2,5	$M_3$
12	5,00	0,24	0,34	1,5	$M_2$
13	6,50	0,21	0,31	3,5	$M_4$
14	4,00	0,19	0,27	2,0	$M_5$
15	7,00	0,31	0,40	4,0	$M_4$
16	3,00	0,27	0,39	4,5	$M_1$
17	5,50	0,17	0,23	2,0	$M_2$
18	5,00	0,24	0,29	3,5	$M_3$
19	4,80	0,27	0,37	5,0	$M_4$
20	6,40	0,25	0,31	3,5	$M_4$

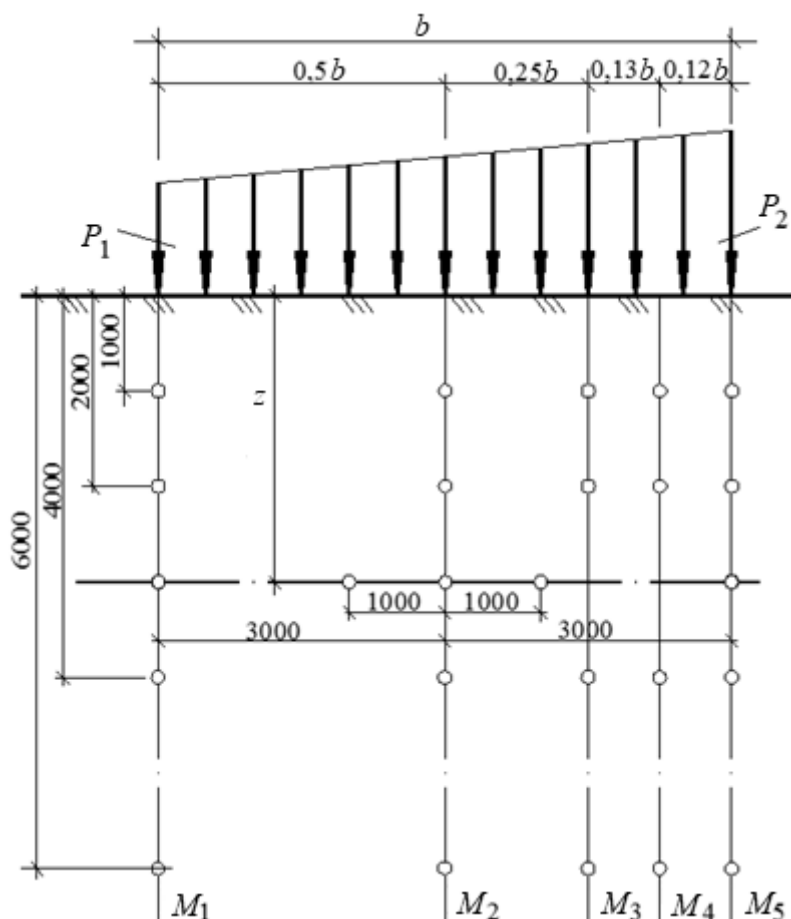


Рисунок 7.1 – Схема к расчету напряжений в грунте от действия неравномерно распределенной полосообразной нагрузки

### 7.1 Определение напряжений в грунте от действия неравномерно распределенной нагрузки

Для случая действия на поверхности массива грунта нагрузки, распределенной в пределах гибкой полосы по трапециевидной эпюре, величину вертикального сжимающего напряжения в заданной точке массива грунта определяют путем суммирования напряжений от прямоугольного и треугольного элементов эпюры внешней нагрузки.

Вертикальные напряжения  $\sigma_z$ , возникающие от действия полосообразной равномерно распределенной нагрузки (прямоугольный элемент эпюры внешней нагрузки), определяют по формуле

$$\sigma_z = k_z \cdot p, \quad (7.1)$$

где  $k_z$  – коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат  $z/b$  и  $y/b$  (см. таблицу А.2);

$p$  – вертикальная равномерно распределенная нагрузка.



Вертикальные напряжения  $\sigma_z$ , возникающие от действия полосообразной неравномерной нагрузки, распределенной по закону треугольника (треугольный элемент эпюры внешней нагрузки), определяются по формуле

$$\sigma_z = k_z' \cdot p, \quad (7.2)$$

где  $k_z'$  – коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат  $z/b$  и  $y/b$  (таблица А.3);

$p$  – наибольшая ордината треугольной нагрузки.

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

Пример расчета.

Дано:  $b = 6,0$  м,  $P_1 = 0,14$  МПа,  $P_2 = 0,24$  МПа,  $z = 4,0$  м, расчетная вертикаль  $M_5$ .

*Решение*

При расчете вертикальных напряжений равномерно распределенную нагрузку принимаем  $P = P_1 = 0,14$  МПа, при этом наибольшая ордината треугольной нагрузки  $P' = P_2 - P_1 = 0,24 - 0,14 = 0,1$  МПа. Начало координат для равномерно распределенной нагрузки находится в середине полосы нагружения, а начало координат для неравномерно распределенной нагрузки находится с краю полосы нагружения, где значение треугольной нагрузки равно нулю.

Вычисляем напряжения в расчетных точках.

Точка 1.

$z = 1$  м;  $y = 3$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 1/6 = 0,17$ ;  $y/b = 3/6 = 0,5$ ;  $k_z = 0,5$ .

$z' = 1$  м;  $y' = 6$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 1/6 = 0,17$ ;  $y/b = 6/6 = 1$ ;  $k_z' = 0,448$ .

$\sigma_z = k_z \cdot P + k_z' \cdot P' = 0,5 \cdot 0,14 + 0,448 \cdot 0,1 = 0,115$  МПа.

Точка 2.

$z = 2$  м;  $y = 3$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 2/6 = 0,33$ ;  $y/b = 3/6 = 0,5$ ;  $k_z = 0,495$ .

$z' = 2$  м;  $y' = 6$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 2/6 = 0,33$ ;  $y/b = 6/6 = 1$ ;  $k_z' = 0,401$ .

$\sigma_z = 0,495 \cdot 0,14 + 0,401 \cdot 0,1 = 0,11$  МПа.

Точка 3.

$z = 4$  м;  $y = 3$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 4/6 = 0,67$ ;  $y/b = 3/6 = 0,5$ ;  $k_z = 0,46$ .

$z' = 4$  м;  $y' = 6$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 4/6 = 0,67$ ;  $y/b = 6/6 = 1$ ;  $k_z' = 0,312$ .

$\sigma_z = 0,46 \cdot 0,14 + 0,312 \cdot 0,1 = 0,096$  МПа.

Точка 4.

$z = 6$  м;  $y = 3$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 6/6 = 1$ ;  $y/b = 3/6 = 0,5$ ;  $k_z = 0,41$ .

$z' = 6$  м;  $y' = 6$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 6/6 = 1$ ;  $y/b = 6/6 = 1$ ;  $k_z' = 0,241$ .

$\sigma_z = 0,41 \cdot 0,14 + 0,241 \cdot 0,1 = 0,082$  МПа.

Точка 5.

$z = 4$  м;  $y = -3$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 4/6 = 0,67$ ;  $y/b = -3/6 = -0,5$ ;  $k_z = 0,46$ .

$z' = 4$  м;  $y' = 0$  м;  $b = 6$  м;  $z/b = 4/6 = 0,67$ ;  $y/b = 0/6 = 0$ ;  $k_z' = 0,145$ .

$\sigma_z = 0,46 \cdot 0,14 + 0,145 \cdot 0,1 = 0,079$  МПа.

Точка 6.

$$z = 4 \text{ м}; y = -1 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = -1/6 = -0,17; k_z = 0,673.$$

$$z' = 4 \text{ м}; y' = 2 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = 2/6 = 0,33; k_z' = 0,287.$$

$$\sigma_z = 0,673 \cdot 0,14 + 0,287 \cdot 0,1 = 0,123 \text{ МПа}.$$

Точка 7.

$$z = 4 \text{ м}; y = 0 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = 0/6 = 0; k_z = 0,717.$$

$$z' = 4 \text{ м}; y' = 3 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = 3/6 = 0,5; k_z' = 0,359.$$

$$\sigma_z = 0,717 \cdot 0,14 + 0,359 \cdot 0,1 = 0,136 \text{ МПа}.$$

Точка 8.

$$z = 4 \text{ м}; y = 1 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = 1/6 = 0,17; k_z = 0,673.$$

$$z' = 4 \text{ м}; y' = 4 \text{ м}; b = 6 \text{ м}; z/b = 4/6 = 0,67; y/b = 4/6 = 0,67; k_z' = 0,386.$$

$$\sigma_z = 0,673 \cdot 0,14 + 0,386 \cdot 0,1 = 0,133 \text{ МПа}.$$

По полученным значениям строим эпюры распределения напряжений (рисунок 7.2).

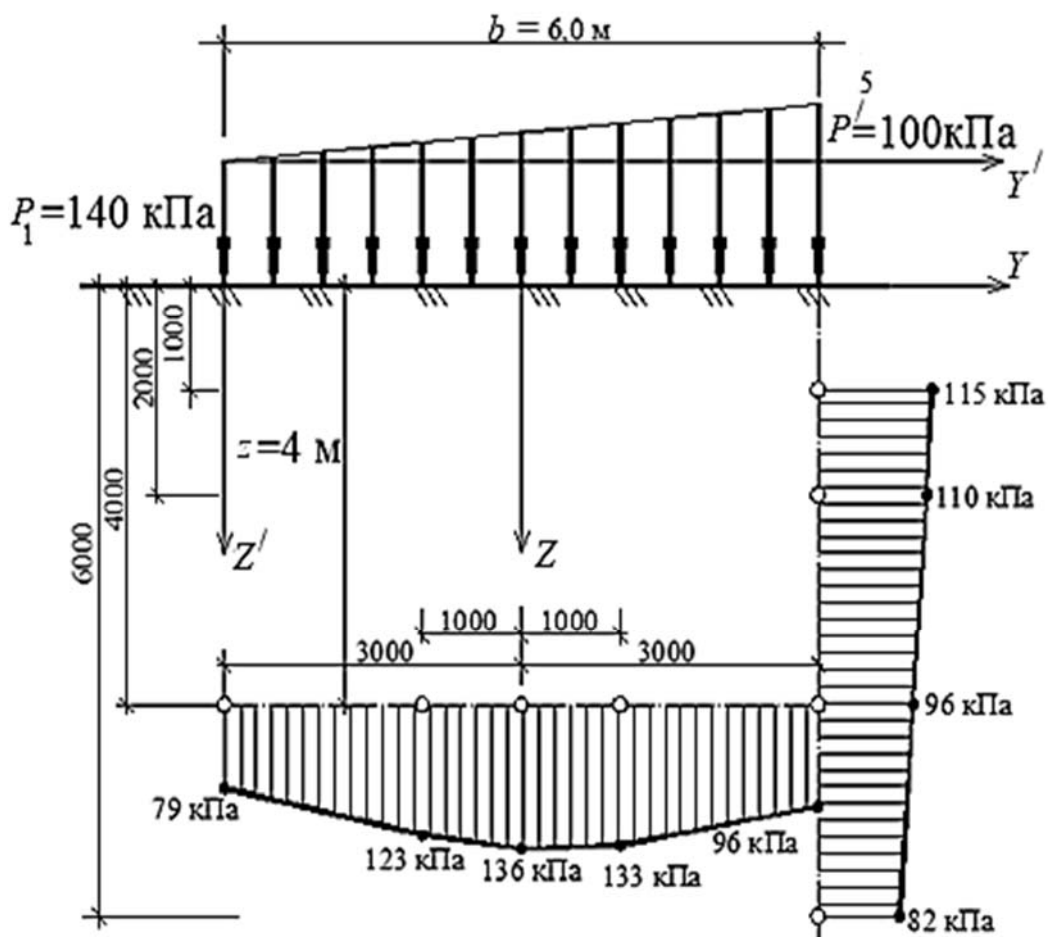


Рисунок 7.2 – Эпюры напряжений

## 8 Классификация песчаных и пылевато-глинистых грунтов

Грунты – это любые горные породы (осадочные, магматические, метаморфические) и твердые отходы производства, залегающие на поверхности, земной коры и входящие в сферу воздействия на них человека при строительстве зданий, сооружений, дорог и других объектов.

При оценке свойств грунтов, выступающих в роли оснований, большое внимание уделяется их деформативным и прочностным показателям. Недоучет тех или иных особенностей свойств «грунтов-оснований» влечет за собой ошибки при проектировании и строительстве зданий и сооружений, что в итоге приводит к утрате прочности грунтов в период эксплуатации.

В последнее время специалистами в инженерной геологии уделяется большое внимание такой важной категории оценки грунтов, как их состояние. Следует отметить, что пока нет четко сформулированного определения этой категории. К характеристикам, определяющим состояние грунтов, относят степень трещиноватости, выветрелость, влажность, водонасыщенность, плотность и др. Такие характеристики, как трещиноватость и выветрелость, определяют свойства пород в образце и в массиве; как известно, такая величина, как предел прочности на сжатие в образце, существенно превышает ее значения в массиве, иной раз до двух порядков. Степень выветрелости имеет несколько иное влияние на формирование свойств грунтов в образце и в массиве. Трещины выветривания обычно заполнены вторичным минеральным материалом, а это, естественно, резко повышает неоднородность массива, тем самым уменьшая или, точнее, меняя прочностные, деформационные и фильтрационные свойства пород в массиве.

Степень влажности чаще всего учитывают при оценке свойств дисперсных грунтов. Она определяет возникновение, «оживление» и развитие таких неблагоприятных явлений и процессов, как оползни, солифлюкция, в отдельных случаях способствует селеобразованию и ряду других явлений. Степень влажности сказывается на деформационно-прочностных характеристиках массивов грунтов, на консолидации грунтов в основании сооружений при приложении к ним нагрузок инженерных сооружений. Очень близко к степени влажности стоит степень водонасыщенности, более применимая в настоящее время к скальным трещиноватым грунтам. Эти две категории определяют способность грунтов деформироваться под нагрузкой, консолидироваться; существенно влияют на прочностные характеристики массивов грунтов; в климатических зонах, подверженных резким колебаниям температур, в районах распространения мерзлых грунтов степень влажности и степень водонасыщенности их значительно влияют на морозостойкость пород в массиве.

Для дисперсных грунтов особое значение имеет степень их плотности, например, встречаются недоуплотненные пылеватые и песчаные грунты, такие как эоловые мелкозернистые, эолово-морские (дюнные) пески, лессовые грунты различного генезиса.

Недоуплотненное состояние этих грунтов является одной из причин просадочных явлений, отчасти разжижения песков, неоднородных деформаций в основании сооружений, нарушения устойчивости пород в откосах естественных и искусственных выемок.

Все перечисленные характеристики состояния грунтов в их «предельных» значениях резко ухудшают свойства массивов при приложении вибрационных, динамических, в частности, сейсмических нагрузок. Сильнотрещиноватые, выветрелые, водонасыщенные или влажные недоуплотненные грунты в массиве значительно снижают возможность использования их в основании ответственных сооружений.

**Задача.** По результатам лабораторных исследований свойств грунтов определите следующее:

– для образцов песчаного грунта: тип грунта по гранулометрическому составу; плотность сложения; степень влажности грунта; прочностные и деформационные характеристики (модуль деформации  $E_n$ , угол внутреннего трения  $\varphi_n$ , удельное сцепление  $c_n$ , условное расчетное сопротивление грунта  $R_0$ );

– для образцов пылевато-глинистого грунта: тип пылевато-глинистого грунта; разновидность по консистенции; прочностные и деформационные характеристики (модуль деформации  $E_n$ , угол внутреннего трения  $\varphi_n$ , удельное сцепление  $c_n$ , условное расчетное сопротивление грунта  $R_0$ ).

Исходные данные приведены в таблице А.4.

Данные о физико-механических характеристиках и показателях грунтов сведите в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Физико-механические характеристики свойств грунтов

Номер слоя	Наименование грунта	Физическая характеристика											Прочностная и деформационная характеристики				
		$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	$\gamma_{sbi}$	$W$	$W_L$	$W_p$	$I_p$	$I_L$	$e$	$S_r$	$\varphi_n$	$c_n$	$R_0$	$E_n$	
		$\gamma_s$	$\gamma$	$\gamma_d$													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	

### 8.1 Определение наименования песчаного грунта и его физико-механических свойств

Наименование песчаного грунта определяют по данным гранулометрического состава. Для этого последовательно суммируют содержание фракций: сначала – крупнее 2 мм, затем – 0,5 мм и т. д. Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю, используя таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – К определению наименования песчаного грунта

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц от общей массы грунта, %
Гравелистый	Крупнее 2	Более 25
Крупный	Крупнее 0,5	Более 50
Средний	Крупнее 0,25	Более 50
Мелкий	Крупнее 0,1	75 и более
Пылеватый	Крупнее 0,1	Менее 75

Плотность сложения песчаных грунтов находят по коэффициенту пористости (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Определение плотности сложения песка

Вид песчаного грунта	Разновидность песчаных грунтов по плотности		
	Плотный	Средней плотности	Рыхлый
Гравелистый, крупный и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Мелкий	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватый	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

Коэффициент пористости определяется по формуле

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \quad (8.1)$$

где  $\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_d$  – плотность грунта в сухом состоянии, г/см<sup>3</sup>.

Плотность сухого грунта определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + 0,01 \cdot W)}, \quad (8.2)$$

где  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$W$  – природная влажность грунта, %.

Разновидность песчаных грунтов по степени влажности  $S_r$  определяют по формуле

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot 0,01 \cdot W}{e \cdot \rho_w}, \quad (8.3)$$

где  $\rho_w$  – плотность воды,  $\rho_w = 1$  г/см<sup>3</sup>.

По степени влажности  $S_r$  песчаный грунт подразделяется на:

- маловлажный  $0 < S_r \leq 0,5$ ;
- влажный  $0,5 < S_r \leq 0,8$ ;
- насыщенный водой  $S_r > 0,8$ .

Деформационно-прочностные характеристики для песчаных грунтов определяют по таблицам 8.4 и 8.5.

Таблица 8.4 – Нормативные значения характеристик  $C_n$ ,  $\varphi_n$ ,  $E_n$  для песчаных грунтов четвертичных отложений

Вид песчаного грунта	Характеристика грунта	Коэффициент пористости $e$			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистый и крупный	$C_n$ , кПа	2	1	–	–
	$\varphi_n$ , град	43	40	38	35
	$E_n$ , МПа	50	40	30	15
Средней крупности	$C_n$ , кПа	3	2	1	–
	$\varphi_n$ , град	40	38	35	33
	$E_n$ , МПа	45	35	25	13
Мелкий	$C_n$ , кПа	6	4	2	–
	$\varphi_n$ , град	38	36	32	28
	$E_n$ , МПа	40	30	20	12
Пылеватый	$C_n$ , кПа	8	6	4	2
	$\varphi_n$ , град	36	34	30	26
	$E_n$ , МПа	35	25	18	11

Таблица 8.5 – Условное расчетное сопротивление  $R_0$  для песчаных грунтов

Вид песчаного грунта	$R_0$ , кПа, в зависимости от плотности	
	Плотный	Средней плотности
Крупный	600	500
Средней крупности	500	400
Мелкий: маловлажный и влажный водонасыщенный	400	300
	300	250
Пылеватый: маловлажный влажный водонасыщенный	300	250
	250	150
	200	100

## 8.2 Определение наименования пылевато-глинистого грунта и его физико-механических свойств

Тип пылевато-глинистых грунтов (наименование) определяют по числу пластичности:

$$I_p = W_L - W_p, \quad (8.4)$$

где  $W_L$  – влажность на границе текучести;

$W_p$  – влажность на границе раскатывания.

По числу пластичности пылевато-глинистые грунты подразделяются на:

– супесь  $1 \leq I_p \leq 7$ ;

– суглинок  $7 < I_p \leq 17$ ;

– глина  $I_p > 17$ .

Разновидность по консистенции определяют по заданным границам текучести, раскатывания и природной влажности по формуле

$$I_L = \frac{(W - W_p)}{(W_L - W_p)}, \quad (8.5)$$

где  $W$  – природная влажность грунта.

Согласно СТБ 943–2007 пылевато-глинистые грунты подразделяются по показателю текучести  $I_L$  (консистенции) следующим образом (таблица 8.6).

Таблица 8.6 – Значение показателя текучести  $I_L$

Грунт	$I_L$
Супесь: твердая	$I_L < 0$
пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
текучая	$I_L > 1$
Суглинок и глина: твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 0$

Деформационно-прочностные характеристики для пылевато-глинистых грунтов определяют по таблицам 8.7 и 8.8. Для грунтов с промежуточными значениями  $e$  и  $I_L$  величину  $R_0$  и деформационно-прочностные характеристики определяют, используя интерполяцию.

Таблица 8.7 – Условное расчетное сопротивление  $R_0$  для пылевато-глинистых грунтов

Вид грунта	Коэффициент пористости $e$	$R_0$ , кПа, при показателе текучести грунта $I_L$		
		0	0,5	0,75
Супесь	0,5	400	300	250
	0,7	300	250	200
Суглинок	0,5	400	350	300
	0,7	350	300	200
	1	250	200	150
Глина	0,5	600	400	400
	0,6	500	300	300
	0,8	300	200	200
	1,1	250	100	150

Таблица 8.8 – Нормативные значения характеристик  $c_n$ ,  $\varphi_n$ ,  $E_n$  для пылевато-глинистых грунтов четвертичных отложений

Наименование пылевато-глинистых грунтов	Предел нормативных значений показателя текучести $I_L$	Характеристика грунта	Характеристика грунта при коэффициенте пористости $e$						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$ , кПа	21	17	15	13	–	–	–
		$\varphi_n$ , град	30	29	27	24	–	–	–
		$E_n$ , МПа	32	24	16	10	7	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	$c_n$ , кПа	19	15	13	11	9	–	–
		$\varphi_n$ , град	28	26	24	21	18	–	–
		$E_n$ , МПа	31	23	15	9	6	–	–
Суглинок	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$ , кПа	47	37	31	25	22	19	–
		$\varphi_n$ , град	26	25	24	23	22	20	–
		$E_n$ , МПа	34	27	22	17	14	11	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$c_n$ , кПа	39	34	28	23	18	15	–
		$\varphi_n$ , град	24	23	22	21	19	17	–
		$E_n$ , МПа	32	25	19	14	11	8	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c_n$ , кПа	–	–	25	20	16	14	12
		$\varphi_n$ , град	–	–	19	18	16	14	12
		$E_n$ , МПа	–	–	17	12	8	6	5
Глина	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$ , кПа	–	81	68	54	47	41	36
		$\varphi_n$ , град	–	21	20	19	18	16	14
		$E_n$ , МПа	–	28	24	21	18	15	12
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$c_n$ , кПа	–	–	57	50	43	37	32
		$\varphi_n$ , град	–	–	18	17	16	14	11
		$E_n$ , МПа	–	–	21	18	15	12	9
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c_n$ , кПа	–	–	45	41	36	33	29
		$\varphi_n$ , град	–	–	15	14	12	10	7
		$E_n$ , МПа	–	–	–	15	12	9	7

### Указания к решению

Удельный вес грунта определяется по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (8.6)$$

где  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

Удельный вес сухого грунта  $\gamma_d$  и частиц грунта  $\gamma_s$

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g \text{ и } \gamma_s = \rho_s \cdot g. \quad (8.7)$$

Удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды для всех типов водонасыщенных грунтов, кроме пылевато-глинистых с показателем текучести  $I_L \leq 0,25$ , определяется по формуле

$$\gamma_{sbi} = \frac{\gamma_{si} - \gamma_w}{1 + e_i}, \quad (8.8)$$



где  $\gamma_w$  – удельный вес воды,  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ .

Пример расчета.

Определение наименования песчаного грунта. Исходные данные для определения наименования песчаного грунта берем из таблицы 8.9.

Таблица 8.9 – Исходные данные

Гранулометрический состав, %, при размерах частиц, мм					Физическая характеристика		
> 2	2 ... 0,5	0,5 ... 0,25	0,25 ... 0,1	< 0,1	$\rho_s, \text{ г/см}^3$	$\rho, \text{ г/см}^3$	$W, \%$
1,5	8,0	28	45,5	17	2,65	1,68	9,3

Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю их расположения в таблице 8.2. Для этого последовательно суммируют содержание фракций: сначала – крупнее 2 мм, затем – крупнее 0,5 мм и т. д.

Частиц > 2 мм 1,5 % > 25 % – неверно;

частиц > 0,5 мм 1,5 + 8 = 9,5 % > 50 % – неверно;

частиц > 0,25 мм 9,5 + 28 = 37,5 % > 50 % – неверно;

частиц > 0,1 мм 37,5 + 45,5 = 83 % > 75 % – верно.

Так как частиц крупнее 0,1 мм 83 %, что больше 75 %, следовательно, песок мелкий.

Плотность сложения устанавливается по выражениям (8.1) и (8.2) и таблице 8.3.

$$\rho_d = \frac{1,68}{(1 + 0,01 \cdot 9,3)} = 1,54 \text{ г/см}^3;$$

$$e = \frac{2,65}{1,54} - 1 = 0,72.$$

Так как  $0,6 < e = 0,72 < 0,78$ , то песок мелкий средней плотности.

Степень влажности грунта

$$S_r = \frac{0,01 \cdot 9,3 \cdot 2,65}{0,72 \cdot 1} = 0,34.$$

Так как  $0 < S_r = 0,34 < 0,5$ , то песок маловлажный.

Удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды по выражению (8.8):

$$\gamma_{sbi} = \frac{(26,5 - 10)}{(1 + 0,72)} = 9,59.$$

Прочностные и деформационные характеристики песчаного грунта определяют по таблицам 8.4 и 8.5. При  $e = 0,72$  для песка мелкого, средней плотности, маловлажного  $R_0 = 300 \text{ кПа}$ ;  $c_n = 0,6 \text{ кПа}$ ;  $\varphi_n = 29,2^\circ$ ;  $E_n = 21 \text{ МПа}$ .

Пример расчета.

Определение наименования пылевато-глинистого грунта. Исходные данные:  $\rho = 2,08 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_s = 2,67 \text{ г/см}^3$ ;  $W = 20 \%$ ;  $W_p = 16,5 \%$ ;  $W_L = 22 \%$ .

Число пластичности  $I_p$  для пылевато-глинистого грунта по выражению (8.4)

$$I_p = 22 - 16,5 = 5,5.$$

Так как  $1 < I_p = 5,5 < 7$ , то данный грунт является супесью.

По показателю текучести определяют состояние пылевато-глинистого грунта по формуле (8.5):

$$I_L = \frac{(20 - 16,5)}{(22 - 16,5)} = 0,64.$$

Так как  $0 \leq I_L = 0,64 \leq 1$ , то супесь пластичная.

Коэффициент пористости  $e$  и плотность сухого грунта  $\rho_d$ , определяем по выражениям (8.1) и (8.2):

$$\rho_d = \frac{2,08}{(1 + 0,01 \cdot 20)} = 1,73 \text{ г/см}^3;$$

$$e = \frac{2,67}{1,73} - 1 = 0,54.$$

Удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды определяют при  $I_L > 0,25$ :

$$\gamma_{sbi} = \frac{(26,5 - 10)}{(1 + 0,54)} = 10,84.$$

Прочностные и деформационные характеристики пылевато-глинистого грунта определяют по таблицам 8.7 и 8.8.

Для определения искомого нормативного значения механического показателя используют линейную интерполяцию. При  $e = 0,54$  и  $I_L = 0,64$  для супеси пластичной  $R_0 = 275,4 \text{ кПа}$ ;  $c_n = 15,4 \text{ кПа}$ ;  $\varphi_n = 26,1^\circ$ ;  $E_n = 24,8 \text{ МПа}$ .

Полученные данные сводят в таблицу физико-механических характеристик грунта (см. таблицу 8.1).

## Список литературы

1 **СТБ 943–2007**. Грунты. Классификация. – Минск: Госстандарт, 2007. – 20 с.

2 **СН 1.02.01–19**. Инженерные изыскания для строительства. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 109 с.

3 **СНБ 5.01.01–99**. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Минск: Стройтехнорм, 1999. – 36 с.

4 **ТКП 45-5.01-15–2005**. Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным статического зондирования и пенетрационного каротажа. Правила определения. – Минск, 2006. – 21 с.

5 **ТКП 45-5.01-17–2006**. Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным динамического зондирования. Правила определения. – Минск, 2007. – 20 с.

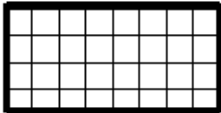
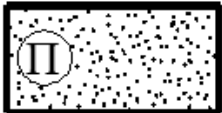
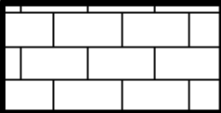
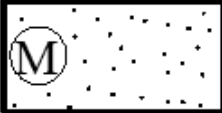
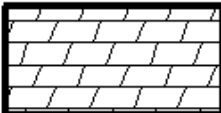

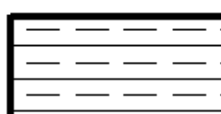

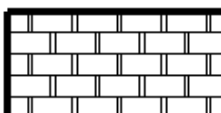


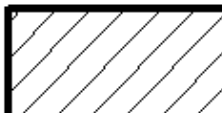

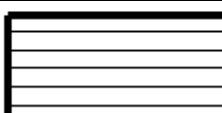
6 **ТКП 45-5.01-254–2012**. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. – Минск, 2012. – 102 с.

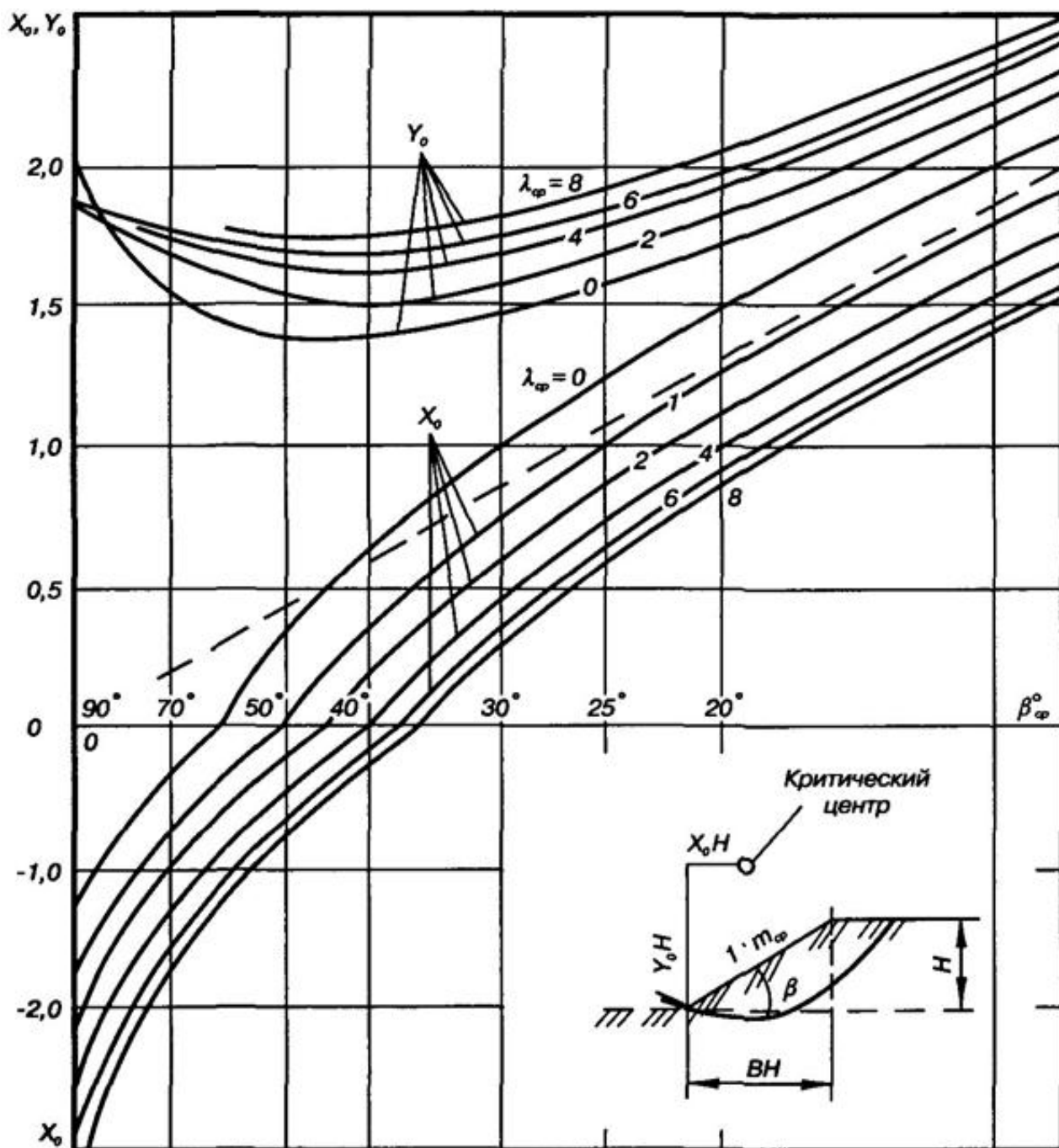
7 **Механика грунтов, основания и фундаменты: учебное пособие для вузов /** Под ред. С. Б. Ухова. – 4-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2007. – 566 с.

8 **Бабаскин, Ю. Г.** Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог. Курс лекций / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: БНТУ, 2002. – 197с.

## Приложение А (обязательное)

Таблица А.1 – Условные графические обозначения литологии грунтов

Класс грунтов	Графическое изображение	Наименование грунтов	Класс грунтов	Графическое изображение	Наименование грунтов
Скальные		Мел	Нескальные		Песок пылеватый
		Известняк			Песок мелкий
		Мергель			Песок средний
		Алевролит			Песок крупный
		Доломит			Супесь
Нескальные		Растительный слой		Суглинок	
		Торф		Глина	



$H$  – высота откоса;  $x_0$ ,  $y_0$  – безразмерные величины, устанавливаемые по графику в зависимости от угла откоса  $\alpha$  (определяется по заданному заложению откоса  $m$ ) и  $\lambda_{cp}$

Рисунок А.1 – График Ямбу для определения координат  $x$  и  $y$  центра  $O$  наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения с минимальным коэффициентом устойчивости  $K_y$

Таблица А.2 – Значения коэффициента  $k$  в зависимости от отношения  $r/z$ 

$r/z$	$k$	$r/z$	$k$	$r/z$	$k$	$r/z$	$k$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	0,4775	0,50	0,2733	1,00	0,0844	1,50	0,0251
0,01	0,4773	0,51	0,2679	1,01	0,0823	1,51	0,0245
0,02	0,4770	0,52	0,2625	1,02	0,0803	1,52	0,0240
0,03	0,4764	0,53	0,2571	1,03	0,0783	1,53	0,0234
0,04	0,4756	0,54	0,2518	1,04	0,0764	1,54	0,0229
0,05	0,4745	0,55	0,2466	1,05	0,0744	1,55	0,0224
0,06	0,4732	0,56	0,2414	1,06	0,0727	1,56	0,0219
0,07	0,4717	0,57	0,1663	1,07	0,0709	1,57	0,0214
0,08	0,4699	0,58	0,2313	1,08	0,0691	1,58	0,0209
0,09	0,4679	0,59	0,2263	1,09	0,0674	1,59	0,0204
0,10	0,4657	0,60	0,2214	1,10	0,0658	1,60	0,0200
0,11	0,4633	0,61	0,2165	1,11	0,0641	1,61	0,0195
0,12	0,4607	0,62	0,2117	1,12	0,0626	1,62	0,0191
0,13	0,4579	0,63	0,2070	1,13	0,0610	1,63	0,0187
0,14	0,4548	0,64	0,2024	1,14	0,0595	1,64	0,0183
0,15	0,4516	0,65	0,1978	1,15	0,0581	1,65	0,0179
0,16	0,4482	0,66	0,1934	1,16	0,0567	1,66	0,0175
0,17	0,4446	0,67	0,1889	1,17	0,0553	1,67	0,0171
0,18	0,4409	0,68	0,1846	1,18	0,0539	1,68	0,0167
0,19	0,4370	0,69	0,1804	1,19	0,0526	1,69	0,0163
0,20	0,4329	0,70	0,1762	1,20	0,0513	1,70	0,0160
0,21	0,4286	0,71	0,1721	1,21	0,0501	1,72	0,0153
0,22	0,4242	0,72	0,1681	1,22	0,0489	1,74	0,0147
0,23	0,4197	0,73	0,1641	1,23	0,0477	1,76	0,0141
0,24	0,4151	0,74	0,1603	1,24	0,0466	1,78	0,0135
0,25	0,4103	0,75	0,1565	1,25	0,0454	1,80	0,0129
0,26	0,4054	0,76	0,1527	1,26	0,0443	1,82	0,0124
0,27	0,4004	0,77	0,1491	1,27	0,0433	1,84	0,0119
0,28	0,3954	0,78	0,1455	1,28	0,0422	1,86	0,0114
0,29	0,3902	0,79	0,1420	1,29	0,0412	1,88	0,0109
0,30	0,3849	0,80	0,1386	1,30	0,0402	1,90	0,0105
0,31	0,3796	0,81	0,1353	1,31	0,0393	1,92	0,0101
0,32	0,3742	0,82	0,1320	1,32	0,0384	1,94	0,0097
0,33	0,3687	0,83	0,1288	1,33	0,0374	1,96	0,0093
0,34	0,3632	0,84	0,1257	1,34	0,0365	1,98	0,0089
0,35	0,3577	0,85	0,1226	1,35	0,0357	2,00	0,0085
0,36	0,3521	0,86	0,1196	1,36	0,0348	2,10	0,0070
0,37	0,3465	0,87	0,1166	1,37	0,0340	2,20	0,0058
0,38	0,3408	0,88	0,1138	1,38	0,0332	2,30	0,0048
0,39	0,3351	0,89	0,1110	1,39	0,0324	2,40	0,0040
0,40	0,3294	0,90	0,1083	1,40	0,0317	2,50	0,0034
0,41	0,3238	0,91	0,1057	1,41	0,0309	2,60	0,0029
0,42	0,3181	0,92	0,1031	1,42	0,0302	2,70	0,0024

Окончание таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8
0,43	0,3124	0,93	0,1005	1,43	0,0295	2,80	0,0021
0,44	0,3068	0,94	0,0981	1,44	0,0288	2,90	0,0017
0,45	0,3011	0,95	0,0956	1,45	0,0282	3,00	0,0015
0,46	0,2955	0,96	0,0933	1,46	0,0275	3,50	0,0007
0,47	0,2899	0,97	0,0910	1,47	0,0269	4,00	0,0004
0,48	0,2843	0,98	0,0887	1,48	0,0263	4,50	0,0002
0,49	0,2788	0,99	0,0865	1,49	0,0257	5,00	0,0001

Таблица А.3 – Значения коэффициента  $k_z^l$  для определения величины сжимающих напряжений при треугольной нагрузке

$z/b$	Значения $y/b$										
	-1,50	-1,00	-0,50	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,500	0,750	0,500	0,000	0,000	0,000
0,25	0,000	0,000	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	0,000
0,50	0,002	0,003	0,023	0,127	0,263	0,410	0,477	0,353	0,056	0,017	0,003
0,75	0,006	0,016	0,042	0,153	0,248	0,335	0,361	0,293	0,108	0,024	0,009
1,00	0,014	0,025	0,061	0,159	0,223	0,275	0,279	0,241	0,129	0,045	0,013
1,50	0,020	0,048	0,096	0,145	0,178	0,200	0,202	0,185	0,124	0,062	0,041
2,00	0,033	0,061	0,092	0,127	0,146	0,155	0,163	0,153	0,108	0,069	0,050
3,00	0,050	0,064	0,080	0,096	0,103	0,104	0,108	0,104	0,090	0,071	0,050
4,00	0,051	0,060	0,067	0,075	0,078	0,085	0,082	0,075	0,073	0,060	0,049
5,00	0,047	0,052	0,057	0,059	0,062	0,063	0,063	0,065	0,061	0,051	0,047
6,00	0,041	0,041	0,050	0,051	0,052	0,053	0,053	0,053	0,050	0,050	0,045

Таблица А.4 – Исходные данные к задаче (раздел 8)

Номер варианта	Вид грунта	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Влажность, %			Гранулометрический состав в процентах, при размерах частиц, мм					
		$\rho_s$	$\rho$	$W$	$W_L$	$W_P$	> 2,0	2,0 ... 0,5	0,5 ... 0,25	0,25 ... 0,1	< 0,1	
1	Песчаный	2,68	1,89	8,4	–	–	1,0	31,0	18,0	17,0	33	
	Пылевато-глинистый	2,71	1,87	22,4	30,8	19,4	–	–	–	–	–	
2	Песчаный	2,67	1,79	16,2	–	–	1,2	21,5	22,7	19,3	35,3	
	Пылевато-глинистый	2,74	1,89	20,5	47,2	26,6	–	–	–	–	–	
3	Песчаный	2,67	1,92	12,9	–	–	1,2	17,0	20,0	45,0	16,8	
	Пылевато-глинистый	2,71	1,91	19,8	28,9	19,6	–	–	–	–	–	
4	Песчаный	2,65	1,82	11,8	–	–	0,4	13,4	32,	31,4	22,6	
	Пылевато-глинистый	2,7	1,89	17,3	39,3	25,8	–	–	–	–	–	
5	Пылевато-глинистый	2,68	1,72	9,8	–	–	4,5	47,5	16,8	10,2	21	
	Песчаный	2,71	1,94	18,9	43,6	23,8	–	–	–	–	–	
6	Песчаный	2,66	1,86	14,1	–	–	2,1	24,5	29,4	15,4	28,6	
	Пылевато-глинистый	2,7	1,95	18,2	36,6	26,5	–	–	–	–	–	
7	Песчаный	2,65	1,89	15,2	–	–	3,8	29,8	29,4	18,5	18,5	
	Пылевато-глинистый	2,74	1,94	19,1	41,8	23,4	–	–	–	–	–	
8	Песчаный	2,66	1,75	12,1	–	–	0	15,1	40,2	33,9	10,8	
	Пылевато-глинистый	2,71	1,93	19,2	37,4	24,3	–	–	–	–	–	
9	Песчаный	2,65	1,7	6,	–	–	0	20,0	16,0	45,0	19,0	
	Пылевато-глинистый	2,73	1,89	20,1	31,6	20,8	–	–	–	–	–	
10	Песчаный	2,66	2,02	19,6	–	–	2,5	19,5	25,0	20,0	33,0	
	Пылевато-глинистый	2,71	1,85	21,4	43,4	30,2	–	–	–	–	–	
11	Песчаный	2,66	1,8	21,1	–	–	–	8,0	12,0	37,0	43,0	
	Пылевато-глинистый	2,71	1,72	36,0	34,2	19,1	–	–	–	–	–	
12	Песчаный	2,67	2,02	24,0	–	–	5,0	25,0	27,0	12,0	31,0	
	Пылевато-глинистый	2,61	1,9	26,3	27,0	21,0	–	–	–	–	–	