

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 624:131.1:62203 (073)

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Л.П. Норова*. СПб, 2021. 58 с.

Содержат указания к решению ряда практических задач по оценке и прогнозу состояния и свойств горных пород, обводненности горных выработок, возникновению и развития горно-геологических процессов и явлений и т.п. Использование данного практикума позволяет студентам самостоятельно выполнять задания и осваивать лекционный материал.

Предназначены для студентов-шахтостроителей специальности 21.05.04 «Горное дело», специализации «Шахтное и подземное строительство».

Научный редактор доц. *Д.Л. Устюгов*

Рецензент: к-г-м-н. *А.А. Еремеева* (Санкт-Петербургский государственный университет)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ВИДЫ ЗАДАНИЙ

Цель практических занятий - приобретение практических навыков по изучению основных элементов инженерно-геологических условий (ИГУ) строительства шахт и подземных сооружений, в том числе инженерно-геологическая оценка массива горных пород, прогноз влияния подземных вод на условия строительства шахт и подземных сооружений, природные и техногенные явления и их роль в формировании ИГУ строительства, а также закрепление теоретических и практических знаний студентов по курсу «Инженерная геология и гидрогеология».

Практические занятия выполняются под руководством преподавателей кафедры гидрогеологии и инженерной геологии. В предлагаемых методических указаниях рассмотрено содержание каждого задания на примере Каменецкого месторождения железных руд, которое было открыто и разведано в европейской части страны. Первоочередная детально разведанная часть месторождений имеет площадь около 6 км² при глубокой рудной залежи в среднем от 210 до 300 м. Мощность рудной залежи меняется в широких пределах: в рассматриваемой части Каменецкого месторождения от 8 до 22 м. Качество руды и содержание в ней полезных компонентов отвечают современным требованиям и позволяют вести разработку разведанных запасов подземным способом. В связи с этим встает вопрос об оценке инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации шахт и подземных сооружений.

Соответственно ниже описаны конкретные геологические условия указанного месторождения, в том числе: орографическая местность; геологическое строение месторождения; подземные воды; физико-механические свойства горных пород; геологические процессы и явления; опыт строительства горных сооружений в районе месторождения. Предложены направления их анализа на практических занятиях, проводимого каждым студентом самостоятельно.

Для проведения практических занятий в учебной лаборатории имеется специальная литература и методические указания. По результатам материалов практических занятий каждый студент должен оформить расчетно-графические задания и защитить их.

1. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ШАХТНОГО СТВОЛА

1.1. Инженерно-геологические условия месторождения

Как известно, при разведке месторождений полезных ископаемых изучаются различные природные особенности [1-6]. В этом разделе необходимо дать определение понятия «инженерно-геологические условия» и коротко описать основные элементы этих условий. Пример такого описания приводится ниже.

Орогидрография местности. Территория месторождения относится к равнинной. Абсолютные отметки земной поверхности изменяются от 300 на севере до 210 на юге месторождения. Основной рельефной особенностью этой территории является долина р.Каменки, протекающей в меридиональном направлении. Разность отметок долины в центральной части месторождения составляет более 50 м, а ширина ее около 1 км. Глубина реки в меженный период составляет 6-8 м, но весной столб воды достигает высоты 14-16 м, а ширина реки доходит на отдельных участках до 350-400 м. Вода в реке прозрачная, без вкуса и запаха, пресная, мягкая. При спаде уровня воды после паводков на берегах реки наблюдаются источники грунтовых вод, которые увлажняют и разрушают песчано-глинистые породы естественных склонов долины.

Геологическое строение месторождения. В рассматриваемом районе геологические условия характеризуются наличием двух структурных этажей: докембрийского фундамента, представленного гранитогнейсами, и осадочного чехла из пород мезокайнозойского возраста (рис.1.1).

На размытой поверхности пород кристаллического фундамента залегают мелко- и среднезернистые серовато-голубые глауконитовые пески верхнетриасового возраста (T_3), выдержанные по простиранию на всей территории месторождения. Мощность песков не постоянна, наблюдаются пережимы и раздувы за счет неравности почвы и кровли слоя. По данным бурения, мощность триасовых песков изменяется в довольно широких пределах: от 14 до 64 м.

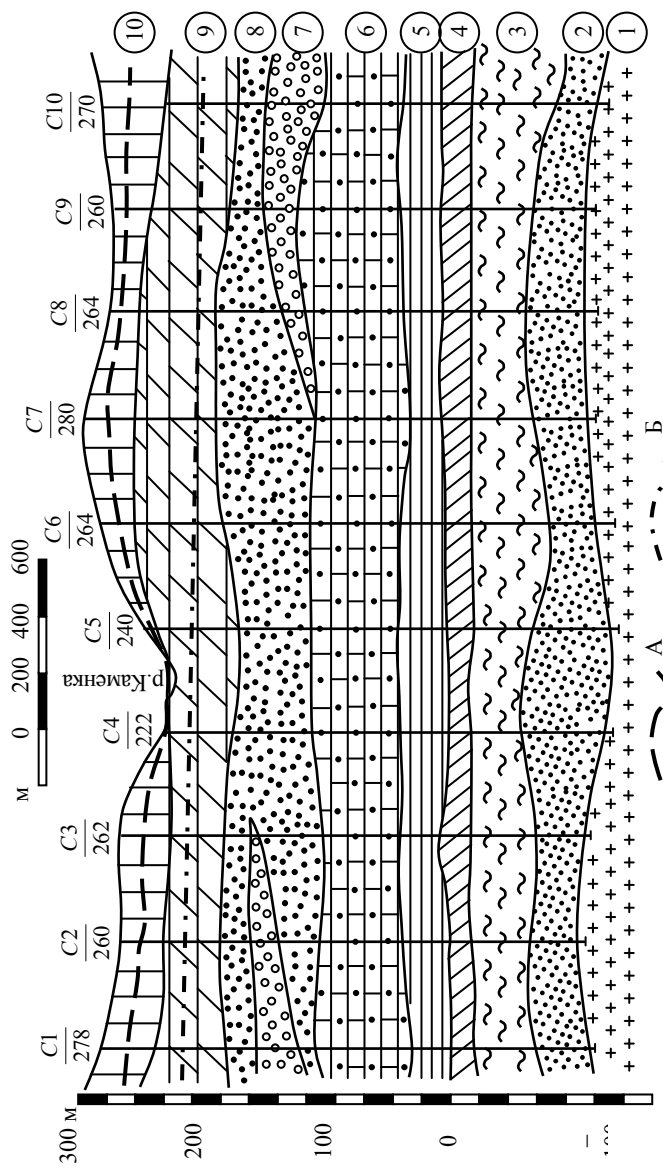


Рис. 1.1. Геологический разрез месторождения

1 – гнейсы (PR); 2 – песок мелкозернистый (J_3); 3 – глина плотная, трещиноватая (J_1); 4 – рудная залежь (J_2); 5 – аргиллит плотный, трещиноватый (J_3); 6 – песчаник на карбонатном цементе, трещиноватый (K_1^1); 7 – песок крупнозернистый (K_1^2); 8 – песок среднезернистый (K_1^3); 9 – мел мергельный, слоистый, трещиноватый (K_2); 10 – песчано-глинистые отложения (Q); А – зеркало грунтовых вод; Б – пьезометрический уровень триасового водоносного горизонта; 2/268 – номер скважины

На неровной кровле песков со следами размыва залегают зеленатовато-серые плотные глины нижней юры (J_1). По минеральному составу глины гидрослюдистые с наличием небольшого количества минералов группы монтмориллонита. В гранулометрическом составе преобладает глинистая фракция (50-70 %). Глины плотные, трещиноватые, в воде набухают и размокают. Повышенная трещиноватость отмечена в скважинах, пройденных в долине р.Каменки. Мощность глин, повсеместно распространенных на месторождении, меняется из-за неровной поверхности их почвы от 10 м в юго-восточной части месторождения до 40-50 м в центральной.

Рудная залежь расположена на сравнительно ровной и горизонтальной поверхности юрских глин, вскрыта всеми скважинами и имеет мощность от 8 до 22 м (преобладающая мощность 10-15 м). Представлена она переотложенной рудой, сцементированной, местами рыхлой, быстро размокающей в воде.

В кровле рудной залежи залегает пачка верхнеюрских (J_3) темно-серых аргиллитов, плотных, слоистых и трещиноватых. На участке, приуроченном к долине реки, особо заметно наличие трещиноватости. По мощности (20-40 м) и простиранию аргиллиты довольно выдержаны по всему месторождению. Непосредственно на рудной залежи залегает маломощный слой (0,3-0,6 м) расслаивающихся аргиллитов, который следует рассматривать как ложную кровлю подземных выработок, пройденных по рудной залежи. В пределах речной долины мощность этого нарушенного слоя увеличивается до 0,8-1,0 м. Пачкой аргиллитов заканчивается толща пород юрского возраста.

Меловая система представлена мощной толщей песчаников, песков и мергельных мелов. В основании этой толщи залегают желтовато-серые кварцево-глауконитовые песчаники на карбонатном цементе, трещиноватые, слоистые (K_1^1). Они повсеместно распространены на месторождении, и мощность их изменяется в довольно узких границах (50-85 м). Повышенная нарушенность монолитности песчаников наблюдается на участке, залегающем в пределах речной долины.

На размытой поверхности песчаников вскрыты кварцевые пески разной крупности и мощности (K_1^2). Основная часть их пред-

ставлена повсеместно встречающимися среднезернистыми плотными разностями, которые имеют значительную мощность (25-72 м). На отдельных участках разведанной части месторождения вскрыты крупнозернистые неоднородные пески, залегающие в виде линз мощностью до 40 м (в северо-западной и юго-восточной частях месторождения отмечаются наиболее мощные линзы).

Меловая толща осадочных пород завершается пачкой мергельно-меловых пород (K_2). Это сравнительно слабые слоистые и трещиноватые разновидности горных пород светло серого цвета, которые под воздействием бурового инструмента переходят иногда в пластичную массу. Наиболее слабые породы залегают под речной долиной. Естественные обнажения мергельно-меловой толщи наблюдаются на берегах р.Каменки, русло которой проходит по ним. Мощность верхнемеловых пород меняется от 18 до 66 м, чаще всего 40-60 м.

Геологический разрез заканчивается покровной толщей песчано-глинистых отложений четвертичного возраста. Это - переслаивание глин, суглинков, супесей желтовато-бурого цвета, пластичной консистенции и непостоянной мощности: до 8 м в долине реки, до 40 м и более на водораздельных участках. На четвертичных образованиях повсеместно развит почвенно-растительный слой: мощностью от 0,6 до 1,5 м. Земельные площади на территории используются под различные сельскохозяйственные угодья.

Подземные воды. В гидрогеологическом отношении территория месторождения характеризуется наличием двух водоносных комплексов, разделенных региональным водоупором (юрские глины и аргиллиты, в которых залегают полезное ископаемое).

Нижний водоносный горизонт приурочен к триасовым мелко и среднезернистым пескам и является напорным. Мощность горизонта определяется мощностью водосодержащих песков, которая, как уже было отмечено, изменяется от 14 до 64 м. Нижним водоупором служат монолитные скальные породы кристаллического фундамента, выветрелые в верхней части. Они тоже водоносны. Верхний водоупор представлен плотными глинами нижнеюрского возраста. Области питания и разгрузки подземных вод находятся за пределами месторождения. Величина напора триасового водоносного гори-

зонта изменяется в изученном районе от 160 до 270 м. Пьезометрическая поверхность имеет уклон на юго-восток.

Водопроницаемость песков верхнего триаса, по данным опытных откачек, меняется в узких пределах и может быть оценена средним значением коэффициента фильтрации, равным 5 м/сутки.

По химическому составу подземные воды этого горизонта относятся к сульфатно-хлоридным, кальциево-натриевым с общей минерализацией более 20 г/л. Формула Курлова по усредненным значениям имеет вид:

$$M_{22} = \frac{Cl^- 45SO_4^{2-} 35HCO_3^- 17}{Na^+ 52Ca^{2+} 31Mg^{2+} 14} t_{21^\circ C}, J \dots\dots\dots(1.1)$$

Верхний водоносный горизонт приурочен к слою меловых пород, представленному трещиноватыми песчаниками, песками и мергельно-меловыми образованиями, а также к песчано-глинистым отложениям четвертичного возраста. Этот сложный по мощности и водопроницаемости комплекс водосодержащих пород рассматривается как единый, так как в разрезе осадочных пород отсутствует выдержанный водоупор. Основным региональным водоупором здесь являются верхнеюрские аргиллиты. Воды безнапорные (грунтовые), глубина залегания от земной поверхности определяется характером рельефа и составляет на водораздельных участках месторождения 10-25 м до 60 м в долине р.Каменки, оврагах и балках. Река Каменка является областью разгрузки водоносного горизонта. Максимальные значения гидравлического градиента отмечены в пределах речной долины и составляют 0,05. Наблюдается также общий уклон водной поверхности в южном направлении, в пределах месторождения равный 0,01-0,05. Питание грунтовых вод осуществляется за счет атмосферных осадков. Область питания совпадает с областью распространения водоносного горизонта. По характеру пустот можно выделить два типа грунтовых вод: поровые в меловых песках и в четвертичных отложениях и трещинные в песчаниках и мергельно-меловых породах. Водопроницаемость водосодержащих пород варьирует в больших пределах из-за большого разнообразия их состава и состояния. В результате проведенных откачек получены следующие значения коэффициента фильтрации, м/сутки (табл.1.1).

Таблица 1.1

Значения коэффициента фильтрации водосодержащих пород верхнего водоносного горизонта по данным откачек

Порода	Коэффициент фильтрации (Кф), м/сут
Песчаники	15-20
Пески:	
крупнозернистые	20
среднезернистые	10
Мергельно-меловые породы	10-15
Четвертичные отложения	0,1

Примечание: Большие значения получены в районе р.Каменки, меньше – на остальной части месторождения

Химический состав грунтовых вод различен как по глубине, так и по простираню. Эта особенность связана с наличием зоны повышенной трещиноватости под долиной р. Каменки, с разным вещественным составом водосодержащих пород, а также с большой мощностью водоносного комплекса. Для предварительных оценок могут быть использованы данные химического анализа грунтовых вод (табл.1.2).

Таблица 1.2

Химический состав грунтовых вод на территории Каменецкого месторождения

Ионы	Долина р.Каменки			Остальная территория		
	мг/л	мг-эquiv./л	эquiv. %	мг/л	мг-эquiv./л	эquiv. %
HCO ₃ ⁻	247			320		
Cl ⁻	312			280		
SO ₄ ²⁻	480			160		
HPO ₄ ²⁻	1,0			0,5		
Br ⁻	0,08			-		
F ⁻	0,4			0,5		
Na ⁺ + K ⁺	104			80		
Ca ²⁺	185			220		
Mg ²⁺	108			60		
Fe ³⁺	2,1			1,2		
NH ₄ ⁺	0,8			0,6		
Mn ²⁺	0,4			0,2		

Примечание. Недостающие данные получить расчетом самостоятельно.

Для грунтовых вод в долине реки характерен $pH = 6,4$ и минерализация $M = 1,32$ г/л, для вод остальной территории месторождения $pH = 6,9$ и $M = 0,8$ г/л, содержание SiO_2 соответственно 12 и 8 мг/л, а температура вод 9 и $7^\circ C$. Окисляемость по кислороду соответственно 11 и 16 мг/л, по CO_2 15 и 20 мг/л, по Fe 0,7 и 0,4 мг/л.

Физико-механические свойства горных пород. В период детальной разведки на месторождении проводилось инженерно-геологическое опробование с последующим изучением состава и физико-механических свойств горных пород в лабораторных условиях. Отмечена закономерность ухудшения механических свойств пород, залегающих под долиной р.Каменки. Их повышенная трещиноватость и пористость предопределили падение прочности и модуля деформации и в образцах малых размеров, и в породах в их естественном залегании. В табл.1.3 приведены показатели основных свойств пород, необходимые для оценки проходки горных выработок.

Геологические процессы и явления. На территории Каменецкого рудного месторождения наблюдается ряд экзогенных геологических явлений, которые предопределяются рассмотренными ранее элементами инженерно-геологических условий.

Эрозия проявляется на территории долины р.Каменки и на прилегающих к ней водораздельных пространствах. Развиты линейные формы эрозии в виде оврагов разных размеров и балок, по которым протекают временные водные потоки. Глубина оврагов изменяется от 1 до 5 м, а балки достигают на водоразделах глубины до 10-12 м. О пораженности территории месторождения можно судить по отношению суммарной площади овражно-балочной сети $\Sigma S_{об\ i}$ к общей площади месторождения S_m , которое равно 3,4 %. Если отнести эту суммарную площадь только к территории речной долины, то пораженность увеличивается до 10-12 %.

Оползни наблюдаются на правом, более крутом берегу р.Каменки, в пределах песчано-глинистой толщи четвертичного возраста. Это асеквентные древние оползни, находящиеся в стадии затухания. В последние годы инструментальными наблюдениями показано, что на отдельных участках в период снеготаяния и паводков в реке происходит активизация оползневого процесса.

Таблица 1.3

Данные о физико-механических свойствах горных пород Каменецкого месторождения

Породы	Геологический индекс	Плотность, т/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Модуль общей деформации, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, градусы
Песчано-глинистые отложения	Q	2,00	–	15	0,05	22
Мергельно-меловые породы	K ₂	2,1/2,0	12/8	12/8	5/3	12
Песок среднезернистый	K ₁ ²	1,80	–	40	–	30
Песок крупнозернистый	K ₁ ²	1,70	–	40	–	35
Песчаник	K ₁ ¹	2,5/2,4	150/100	2 · 10 ³ /1 · 10 ³	45/30	30
Аргиллит	J ₃	2,6/2,5	30/20	100/80 · 10 ²	10/5	20
Руда	J ₂	3,8/3,5	50/40	50	15/10	24
Глина	J ₁	2,1/2,0	0,5/0,2	60/50	0,1/0,05	10
Песок средне и мелкозернистый	T ₃	1,90	–	50	–	30

Примечание. В знаменателе – характеристика пород, залегающих под долиной р.Каменки, в числителе – на остальной территории месторождения.

Коэффициент пораженности правого берега оползнями в пределах месторождения

$$K_{\text{оп}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{оп}i}}{S_{\text{б}}} 100 \approx 30 \% \dots\dots\dots(1.2)$$

где $S_{\text{оп}i}$ – площадь i -го оползня; $S_{\text{б}}$ – площадь речного склона.

Высота оползневых склонов изменяется от 20 до 45 м, а угол склоновой поверхности – от 8 до 15°.

Карстовые формы незначительных размеров отмечены в мергельно-меловой толще. Они увеличивают пустотность и водопроницаемость пород, и их оценка произведена по результатам опытно-фильтрационных гидрогеологических работ.

Заболачивание наблюдается в послепаводковые периоды на пониженных участках поймы р.Каменки. Оно занимает незначительные площади, но существенно изменяют несущую способность пород на этих участках.

Опыт строительства в районе месторождения. Разведанная часть Каменецкого месторождения находится на освоенной территории. Здесь построено много промышленных и жилых зданий, транспортных магистралей, карьеров для добычи минерального сырья. Специальных наблюдений за изменением природных условий под влиянием хозяйственной деятельности человека не производилось, однако в результате рекогносцировочной инженерно-геологической съемки выявлены некоторые особенности, которые необходимо иметь в виду при строительстве шахты.

В первую очередь, обнаружена активизация гравитационных процессов в пределах долины р.Каменки, вызванная подрезкой склонов реки, балок и оврагов, прокладкой дорог и добычей строительного материала, вырубкой леса и дополнительной нагрузкой этих склонов породами, постройками и оборудованием. В выемках в связи с формированием новых откосов (карьеров, котлованов, дорожных трасс) проявляются деформации пород за счет линейной эрозии, оплывания, оползания, обрушения (в мергельно-меловой толще). Водопритоки в открытые выработки значительны, в связи с чем, приходится организовывать поверхностный водоотлив.

Имеются сведения о проходке разведочной шахты-шурфа, которая была оставлена в меловых водоносных песках из-за и неустойчивости. При вскрытии пород без предварительного дренирования подземных вод происходило заполнение выработанного пространства водонасыщенными песками.

В заключение следует отметить, что при проходке шахтного ствола могут встретиться трудности, поэтому необходимы пути их преодоления.

1.2. Оценка инженерно-геологических условий проходки шахтного ствола

Характеристика участка строительства. На участке будущей шахты пройдены инженерно-геологические скважины, проведены опытно-фильтрационные работы, отобраны образцы горных пород и подземных вод, на которых, в лаборатории, определены физико-механические свойства пород и химический состав вод, выполнены также специальные геофизические исследования. Результаты всех выполненных работ дали возможность построить инженерно-геологическую модель участка будущего строительства.

Для общей оценки условий строительства необходимо рассмотреть следующие вопросы: проходимость и устойчивость горных пород, водопритоки в шахтный ствол на различные периоды его строительства, агрессивность подземных вод к бетонным и металлическим конструкциям, водопонижение в период строительства с целью обеспечения устойчивости горных пород и высокой производительности проходки, размещение породной массы на земной поверхности.

Задание 1. Построение инженерно-геологической модели участка шахтного ствола. Написание пояснительной записки к модели.

Модель представляет собой схематизированную геологическую ситуацию с количественными показателями свойств горных пород и подземных вод, необходимыми для проведения оценочных и прогнозных расчетов. Каждый студент получает индивидуальную инженерно-геологическую модель, соответствующую природным

условиям различных участков месторождения, на которых может быть пройден шахтный ствол. Наиболее оптимальный участок строительства выбирается сравнением всех рассмотренных вариантов во время защиты заданий.

Пример инженерно-геологической модели приведен в табл.1.4. Исходные данные, полученные при бурении скважин (мощность слоев, глубина грунтовых вод, напор подземных вод) приведены в табл.1.5.

Цель работы: 1) используя данные бурения скважин и лабораторных исследований, построить инженерно-геологическую модель в масштабе и показать на ней местоположение уровней напорных и безнапорных вод; 2) составить пояснительную записку к построенной модели.

Последовательность выполнения работы

1. Начинать построение модели следует с выбора вертикального масштаба. Для данных условий может быть использован масштаб 1 : 500 – 1 : 1000.

2. По данным бурения скважин (см.табл.1.5) строят геолого-литологические колонки, на основании которых проводят литологические и геологические границы.

3. По данным замеров уровней воды в скважинах, находят положение уровней грунтового и напорного водоносных горизонтов; выделяют водоносные горизонты и разделяющие их водоупоры.

4. В пояснительной записке систематизируют данные о геолого-гидрогеологических условиях изучаемой модели (дается общая характеристика литологии пород, принимающих участие в разрезе с указанием их возраста; ведется описание литологических слоев снизу вверх - от более древних к более молодым; указывается наличие водоносных горизонтов в пределах рассматриваемого участка: водоносного горизонта грунтовых вод и водоносного горизонта артезианских вод, описываются водовмещающие породы, глубины залегания уровней грунтовых и артезианских вод.

5. Производят оценку проходимости пород. По относительной

Таблица 1.4

Инженерно-геологическая модель участка шахтного ствола

Геологический индекс	Геологический разрез	Литологическое описание пород	Мощность m , м	Плотность, ρ , г/см ³	Коэффициент фильтрации, м/сутки	R_c^e	R_c^B	Модуль деформации E , МПа	Сжатие ϵ , МПа	Угол внутреннего трения ϕ	Удельная трещиноватость	Глубина грунтовых вод h_g , м	Напор подземных вод H_p , м
Q		Песчано-глинистые отложения	m_1	2,00	k_1	-	-	15	0,05	22°	-	-	-
K ₂		Мел мергельный, светло-серый, плотный, слоистый, трещиноватый	m_2	2,10	k_2	12	8	50	5	12	8/12	-	-
		Песок среднезернистый, средней плотности	m_3	1,80	k_3	-	-	40	-	30	-	-	-
K ₁ ²		Песок крупнозернистый, средней плотности	m_4	1,70	k_4	-	-	40	-	35	-	-	-
		Песчаник среднезернистый, на карбонатном цементе, трещиноватый	m_5	2,50	k_5	150	100	$2 \cdot 10^3$	45	30	30	6/8	-
J ₃		Аргиллит серый, плотный, слоистый, трещиноватый	m_6	2,60	-	30	20	100	10,0	20	4/6	-	-
		Руда	m_7	3,80	-	50	40	50	15,0	24	-	-	-
J ₂		Глина зеленовато-серая, плотная, трещиноватая	m_8	2,10	-	0,5	0,2	60	0,1	10	-	-	-
J ₁		Песок глауконитовый, плотный	m_9	1,90	k_n	-	-	50	-	30	-	-	-
T ₃		Выветрелые гнейсы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR		Выветрелые гнейсы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания. 1. R_c^e и R_c^B – прочность пород на сжатие при естественной влажности и под водой, МПа. 2. Недостающие данные получить у преподавателя.

Таблица 1.5

Лочные к заданию 1

Сква- жина	Мощность слоев									Грунтовый водоносный горизонт					Напорный водоносный горизонт		
	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m ₆	m ₇	m ₈	m ₉	Коэффициент фильтрации, м/сут					h _г , м	k _{нп} , м/сут	H _{нп} , м
										k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅			
1	12,0	30,0	25,0	12,0	50,0	40,0	8,0	12,0	14,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	8,0	5,0	160
2	8,0	52,0	40,0	0,0	53,0	32,0	18,0	16,0	14,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	3,0	5,0	240
3	15,0	35,0	25,0	10,0	50,0	40,0	8,0	10,0	15,0	0,1	5,0	5,0	10,0	8,0	10,0	5,0	160
4	30,0	50,0	25,0	15,0	50,0	40,0	8,0	18,0	14,0	0,1	5,0	5,0	10,0	15,0	10,0	5,0	280
5	20,0	30,0	25,0	10,0	50,0	40,0	8,0	10,0	15,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	5,0	5,0	180
6	25,0	19,0	26,0	28,0	50,0	20,0	8,0	15,0	15,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	13,0	5,0	205
7	40,0	35,0	55,0	5,0	55,0	25,0	20,0	18,0	30,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	12,0	5,0	250
8	20,0	45,0	42,0	12,0	62,0	25,0	20,0	15,0	35,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	7,0	5,0	200
9	30,0	50,0	25,0	5,0	52,0	40,0	8,0	12,0	14,0	0,1	10,0	10,0	20,0	20,0	8,0	5,0	185
10	25,0	35,0	25,0	10,0	50,0	40,0	8,0	15,0	14,0	0,1	2,0	5,0	10,0	5,0	25,0	2,0	210
11	10,0	26,0	26,0	15,0	50,0	30,0	8,0	15,0	14,0	0,1	5,0	10,0	20,0	15,0	10,0	5,0	160
12	14,0	29,0	36,0	11,0	56,0	31,0	11,0	17,5	15,5	0,1	3,5	4,5	8,5	3,5	23,0	1,8	200
13	13,0	30,0	37,0	12,0	55,0	32,0	10,0	18,0	15,0	0,1	3,0	4,0	8,0	4,0	22,5	2,0	218
14	12,0	31,0	38,0	13,0	54,0	33,0	10,0	18,0	15,0	0,1	3,0	4,0	8,0	4,0	23,0	2,0	207
15	11,0	32,0	39,0	14,0	53,0	34,0	9,0	18,5	14,5	0,1	3,0	3,5	7,5	4,5	23,5	2,2	195
16	10,0	33,0	40,0	15,0	52,0	35,0	9,0	18,5	14,5	0,1	2,5	3,5	7,5	4,5	24,0	2,2	180
17	9,0	34,0	40,0	16,0	51,0	36,0	8,0	19,0	14,0	0,1	2,5	3,0	7,0	5,0	23,0	2,4	202
18	8,0	35,0	40,0	17,0	50,0	37,0	8,0	19,0	14,0	0,1	2,5	3,0	7,0	5,0	24,0	2,4	190
19	9,0	36,0	40,0	18,0	50,0	38,0	8,0	19,5	13,5	0,1	2,0	2,5	6,5	5,5	24,5	2,6	176
20	8,0	37,0	40,0	19,0	50,0	39,0	8,0	19,5	13,5	0,1	2,0	2,5	6,5	5,5	25,0	2,6	165
21	10,0	34,0	39,0	14,0	53,0	30,0	11,0	18,0	16,0	0,1	3,0	3,5	8,0	5,0	23,0	2,0	170

трудности разрушения горные породы (по В.В. Ржевскому) делятся на пять классов и на 25 категорий (табл.1.6).

Таблица 1.6

**Классы и категории горных пород по трудности их разрушения
(по В.В. Ржевскому)**

Класс	Категория	Характеристика пород
I	1-5	Мягкие связные и плотные полускальные породы (супесь, суглинок, аргиллит, глина, мергель, слабый песчаник)
II	6-10	Скальные легкоразрушаемые породы (песчаник, известняк и др.)
III	11-15	Породы скальные средней трудности разрушения (гранит, габбро, диабаз и др.)
IV	16-20	Скальные трудноразрушаемые породы (роговик, крепкий песчаник, андезит и др.)
V	21-25	Скальные весьма трудноразрушаемые породы (кварцит, базальт, кремь и др.)

Исходя из геологического строения участка строительства и физико-механических свойств горных пород Каменецкого месторождения условия проходимости следует отнести к благоприятным. Осадочные породы данного разреза относятся к I классу по трудности разрушения. При этом основная часть (за исключением юрских песчаников) относится к первым двум категориям (пески, четвертичные отложения, мергельно-меловые породы, аргиллиты); песчаники следует отнести к 5-й категории трудности. Все породы можно разрабатывать механическим способом. В песчаниках возможно частичное применение буровзрывных работ с последующей механической разработкой.

Эту оценку проанализировать и по возможности дополнить.

Задание 2. Определение водопритоков в шахтный ствол.

Для решения вопроса о водоотливном хозяйстве во время проходки шахтного ствола необходимо произвести расчет водопритоков на различные периоды строительства в пределах безнапорного водоносного горизонта (рис.1.2). Отметки водопонижения совпадают с литологическими границами (см. литологическое описание пород в задании 1). Расчет выполняется по

формуле Дюпюи для большого вертикального колодца (несовершенный или совершенный в зависимости от положения забоя ствола относительно водоупора).

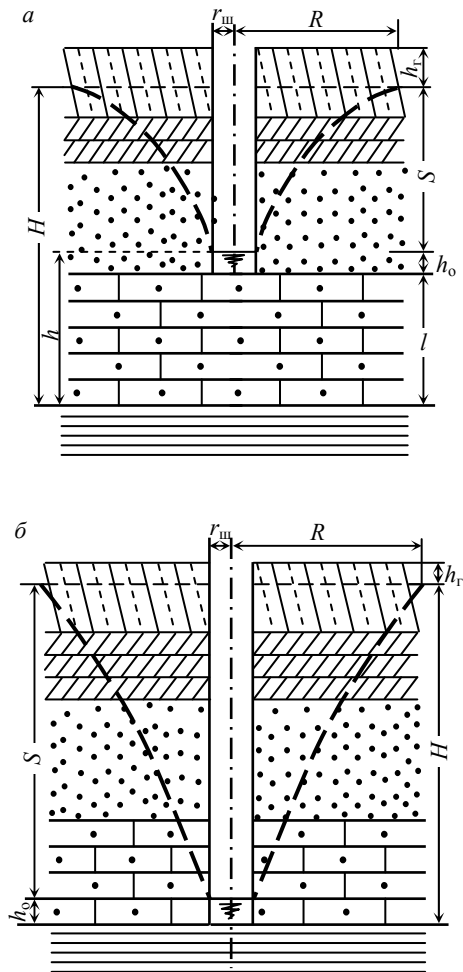


Рис.1.2. Схема к расчету притока воды в вертикальный несовершенный колодец (а) и в совершенную вертикальную выработку (б). Во втором случае

Для несовершенного и совершенного колодцев соответственно:

$$Q_{\text{ш}}^{\text{н}} = 1,37 K_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\lg(R/r_{\text{ш}})} \sqrt{\frac{h_0 + 0,5r_{\text{ш}}}{h}} \sqrt{\frac{2h - h_0}{h}}, \quad (1.3);$$

$$Q_{\text{ш}}^{\text{с}} = 1,37 K_{\phi} \frac{H^2 - h_0^2}{\lg(R/r_{\text{ш}})}, \quad (1.4)$$

где K_{ϕ} – средний по мощности коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут,

$$K_{\text{а}} = \frac{K_{\phi 1} m_1 + K_{\phi 2} m_2 + K_{\phi 3} m_3 + \dots + K_{\phi n} m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}, \quad (1.5)$$

где $K_{\phi 1} - K_{\phi 5}$ и $m_1 - m_5$ – коэффициенты фильтрации и мощности различных водоносных горизонтов; H – мощность дренируемого водоносного горизонта до водопонижения, м; $h = h_0 + l$; $h_0 = 2$ м – остаточный столб воды в стволе; l – расстояние от дна ствола до водоупора, м, $r_{\text{ш}}$ – 6 м – радиус шахтного ствола; R – радиус депрессионной воронки вокруг шахтного ствола, м,

$$R = 2S \sqrt{K_{\phi} H}, \quad (1.6)$$

где S – понижение уровня воды в стволе.

Схемы к расчету притока воды в вертикальный несовершенный колодец (*а*) и в совершенную вертикальную выработку (*б*) показаны на рис.1.2.

Цель работы: 1) произвести расчет водопритоков для трех случаев достижения забоем ствола уровня: кровли песков мелового возраста, кровли песчаников мелового возраста (несовершенный колодец) и кровли аргиллитов юрского возраста (совершенный колодец); 2) по полученным данным следует построить график $Q = f(S)$, который закладывается в календарный план работ.

Последовательность выполнения работы.

1. Построить схему к расчету притока воды в вертикальный несовершенный колодец в масштабе (1:500 или 1:1000) для первого случая (забой ствола на уровне песка мелового возраста).

2. Определить средний по мощности коэффициент фильтрации, мощность дренируемого водоносного горизонта (формула 1.5), радиус депрессионной воронки (формула 1.6), понижение

уровня воды и параметры h , h_0 , l , $r_{ш}$ и по формуле (1.3) определить величину водопритока.

3. Построить схему к расчету притока воды в вертикальный несовершенный колодец в масштабе (1:500 или 1:1000) для второго случая (забой ствола на уровне песчаника мелового возраста) и определить величину водопритока по формуле (1.3).

4. Построить схему к расчету притока воды в вертикальный совершенный колодец в масштабе (1:500 или 1:1000) для третьего случая (забой ствола на уровне аргиллитов юрского возраста) и определить величину водопритока по формуле (1.4).

5. По полученным данным построить график $Q = f(S)$, который закладывается в календарный план работ.

Задание 3. Расчет водопонизительной системы.

Исходя из общего количества воды, притекающей в шахтный ствол при заданном водопонижении, необходимо определить оптимальное количество водопонижающих скважин по формуле:

$$n = KQ_{ш}/Q_{ск}, \quad (1.7)$$

где $Q_{ск}$ – водозахватывающая способность водопонизительных скважин, определяемая по формуле Дюпюи; K – коэффициент запаса, равен 1,5.

Цель работы: определить количество водопонижающих скважин.

Последовательность выполнения работы.

1. Используя литологическое описание пород, характеристику безнапорного водоносного горизонта (см. задание 1,2), определить водозахватывающую способность водопонизительной скважины по формуле Дюпюи (совершенная выработка при $h_0 = 5$ м и $R = 200$ м):

$$Q_{ск}^c = 1,37 K_{\phi} \frac{H^2 - h_0^2}{\lg(R/r_c)}, \quad (1.8)$$

где $r_{ш}$ заменен радиусом водопонизительной скважины $r_c = 0,15$ м; H – мощность дренируемого водоносного горизонта до водопониже-

ния; K_{ϕ} – средний по мощности коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут.

2. Количество водопонижительных скважин зависит от их водозахватной способности и количества воды, которое нужно откачать. Оптимальное количество водопонижающих скважин определить по формуле (1.7).

3. Необходимо подумать и изложить свои соображения по поводу организации водопонижения.

Задание 4. Устойчивость пород при строительстве ствола. Определение величины безопасного напора.

На период строительства шахтного ствола интерес представляет устойчивость пород в создаваемых обнажениях вокруг и на забое ствола. По данным изучения месторождения видно, что вся толща пород мелового возраста (песчаники, пески и мергельный мел) и часть четвертичного покрова являются водосодержащими и, за исключением песчаников, неустойчивыми при обнажении. В связи с этим проходка шахтного ствола возможна только после проведения подготовительных работ по обеспечению устойчивости водосодержащих пород. В данном случае это можно достигнуть предварительным понижением уровня подземных вод до отметок, опережающих фронт строительных работ. В случае наличия плавунных песков необходимо предусмотреть специальные способы проходки. В пределах песчаников можно осуществить дренирование через забой, если водоприток в ствол не превысит мощность наличного насосного оборудования.

К числу наиболее опасных явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом относят водные прорывы, происходящие при разрушении глинистых водоупорных слоев, изолирующих водоносные горизонты от горных выработок. Чаще всего это связано с давлением напорных подземных вод, залегающих в почве или кровле подземных выработок.

Нарушение устойчивости дна шахтного ствола может произойти в результате прорыва юрских глинистых пород, являющихся верхним водоупором напорного водоносного горизонта, приуроченность к пескам триасового возраста. Во

избежание этого явления необходимо снизить напор до безопасных значений, исходя из условий устойчивости вскрытого глинистого слоя.

Безопасный напор можно рассчитать несколькими способами с учетом собственной массы глинистых пород и прочности. В.Д. Слесарев предложил следующую формулу для определения безопасного напора:

$$H_{\text{без}} = 6\sigma_p K \frac{m^2}{r_{\text{ш}}^2} + \frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{в}}} m, \quad (1.9)$$

где σ_p – временное сопротивление глины на растяжение, составляющее 10-15% от прочности на одноосное сжатие, Па; m – мощность изолирующих глин, м; $\gamma_{\text{г}}$ и $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес глины и воды соответственно, н/м³; $r_{\text{ш}}$ – радиус шахтного ствола в проходке, м; K – коэффициент запаса, по рекомендации В.Д. Слесарева, для выдержанного водоупора $K = 2$.

В случае большой мощности глинистых пород, превышающей диаметр ствола, можно исходить из возможности выдавливания дна ствола по боковой поверхности цилиндра с диаметром, равным диаметру шахтного ствола, и высотой, равной мощности изолирующих глин под дном. Давление воды на глину:

$$\rho_{\text{в}} = \gamma_{\text{в}} H_{\text{н}} \pi r_{\text{ш}}^2, \quad (1.10)$$

где $H_{\text{н}}$ – напор, м.

Сила сопротивления глины:

$$p_{\text{г}} = \gamma_{\text{г}} m \pi r_{\text{ш}}^2 + \sigma_x f 2 \pi r_{\text{ш}} m + c 2 \pi r_{\text{ш}} m, \quad (1.11)$$

где σ_x – боковой распор в глинах, Па, в условиях гидростатического распределения напряжений:

$$\sigma_x = \sigma_y = \gamma_{\text{ср}} h, \quad (1.12)$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенный по мощности удельный вес,

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 m_1 + \gamma_2 m_2 + \gamma_3 m_3 + \dots + \gamma_n m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}, \quad (1.13)$$

где γ_i и m_i – удельный вес и мощность i -того слоя; h – глубина от поверхности земли до середины глинистого слоя; $f = \operatorname{tg} \varphi$; φ – угол внутреннего трения глин, град.

Считая, что давление породы на глину равно силе ее сопротивления ($\rho_r = \rho_v$), величину безопасного напора подземных вод можно определить по выражению И.П.Иванова:

$$H_{\text{без}} = K \frac{m}{\gamma_v} \left[\gamma_r + \frac{2}{r_{\text{ш}}} (\sigma_x f + C) \right] \quad (1.14)$$

где $K = 0,7$, а при плохой изученности $K = 0,6 \div 0,5$; C – сцепление с учетом трещиноватости, Па.

Схема к расчету безопасного напора триасового водоносного горизонта показана на рис.1.3.

Цель работы: 1) определить величину безопасного напора по двум предлагаемым формулам; 2) сравнить величину напора на участке предполагаемого строительства шахтного ствола с рассчитанным безопасным напором и принять решение о необходимом водопонижении.

Последовательность выполнения работы.

1. Произвести расчет величины безопасного напора по формуле (1.9) В.Д. Слесарева.

2. Произвести расчет величины безопасно напора по формуле (1.14) И.П. Иванова.

3. Сравнить величину напора с рассчитанным безопасным напором (литологическое описание пород приведено в инженерно-

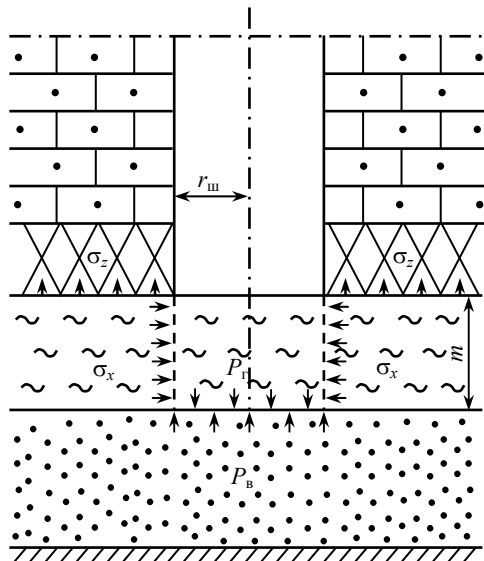


Рис.1.3. Схема к расчету безопасного напора триасового водоносного горизонта

геологической модели, задание 1) и проанализировать полученные результаты.

4. Если будет принято решение о необходимом водопонижении, важно продумать свои соображения и рассчитать количество скважин, обеспечивающих снижение пьезометрического уровня напорных вод триасового водоносного горизонта до определенной нами безопасной величины напора во избежание водных прорывов.

Количество водопонижительных скважин зависит от их водо-захватной способности и количества воды, которое нужно откачать, чтобы достигнуть искомого понижения пьезометрического уровня:

$$S = H_e - H_{\text{без}}, \quad (1.15)$$

где H_e – напор воды в естественных условиях. Для условий разгрузки напорного водоносного горизонта через забой скважины понижение связано с расходом воды зависимостью:

$$S = \frac{Q_c}{4\pi T} \ln \frac{2,25a^* t}{r^2}, \quad (1.16)$$

где Q_c – водоприток через забой скважины; T – водопродовимость, $T = K_{\phi} m$; K_{ϕ} и m – коэффициент фильтрации и мощность напорного водоносного горизонта; a^* – коэффициент пьезопроводности (принять $a^* = 10^4 \text{ м}^2/\text{сутки}$); t – время поддержания безопасного напора, принять $t = 60$ суток. Задаваясь нужным для обеспечения устойчивости юрских глин понижением S , можно определить количество воды, которое нужно откачать.

5. Изложить свои соображения по поводу организации водопонижения.

Задание 5. Обработка результатов химического анализа воды. Оценка агрессивности подземных вод.

Химический анализ и формы его выражения. Химический анализ является основой для изучения генезиса подземных вод, оценки пригодности их для бытовых и промышленных нужд, лечебных целей, агрессивности по отношению к бетонным и металлическим конструкциям; он также служит в качестве основного критерия при

гидрогеологических методах поисков полезных ископаемых и т.п. Выбор типа анализа подземных вод зависит от задач и целей исследований. Они могут проводиться как в полевых, так и в лаборатории.

Основной формой выражения результатов анализа воды является ионная. Результаты химических анализов воды выражают в весовой, эквивалентной и процент-эквивалентной формах.

Весовая форма представляет собой отражение ионно-солевого состава воды как содержания в ней определенных количеств отдельных ионов в миллиграммах (иногда в граммах) на 1 л (дм³) раствора или 1 кг воды.

Эквивалентная форма записи состава вод позволяет выяснить соотношение между ионами с точки зрения их участия в химических реакциях, оценить качество анализа и высчитать содержание некоторых макрокомпонентов без непосредственного их определения [7,8].

Расчет эквивалентной формы основан на понятии химического эквивалента. В гидрогеологических и гидрологических исследованиях в качестве эквивалентной формы используется миллиграмм-эквивалентная, т.е. количество миллиграмм-эквивалентов иона в 1 л раствора:

$$\left[\frac{\text{МГ} - \text{ЭКВ}}{\text{ДМ}^3} \right] = \left[\frac{\text{МГ}/\text{ДМ}^3}{\text{Э}} \right] = \left[\frac{\text{МГ}}{\text{ДМ}^3} \cdot \frac{1}{\text{Э}} \right] = \left[\frac{\text{МГ}}{\text{ДМ}^3} \cdot K \right], \quad (1.17)$$

где Э – химический эквивалент иона; K – переводной коэффициент, K = 1/Э (табл.1.7).

Таблица 1.7

Эквиваленты и переводные коэффициенты некоторых ионов природных вод

Ион	Э	K	Ион	Э	K
Na ⁺	23,0	0,0435	Cl ⁻	35,5	0,0282
K ⁺	39,1	0,0256	SO ₄ ²⁻	48,0	0,0208
Mg ²⁺	12,2	0,0822	HCO ₃ ⁻	61,0	0,0184
Ca ²⁺	20,0	0,0499	Br ⁻	79,6	0,0125
NH ₄ ⁺	18,0	0,0556	J	126,9	0,0079
H ⁺	1,0	1,0	CO ₃ ²⁻	30,0	0,0328
Fe ²⁺	18,6	0,0538	NO ₃ ⁻	62,1	0,0161
Fe ³⁺	27,9	0,0358			

На основе эквивалентной формы выражения концентрации ионов можно оценить погрешность химического анализа вода. Основана эта оценка на принципе электронейтральности раствора, исходя из которого сумма концентраций катионов (положительно заряженных ионов), выраженных в миллиграмм-эквивалентах на литр, должна быть равна сумме содержаний анионов (отрицательно заряженных ионов), представленных в эквивалентной форме: $\Sigma r_k = \Sigma r_a$.

Однако реальный химический анализ не всегда обеспечивает достаточную точность и поэтому равенство не выполняется. Ошибка анализа:

$$E = \frac{\Sigma r_k - \Sigma r_a}{\Sigma r_k + \Sigma r_a}. \quad (1.18)$$

Анализ воды считается кондиционным (выполненным качественно) если погрешность $E < 5\%$. Контроль по формуле (1.18) возможен только в тех случаях, когда проведено раздельное определение каждого основного иона (макрокомпонента).

Процент-эквивалентная форма показывает относительную долю участия того или иного иона в формировании ионно-солевого состава вода.

Для вычисления процентного содержания анионов их сумму принимают за 100 % и рассчитывают процент содержания каждого аниона по отношению к их сумме. Для катионов проводят аналогичные вычисления.

Процент-эквивалентная форма наглядно представляет ионно-солевой состав воды, соотношения между ионами, а также позволяет устанавливать черты сходства вод, различающихся по минерализации. Кроме того, она является основой для систематизации химических анализов в виде формул и графиков.

Определение общей минерализации воды. Минерализация воды M – это сумма минеральных веществ в граммах или миллиграммах, содержащихся в 1 л (дм³) воды. Для определения M суммируют содержание всех ионов, определенных химическим анализом и выраженных в весовой форме.

Классификация подземных вод по минерализации приведена в таблице 1.8 [7,8].

Классификация подземных вод по минерализации

Воды	Минерализация M , г/дм ³
Пресные	< 1
Солоноватые	1-10
Соленые	10-35
Рассолы	> 35

Жесткость воды определяется присутствием в ней солей Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Для вод, используемых в хозяйственных и технических целях, жесткость имеет большое значение. Различают общую, карбонатную, устранимую (временную), некарбонатную, неустраимую (постоянную) жесткости.

Общая жесткость J_0 определяется как сумма миллиграмм-эквивалентов ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в 1 л воды и складывается она из карбонатной (J_k) и некарбонатной ($J_{нк}$) жесткости:

$$J_0 = J_k + J_{нк}; J_0 = r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} \dots\dots\dots (1.19)$$

Устранимая (временная) и карбонатная жесткости вызываются наличием в воде одних и тех же гидрокарбонатных и карбонатных солей кальция и магния. Разница между ними заключается в том, что устранимая жесткость есть величина экспериментальная, показывающая, насколько уменьшилась общая жесткость после длительного кипячения пробы, а карбонатная жесткость является величиной расчетной, вычисляемой по количеству гидрокарбонат- и карбонат-ионов. Устранимая жесткость всегда меньше карбонатной.

При определении карбонатной жесткости необходимо учитывать два возможных соотношения между суммами миллиграмм-эквивалентов пар ионов:

1) если $[r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}] \leq [r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}]$ то карбонатная жесткость равна общей жесткости, поскольку больше общей жесткости она не может быть: $J_0 = J_k = r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$.

2) если $[r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}] > [r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}]$, то карбонатная жесткость воды меньше общей жесткости и эквивалентна содержанию $r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}$ т.е. $J_k = r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}$. Некарбонатная жесткость равна разности между общей жесткостью и карбонатной.

Классификация подземных вод по общей жесткости (по О.А. Алекину) приведена в таблице 1.9.

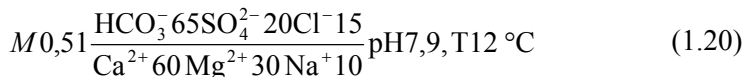
Таблица 1.9

Классификация подземных вод по общей жесткости

Вода	Ж _о , мг-экв/дм ³
Очень мягкая	< 1,5
Мягкая	1,5-3,0
Умеренно жесткая	3,0-6,0
Жесткая	6,0-9,0
Очень жесткая	> 9,0

Формула М.Г. Курлова. Для наглядного изображения химического состава подземных вод используют так называемую формулу Курлова, которая представляет собой псевдодробь, в числителе которой слева направо записывают анионы в процент-эквивалентах в порядке их убывания, а в знаменателе в том же порядке – катионы. Количество анионов и катионов округляют до целых чисел. Слева от дроби записывают минерализацию в граммах на литр, а также содержание в миллиграммах на литр некоторых специфических компонентов и газовый состав. Справа от дроби указывается величина рН воды и ее температура.

По формуле Курлова дается название воды. В него включают все ионы (сначала анионы, затем катионы), содержание которых превышает 25 % [8]. Согласно Е.В. Посохову при составлении химического названия вода необходимо соблюдать элементарные правила русского языка, согласно которым основное прилагательное пишется полностью, а прилагательное, указывающее на второстепенное свойство предмета, пишется сокращенно. Если в химическом составе воды преобладают хлоридный и сульфатный анионы, причем сульфатного больше, то воду следует называть хлоридно-сульфатной, а не сульфатно-хлоридной. Так, если химический состав вода записан в виде формулы Курлова следующим образом:



то данная вода должна именоваться гидрокарбонатной магниево-кальциевой, пресной, со щелочной реакцией.

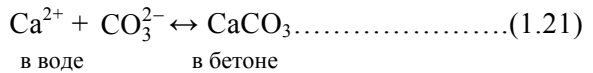
Оценка агрессивности подземных вод. Агрессивность воды связана с присутствием в ней ионов водорода, свободного диоксида углерода, сульфатов и магния. Агрессивные свойства воды проявляются по отношению, к бетону и металлам.

Агрессивность воды по отношению к бетону выражается в разрушительном воздействии подземных вод определенного состава на бетонные сооружения. Разрушение бетона происходит при растворении и выщелачивании составных частей затвердевшего бетона, а также связано с образованием в бетоне новых соединений в результате взаимодействия его составных частей с растворенными в воде веществами. Выделяют: *выщелачивающую, углекислую, общекислотную, сульфатную и магниальную.*

Выщелачивающая агрессивность связана с выщелачиванием карбонатов, главным образом, кальция.

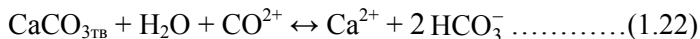
При твердении цемента, являющегося вяжущим веществом в бетоне, происходит образование гидрата кальция Ca(OH)₂ за счет гидролиза кальциевых силикатов, входящих в состав цементов. Под действием углекислоты гидрат кальция переходит в карбонат кальция по уравнению Ca(OH)₂ + CO₂ = CaCO₃ + H₂O. Образующийся карбонат кальция тонкой коркой покрывает бетонную конструкцию с поверхности, которая предохраняет бетон от разрушения.

Если вода, соприкасающаяся с бетоном, имеет низкие концентрации Ca²⁺, а также HCO₃⁻ и CO₃²⁻, то карбонат кальция начинает переходить в раствор, защитная корка разрушается с последующим растворением кальцита внутри самого цемента; этот процесс можно представить в виде подвижного равновесия:



Если концентрация карбоната кальция в воде незначительна, то равновесие смещается влево и часть карбоната кальция бетона, согласно закону действующих масс, переходит в раствор, где большая часть иона CO₃²⁻ гидролизуетея: CO₃²⁻ + H = HCO₃⁻. Поэтому выщелачивающая агрессивность вода оценивается гидрокарбонатной щелочностью, выражаемой количеством иона HCO₃⁻.

Углекислотная агрессивность обусловлена высокими концентрациями растворенной в воде углекислоты CO_2 . Эта агрессивность проявляется как в отношении металла (явление коррозии), так и бетона. При этом разрушение бетона практически сводится, как и при выщелачивающей агрессивности, к растворению карбоната кальция по схеме:



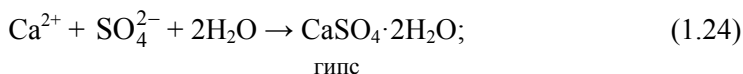
Этот процесс обратим и вправо до «конца не доходит», так как часть угольной кислота H_2CO_3 остается после реакции в свободном состоянии. Это количество угольной кислоты называется равновесной углекислотой. Если содержание свободной углекислоты в воде меньше, чем необходимо для равновесия, то реакция, по закону действующих масс, пойдет справа налево и из воды будет выделяться CaCO_3 . Если содержание свободной углекислоты больше, чем необходимо для равновесия, то при соприкосновении бетона с такой водой CaCO_3 будет растворяться. Процесс растворения будет продолжаться, пока не наступит равновесие. Та часть угольной кислоты, которая расходуется на реакции с CaCO_3 , называется агрессивной углекислотой ($\text{CO}_{2\text{агр}}$). Таким образом, вода будет содержать агрессивную углекислоту в том случае, когда содержание CO_2 будет больше, чем необходимо для равновесия с твердым CaCO_3 .

Общекислотная агрессивность воды объясняется повышенной концентрацией ионов водорода (пониженной величиной pH). Общекислотная агрессивность разрушает бетон из-за быстрого растворения в кислой среде защитной карбонатной корки по реакции:

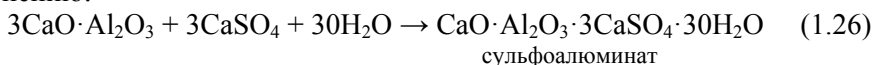


Здесь, аналогично описанному выше, высокая концентрация H^+ смещает равновесие вправо и приводит к растворению CaCO_3 .

Сульфатная агрессивность обусловлена присутствием в воде сульфат-иона. Этот вид агрессии проявляется в кристаллизации в бетоне новых соединений и выщелачивании бетона. Кристаллизация в бетоне новых соединений, образование которых сопровождается увеличением объема, влечет за собой ослабление бетона или даже его разрушение. В частности, в порах бетона может происходить кристаллизация гипса и эпсомита по реакциям:



В первом случае процесс кристаллизации сопровождается увеличением объема бетона, захваченного процессом, в 2 раза, во втором - в 4 раза. Кроме того, присутствующий в бетоне трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ вступает в реакцию с сульфатом кальция в растворе с образованием сульфоалюмината кальция по уравнению:



Сульфоалюминат кальция известен, также, под названием цементной бациллы. Если это вещество образуется в порах цемента, то в нем возникают большие внутренние напряжения, приводящие к нарушению целостности бетонной конструкции.

Магнезиальная агрессивность также вызывает разрушение и вспучивание бетонных конструкций и отмечается при высоких содержаниях в воде ионов Mg^{2+} и SO_4^{2-} .

Методика определения степени агрессивности воды среды по отношению к бетону помимо химического состава воды, учитывает напорность вод, окружающей бетон, и условия движения воды, омывающей бетон. При признании воды агрессивной по отношению к выбранному цементу водостойкость бетона должна быть обеспечена специальными мероприятиями (гидроизоляцией, применением защитных оболочек, дренажем и др.).

Агрессивность, воды по отношению к металлу связана с корродирующей способностью вод. По отношению к металлу агрессивными являются углекислые, сероводородные кислые воды, а также вода, обогащенные кислородом. В табл.1.10 приведены виды агрессивности вод по отношению к бетону и признаки агрессивности.

Количественные критерии оценки вида и степени агрессивности подземных вод к бетону и железобетону приводятся в СП 22.13330.2016 «Защита строительных конструкций от коррозии» и

ГОСТ 9.602-2005 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии».

Таблица 1.10

Виды агрессивности	Признаки агрессивности
Выщелачивающая	Низкое содержание иона HCO_3^-
Углекислотная	Наличие агрессивной углекислоты CO_2 более 10 мг/дм ³
Общекислотная	Низкие значения pH (pH<5 для бетона марки W ₄)
Сульфатная	Повышенное содержание иона SO_4^{2-}
Магнезиальная	То же, Mg^{2+}

Цель работы: 1) произвести обработку результатов химического анализа воды; 2) оценить агрессивность подземных вод по отношению к строительным материалам.

Последовательность выполнения задания.

На участке прохождения шахтного ствола практическое значение имеет вопрос как анализа химического состава подземных вод, так и оценки их агрессивности. Особенно важно решение этих вопросов для подземных вод безнапорного водоносного горизонта, в пределах которого проходит вертикальная горная выработка.

Обработку анализа целесообразно выполнять в следующей последовательности:

1. Перевести анализ вода из весовой в эквивалентную и процент-эквивалентную формы (см. табл.1.2).
2. Вычислить погрешность анализа (формула 1.18).
3. Определить минерализацию воды и классифицировать воду по минерализации (см. табл. 1.8).
4. Вычислить виды жесткости; классифицировать воду по величине общей жесткости (см. табл. 1.9).
5. Написать формулу Курлова и дать название воде по химическому составу (формула 1.20).
6. Оценить степень агрессивности воды к бетонным и металлическим конструкциям (см. табл. 1.10).
7. Обосновать необходимость специальных мероприятий по снижению степени агрессивности грунтового водоносного горизонта.

Задание 6. Определение параметров отвалов пород.

Для рационального размещения горной массы и с целью охраны природной среды необходимо решить несколько задач:

– выявить возможности частичного или полного использования пород в строительстве (на кирпичном или цементном заводе, в дорожном строительстве и др.);

– выбрать наиболее не пригодные для сельского хозяйства участки территории для складирования горной массы;

– оценить основание отвалов с целью обеспечения сохранности почвенного слоя и отсутствия нарушений земель и тела отвала;

– определить предельно допустимую высоту отвала по условиям его устойчивости;

– определить площадь участка, отведенного под отвал.

Необходимо продумать, как организовать строительство для обеспечения наиболее благоприятных условий размещения пород.

Цель работы: Определить предельно допустимую высоту отвала.

Последовательность выполнения задания:

1. При определении допустимой высоты отвала нужно исходить из предположения о наличии в его основании слабых песчаноглинистых пород четвертичного возраста, залегающих на дне балок и оврагов. Обычно это водонасыщенные, рыхлые осадки с плотностью в среднем $1,70 \text{ г/см}^3$, сцеплением $0,01 \text{ МПа}$, и углом внутреннего трения не более $8-10^\circ$.

Отсыпка отвала будет производиться селективно в порядке отработки пород в шахте, поэтому строение отвала будет являться зеркальным отображением геологического разреза участка строительства ствола. Необходимо продумать вопрос о размещении горной массы так, чтобы свободный откос формировался песками и песчаниками и имел бы угол наклона 30° . При расчете оптимальной высоты отвала следует иметь в виду, что наименее устойчив он будет в период отсыпки, когда прочность горной массы определяется только коэффициентом трения. Консолидация (слеживание) пород со временем будет приводить к росту их прочности за счет появления сцепления, что приведет к увеличению степени устойчивости.

2. При подсчете объема отвальных пород необходимо учитывать их разрыхляемость. В таблице 1.11 приведены значения коэффициента остаточного разрыхления для пород.

Таблица 1.11

Коэффициент остаточного разрыхления для пород по данным нормативов

Порода	Параметр
Четвертичные отложения	1,10
Мергельный мел	1,20
Пески	1,05
Песчаники	1,30
Аргиллиты	1,15

3. Расчет оптимальной высоты отвала $H_{от}$ можно провести по схеме плоского сдвига по слабому основанию (рис. 1.4) из условия:

$$E_a = P \operatorname{tg} \varphi_0 + c_0 L, \quad (1.27)$$

где

$$E_a = B \frac{\gamma_{cp} H^2}{2} \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_{cp} / 2); \quad P = B \frac{HL}{2} \gamma_{п}, \quad (1.28)$$

где γ_{cp} – средний по мощности удельный вес пород в теле отвала, Н/м^3 ; c_0 и φ_0 – сцепление и угол внутреннего трения пород основания отвала; φ – средневзвешенный по мощности угол внутреннего трения пород отвала, градусы; $\gamma_{п}$ – удельный вес песков и песчаников в теле призмы упора, Н/м^3 ; P – вес призмы упора, Н ; B – ширина расчетного элемента, в условиях плоской задачи устойчивости $B = 1 \text{ м}$.

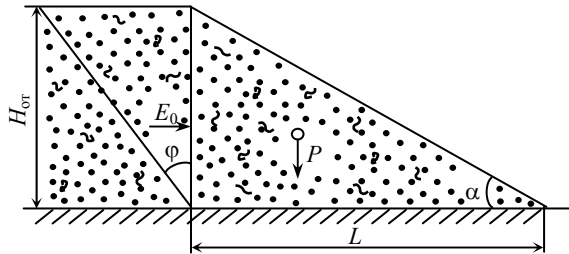


Рис. 1.4. Расчетная схема устойчивости отвала пород на слабом основании

4. Для окончательного расчета $H_{от}$. Необходимо привести расчетную модель отвала, на которой показать все параметры, входящие в формулу равновесия. Для повышения надежности результатов оценки принято вводить в расчетные показатели коэффициент надежности запаса, равный 1,2.

5. Определить предельно допустимую высоту отвала, в основании которого залегают слабые песчано-глинистые отложения четвертичного возраста с плотностью $1,70 \text{ г/см}^3$, сцеплением $0,01 \text{ МПа}$, и углом внутреннего трения 8° .

1.3. Прогноз изменения природных условий в результате строительства шахты

В связи с понижением уровня безнапорного водоносного горизонта вокруг шахтного ствола сформируется депрессионная воронка, радиус которой будет меняться в зависимости от величины водопонижения, продолжительности откачки, водопроницаемости пород и первоначальной мощности горизонта. О конечной величине радиуса влияния можно судить по формуле:

$$R = 2S\sqrt{K_{\phi}H}, \quad (\text{здесь } H - \text{напор, м}) \quad (1.29).$$

После закрепления шахтного ствола водопонижение будет остановлено и уровень подземных вод восстановится. Особое внимание необходимо обратить на отвод откачиваемых вод, так как они могут явиться источником питания и загрязнения грунтового водоносного горизонта.

Задание 7. Расчет величины оседания земной поверхности в результате водопонижения.

Понижение уровня безнапорных подземных вод будет производиться в период строительства шахтного ствола. В связи с этим будет снято гидростатическое давление, что приведет к деформированию пород вокруг шахтного ствола. Для учета возможного изменения величины горного давления при строительстве шахтного ствола необходимо определить осадку пород в связи с формированием нового напряженного состояния.

Естественное напряженное состояние характеризуется гравитационными условиями т.е:

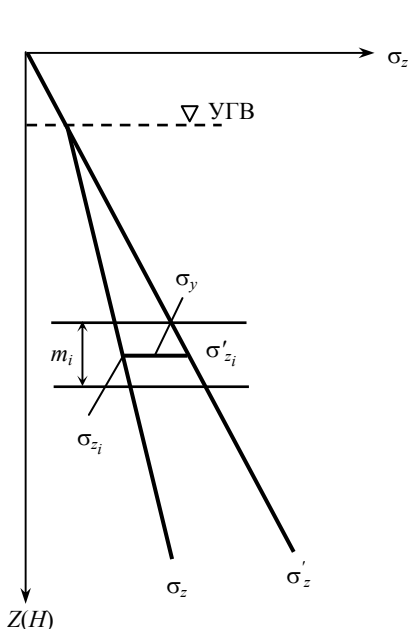


Рис.1.5. Схема к расчету оседания земной поверхности в результате водопонижения

$$\sigma_z = \sum_1^n (\gamma_i m_i - \gamma_B h_i) \quad (1.30)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z, \quad (1.31)$$

где γ_i – и m_i – удельный вес и мощность итого слоя; h_i – высота водного столба между зеркалом и расчетным сечением; γ_B – удельный вес воды; μ – коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона).

После водопонижения в пределах сдренированных пород вертикальное сжимающее напряжение:

$$\sigma'_z = \sum_1^n \gamma_i m_i. \quad (1.32)$$

Вертикальные деформации (оседание земной поверхности) можно рассчитать по методу послойного суммирования:

$$S_k = \sum_1^n \frac{\sigma'_{zi} - \sigma_{zi}}{E_i} m_i, \quad (1.33)$$

где E_i – модуль общей деформации i -го расчетного слоя; m_i – мощность i -го слоя; σ_{zi} и σ'_{zi} – вертикальное сжимающее напряжение в середине i -го слоя и после водопонижения.

Расчетные слои представляют собой литологически однородные породы с постоянным средним значением E_i , мощность которых не должна превышать 10 м (разность между значениями σ_z на верхней и нижней границе не должна превышать 0,02 МПа).

Расчет производится по схеме, на которой построены эпюры распределения вертикальных сжимающих напряжений до и после

водопонижения и выделены расчетные слои с постоянным модулем деформации (рис. 1.5).

Задание 8. Оценка степени устойчивости склона.

Как было отмечено, в пределах месторождения, на склонах рек и крупных балок, наблюдаются оползневые явления, которые захватывают почти всю толщу четвертичных отложений. Это означает, что многие склоновые участки находятся в условиях предельного равновесия. Поэтому изменения природной обстановки под влиянием строительных работ приведут к активизации существующих гравитационных процессов, а в некоторых случаях к возникновению новых явлений. Следует рассмотреть основные причины ухудшения условий устойчивости природам склонов по литературе [5, 6].

В частности, большое значение в изменении степени устойчивости приобретают загрузка склонов отвалами, оборудованием, зданиями, подрезка склонов дорожными трассами, а также дополнительное увлажнение пород шахтными водами.

Цель работы: Оценить количественно безопасный вариант расположения монтажной площадки и наметить участки склонов, где условия устойчивости могут ухудшаться.

Последовательность выполнения задания:

1. На примере балки Глубокая, оползневые склоны которой имеют высоту 30 м и угол наклона 20° , а показатели сопротивления сдвигу, полученные в результате обратных расчетов, $c = 0,02$ МПа и $\varphi = 15^\circ$, следует оценить изменения степени устойчивости в связи с расположением на верхней бровке склона монтажной площадки, на которой находится кран, передающий максимальную равномерно распределенную нагрузку 0,2 МПа в пределах верхней части призмы сползания. При этом надо иметь в виду, что наблюдениями установлена круглоцилиндрическая поверхность скольжения, проходящая через нижнюю бровку склона и выходящую на расстоянии 12 м от верхней его бровки, без захвата пород ниже отметки дна балки (рис. 1.6).

2. Оценка условий устойчивости оползневых склонов, в конечном итоге, сводится к определению или прогнозу соотношения между удерживающими $R_{уд}$ и сдвигающими $R_{сдв}$ силами по характерной, наиболее вероятной поверхности скольжения. Это соотно-

шение принято называть *коэффициентом устойчивости*, или *коэффициентом запаса*: $\eta = \Sigma R_{уд} / \Sigma R_{сдв}$, где $R_{уд}$ – сумма удерживающих сил (сил трения, сцепления породы, зацепления и т.п.); $R_{сдв}$ – сумма сдвигающих сил, определяемых весом массы оползневого тела.

Для оценки можно использовать метод алгебраического сложения сдвигающих и удерживающих сил.

$$\eta = \frac{\sum_1^n (N_i - \delta_i l_i) \operatorname{tg} \varphi + cL}{\sum_1^n T_i} \quad (1.34),$$

где

$$N_i = P_i \cos \theta_i; T_i = P_i \sin \theta_i; P_i = \gamma_i S_i B \quad (1.35)$$

P_i – вес расчетного блока ($B = 1$) с учетом давления крана P_k , Н; θ_i – угол наклона поверхности скольжения в пределах блока; δ_i – высота столба воды над поверхностью скольжения в точке приложения сдвигающих и удерживающих сил, м; l_i – длина дуги скольжения в пределах расчетного блока, м; S_i – площадь расчетного блока, м²; γ_i – удельный вес, Н/м³; L – длина всей поверхности скольжения, м.

Для естественного состояния склона $\eta = 1$.

Соответственно, участие горных пород в уравнении представлено тремя показателями: плотностью (для определения веса блоков), сцеплением и трением. Поэтому значение этих величин очень большое.

3. Для расчета оползневой массив разбивается на блоки, ши-

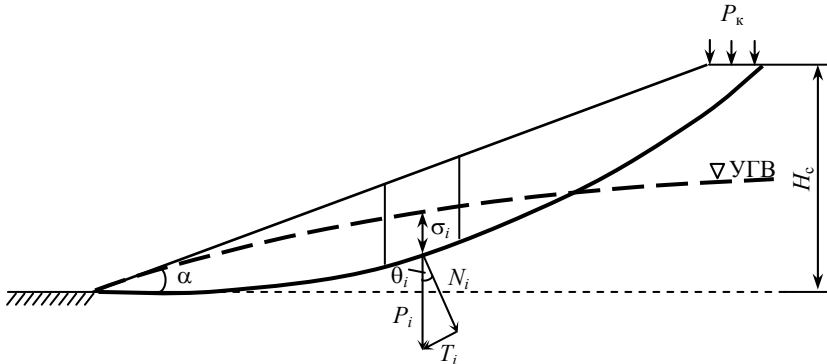


Рис.1.6. Схема к оценке изменения устойчивости склона балки в связи с его нагружением

рина которых составляет $0,1R$ дуги, причем первый блок должен быть от бровки. При такой ширине блоков расчет имеет вполне достаточную точность. Полученные результаты заносятся в таблицу.

4. Решение задач по прогнозу устойчивости включает следующие этапы: 1) построение расчетной модели, представляющей собой детальный геологический разрез расчетного профиля склона (откоса) с проведением поверхности скольжения, реально существующей или наиболее вероятной, с нанесением уровней подземных вод, графиков дополнительных нагрузок, уточненных параметров склона (откоса.); 2) обеспечение расчетной модели показателями плотности слагающих пород, залегающих выше поверхности скольжения, а также показателями сцепления и угла внутреннего трения в зоне формирования поверхности скольжения или по слабому контакту, по которому проходят унаследованные поверхности скольжения; 3) выбор метода и способа расчета (алгебраическое суммирование, метод многоугольника сил и др.); 4) выполнение расчетов, проверка полученных результатов, выводы и рекомендации по расчетной части прогнозов.

Таким образом, в районе строительства необходимо предусмотреть возможность ограничения техногенного влияния на природную обстановку и обосновать наиболее эффективные мероприятия.

2. ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Общие сведения о трещиноватости

Трещиноватость горных пород является одним из решающих факторов при их инженерно-геологической оценке. Она характерна, в основном, для скальных и полускальных пород и определяет их физическое состояние, пространственную неоднородность и анизотропию. Трещины имеют различное происхождение, определяющим образом влияют на такие свойства как прочность, деформируемость, пустотность, проницаемость, устойчивость при выветривании и карстообразовании, категорию трудности разработки и т.д.

Под *трещиноватостью* обычно понимается совокупность трещин в массиве горных пород. Трещины в горных породах могут различаться по геометрии, морфологии, генезису, возрасту и меха-

низму образования. По своему генезису трещины делятся на две группы: *тектонические и нетектонические*.

Тектонические трещины развиваются в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных породах под влиянием тектонических сжимающих и растягивающих усилий, превышающих предел прочности породы (трещины скалывания – касательные сдвигающие скалывающие усилия; трещины отрыва – растягивающие усилия).

Трещины скалывания - закрытые, волосные, плоскости гладкие, иногда с плоскостями или бороздами скольжения. Образуют две сопряженные пересекающиеся системы – отдельности правильной формы. Трещины этого типа, как правило, не водоносны или слабоводопроницаемы. При вскрытии их подземными или глубокими открытыми выработками могут возникать значительные деформации – отслаивание, смещение больших масс.

Трещины отрыва - открытые, крутонаклонные, плоскости их неровные, бугристые, покрытые натеками, свидетельствующими о циркуляции подземных вод. Часто они бывают выполненными привнесенным песчано-глинистым материалом, а также продуктами дробления и перетирания пород. К этим трещинам нередко приурочены жилы кварца, кальцита, гипса, а в районах многолетней мерзлоты – жилы льда. Трещины отрыва часто водоносны, водопроницаемость по ним повышена, и нередко они обуславливают большие притоки подземных вод к выработкам. Они прослеживаются на меньшие расстояния, способствуют образованию вывалов, смещений масс пород, способствуют интенсификации выветривания.

Нетектонические трещины приурочены к приповерхностным горизонтам земной коры, отличаются очень большим разнообразием, часто имеют хаотическое расположение, невыдержанную протяженность.

2.2. Документация трещин на обнажении

При документации трещин на обнажениях и в горных выработках обычно измеряют и записывают следующие основные элементы трещин:

- 1) азимут падения – А, град;

- 2) угол падения – α , град;
- 3) ширина раскрытия – δ , мм;
- 4) длина трещины – l , см;
- 5) расстояние между трещинами одной системы – a , см.

На выбранном участке определяют элементы залегания горных пород – ориентировку их слоистости, сланцеватости, волокнистости и др. текстурных особенностей. Затем производят массовые замеры элементов залегания плоскостей трещин (200-500 замеров). После этого производят систематизацию результатов наблюдений, при этом систематизацию производят отдельно для каждого типа пород, для каждого крыла складки и т.д.

Задание 9. Оценка трещиноватости горных пород и ее влияние на водопроницаемость и устойчивость горного массива.

Оценка трещиноватости необходима для прогноза устойчивости непосредственной и основной кровли подготовительных и очистных выработок и их водообильности. Качественную оценку производят с помощью розы трещиноватости и круговой точечной диаграммы трещиноватости, а количественную – с помощью коэффициентов трещинной пустотности, удельной трещиноватости, структурного ослабления и др. После замеров трещин производят группировку трещин по азимутам падения A и выделяют основные системы трещин.

Роза трещин выражает один элемент ориентировки – азимут падения или простираения трещин. Для построения розы трещиноватости на круговой диаграмме трещины разбивают на классы с диапазоном изменения азимута падения в 5° и наносят на круг из его центра отрезки, равные общей длине трещин данного класса в произвольно выбранном масштабе (например, одна трещина представляется отрезком длиной 5 или 10 мм), в направлении, соответствующем среднему азимуту данного класса. Например, если в классе $A = 50 \div 55^\circ$ восемь трещин, то из центра круга под углом $52^\circ 30'$ откладывают отрезок длиной 4 см и т.д. Концы отложенных таким образом отрезков соединяют ломаной линией (рис. 2.1а). По полученной розе можно судить о количестве систем трещин и о преобладающих азимутах падения.

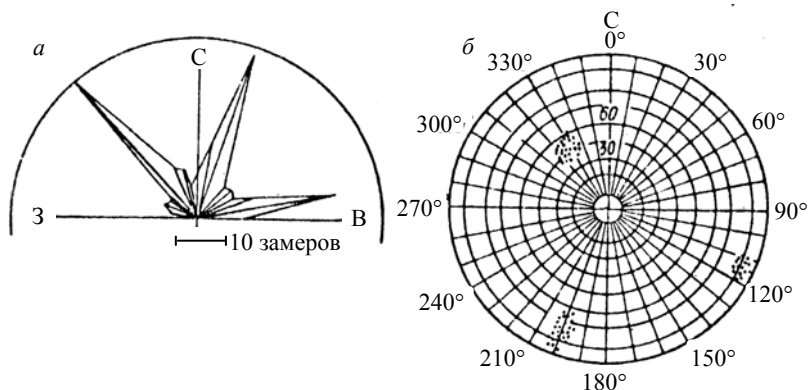


Рис.2.1. Роза трещиноватости (а) и точечная диаграмма трещиноватости (б)

Точечная диаграмма трещиноватости строится на круге с девятью концентрическими окружностями, соответствующих величине угла падения от 0 до 90 °С. По точечной диаграмме можно судить о преобладающем простирании трещин данной системы и об углах падения (рис.2.1 б).

Количественные показатели степени трещиноватости наиболее надежно характеризуют выветрелость пород и дают возможность прогнозировать их поведение при внешних и внутренних воздействиях.

Коэффициент трещинной пустотности $K_{тп}$, %:

$$K_{тп} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Ti}}{S_0} \cdot 100, \text{ т.е. } \frac{\sum S_{тп}}{S_0} \cdot 100, \% \quad (2.1),$$

где $S_{тп}$, S_{Ti} – площадь раскрытия i -й трещины; S_0 – площадь обнажения (естественного или искусственного), в пределах которого ведутся замеры; n – число трещин в обнажении.

Согласно Л.И.Нейштадт по данному коэффициенту можно классифицировать породы на:

- слаботрещиноватые $K_{тп} < 2$ %;
- среднетрещиноватые $K_{тп}$ от 2 до 5 %;
- сильнотрещиноватые $K_{тп}$ от 5 до 10 %;
- очень сильно трещиноватые $K_{тп}$ от 10 до 20 %;
- исключительно сильно трещиноватые $K_{тп} > 20$ %.

Коэффициент удельной трещиноватости – K_{yt} – количество трещин на единицу длины для каждой системы трещин:

$$K_{yt} = \frac{n_T}{L} \quad (2.2),$$

где n_T – число трещин в интервале длины L по линии, пересекающей под прямым углом трещины преобладающей системы.

По данному коэффициенту можно выделить следующие разновидности пород:

- не трещиноватые $K_{yt} = 0$;
- слаботрещиноватые – $K_{yt} = 1-2$ тр/м;
- средней трещиноватости – $K_{yt} = 2-3$ тр/м;
- сильнотрещиноватые – $K_{yt} = 5-8$ тр/м.

Показатель трещинной пустотности ТП – отношение суммарного объема трещин к единице объема массива:

$$TP = \sum_1^n \frac{\bar{\delta}_i}{\bar{a}_i + \bar{\delta}_i} 100\% \quad (2.3),$$

где \bar{a}_i и $\bar{\delta}_i$ – среднеарифметические значения расстояний между трещинами и шириной трещин одной системы; n – число систем трещин. Связь между характеристиками трещинной пустотности, выраженными разными показателями (по В.Д.Ломтадзе, 1977) показана в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Связь между характеристиками трещинной пустотности, выраженными разными показателями (по В.Д.Ломтадзе, 1977)

Состояние породы	ТП, %	$K_{ф,м/сут}$	g, л/мин
Практически нетрещиноватые, водоупорные	< 0,3	< 10^{-3}	< $0,5 \cdot 10^{-3}$
Весьма слаботрещиноватые, слабоводопроницаемые	0,3-1,0	$10^{-3}-10^{-2}$	$0,5(10^{-3}-10^{-2})$
Слаботрещиноватые, слабоводопроницаемые	1,0-3,0	$10^{-2}-10^{-1}$	$0,5(10^{-2}-10^{-1})$
Среднетрещиноватые, средневодопроницаемые	3,0-10,0	$10^{-1}-10$	$0,5(10^{-1}-10)$
Сильнотрещиноватые, сильноводопроницаемые	< 10,0	> 10	> 5

Блочность трещиноватых пород – V_6 или средний объем блоков, ограниченных трещинами:

$$V_6 = \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_3, \quad (2.4)$$

где $\overline{a_1}, \overline{a_2}, \overline{a_3}$ – средние расстояния между трещинами трех главных систем, ограничивающих блок.

Для оценки степени выветрелости пород определение блочности имеет большое значение, а для инженерно-геологических оценок этот показатель является основным при решении задач с учетом масштабного эффекта и коэффициента структурного ослабления. Сцепление в трещиноватом массиве пород можно определить по формуле Г.Л. Фисенко: $C_m = C_0 \lambda_{c.o}$, где C_0 – сцепление породы в монолитном образце; $\lambda_{c.o}$ – коэффициент структурного ослабления,

$$\lambda_{c.o} = \frac{1}{1 + b \ln \frac{H}{\sqrt[3]{V_6}}} \quad (2.5)$$

где b – коэффициент зависит от характера трещиноватости, прочности блока породы, $b = 4,0$; H – высота целика (средний размер зоны деформации) показывает однородность и изотропность массива, $H = 10$ м. Если $\lambda_{c.o} = n \times 0,1$ – породы монолитные, слаботрещиноватые; $\lambda_{c.o} = n \times 0,01$ (или $n \times 0,001$) – сильнотрещиноватые породы.

Цель работы:

1. Построить розу трещиноватости и точечную круговую диаграмму трещиноватости, определить количество систем трещин и охарактеризовать их положение в пространстве по преобладающему азимуту падения и углу падения.

2. Дать количественную оценку степени трещиноватости и водопроницаемости по таким показателям как коэффициент трещинной пустотности, коэффициент удельной трещиноватости, трещинная пустотность, блочность; коэффициент структурного ослабления.

4. Сделать вывод о степени трещиноватости и водопроницаемости массива горных пород.

Работа выполняется индивидуально каждым студентом (варианты заданий в приложении 1). О водопроницаемости можно судить по данным табл.2.1.

2.3. Оценка степени трещиноватости скальных пород по описанию трещин в керне и горных выработках (СП 446.1325800.2019, приложение П)

При бурении инженерно-геологических скважин с особой тщательностью выполняется их документация, ибо полученная информация во многом определяет дальнейшие исследования и надежность полученных результатов определения свойств горных пород. Для твердых и полутвердых пород проводят оценку трещиноватости и слоистости по керну, используя различные качественные показатели: 1) процент выхода керна (при прочих равных условиях – составе и свойствах пород, режиме бурения и др., чем более монолитны породы, тем выше выход керна); 2) модуль трещиноватости; 3) кусковатость керна; 4) показатель качества керна (RGD); 5) наблюдения за расходом промывочной жидкости и т.д.

В практике инженерно-геологических изысканий оценку качества керна часто проводят по показателю RGD (Пк). Это – показатель качества керна (rock quality designation), который дает возможность в первом приближении провести сравнительную оценку состояния трещиноватого массива.

$$P_k = \left[\left(\sum_1^n l_{10} \right) / L \right] \cdot 100, \quad (2.6)$$

где l_{10} – длина куска керна, если она больше 10 см; L- длина опробуемого интервала; n- число кусков длиной более 10 см.

При этом по показателю качества керна классифицируется:

- 1) очень хорошее качество керна (RGD = 90-100%);
- 2) хорошее (RGD = 75-90%);
- 3) удовлетворительное (RGD = 50-75%);
- 3) плохое (RGD = 25-50%);
- 4) очень плохое (RGD менее 25%).

В своде правил СП 446.1325800.2019 (Приложение П) скальные породы подразделяются по степени трещиноватости (табл.2.2). Например, если при описании керна видно, что трещины практически отсутствуют, то порода характеризуется как *практически не трещиноватая*, если выход керна мелкими обломками, плоскости ослабления менее чем через 0,1 м – *порода очень сильно трещиноватая* (разборная).

Таблица 2.2

Оценка степени трещиноватости скальных пород (СП 446.1325800.2019)

Степень трещиноватости скальных пород	Описание состояния керна	Описание трещин в горных выработках		
		Модуль трещиноватости	Коэффициент трещиноватости	Характер трещин
Практически не трещиноватые	Трещины практически отсутствуют	Менее 0,5	Менее 1	Единичные волосные и тонкие трещины шириной менее 1 мм
Слабо трещиноватые	Керн с плоскостями ослабления в среднем через 1-1,5 м	0,5-1,5	1-2	Волосные и тонкие трещины шириной менее 1 мм с единичными трещинами шириной 2 мм.
Средне трещиноватые	Керн с плоскостями ослабления в среднем через 0,5-1,0 м	5-10	2-5	Наряду с тонкими трещинами шириной до 1 мм (до 50%) встречаются мелкие трещины шириной от 2 до 5 мм и средние – шириной от 5 до 20 мм.
Сильно трещиноватые	Выход керна кусками с плоскостями ослабления в среднем через 0,1-0,5 м	10-30	5-10	Наряду с мелкими трещинами встречаются крупные трещины шириной от 20 до 100 мм (10%–20%)
Очень сильно трещиноватые (разборные)	Выход керна мелкими обломками, плоскости ослабления менее чем через 0,1 м	Более 30	Более 10	Наряду с мелкими и крупными присутствуют трещины шириной более 100 мм

Примечания:

1. *Плоскости ослабления* – зеркала скольжения, трещины, глинистые прослои и другие поверхности практически без сцепления.
2. *Модуль трещиноватости пород* – число трещин на 1 пог. м линии измерения, перпендикулярной главной (главным) системе трещин.
3. *Коэффициент трещиноватости пород* – величина трещиноватости горных пород, выраженная отношением объема трещин к объему всей породы, заключающей в себе эти трещины.

Задание 10. Оценка физического состояния скальных и полускальных пород по керну.

Цель работы: по керну оценить физическое состояние породы.

Алгоритм выполнения задания: По имеющемуся керновому материалу скальных пород определить показатели качества керна выделенного интервала (фото кернового материала выдает преподаватель) и оценить физическое состояние породы.

Рекомендательный библиографический список

1. *Абатурова И.В.* Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей / ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». Екатеринбург, 2011. 226 с.
2. *Ананьев В.П.* Инженерная геология: Учебник. 3-е изд. перераб. и испр. / В.П.Ананьев, А.Д.Потапов. М.: Высшая школа, 2005.
3. *Гальперин А.М.* Геология. Часть 3. Гидрогеология: Учебник / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, Г.Н. Харитоненко, Ю.А. Норватов. М.: Изд-во Мир горной науки, МГУ. Горная книга. 2009. 400 с.
4. *Гальперин А.М.* Геология. Часть 4. Инженерная геология: Учебник / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев. М.: Изд-во Мир горной науки, МГУ. Горная книга. 2011. 608 с.
5. *Иванов И.П.* Инженерная геология и гидрогеология. Л.: Изд-во ЛГИ, 1984.
6. *Иванов И.П.* Инженерно-геологические условия месторождений полезных ископаемых. Л.: Изд-во ЛГИ, 1982.
7. *Кирюхин В.А.* Общая гидрогеология: учебник/Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2008. - 287 с.
8. *Петров Н.С.* Общая гидрогеология: практикум / Н.С.Петров, А.А.Потапов; Санкт-Петербург. гос. горный ун-т. СПб, 1993, 65 с.

**Характеристика трещиноватости известняков на эталонных площадках
(горизонт 128 м)**

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
Вариант 1. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м									
92°	60°	12	1	18	17	5	25	0	165
85	62	11	2	45	23	2	-	0	140
90	57	16	1	70	38	8	-	1	20
88	58	14	3	97	40	6	-	2	32
92	60	13	4	140	63	12	-	1	50
95	63	12	2	170	10	10	-	2	10
89	58	15	3	200	2	8	-	3	25
87	59	12	4	233	25	15	-	2	30
91	60	14	5	232	260	65	14	2	35
93	61	13	3	233	265	67	13	3	65
95	57	15	6	232	270	70	14	4	95
97	60	12	2	232	262	68	14	1	125
87	61	12	1	231	268	66	13	5	160
85	63	15	3	210	262	65	13	3	190
92	59	12	4	183	264	67	14	2	215
90	62	15	2	150	258	65	11	4	230
95	60	10	1	126	262	63	12	3	232
88	61	13	2	96	268	64	13	2	233
87	58	13	3	70	270	65	15	5	232
91	64	-	4	35	262	62	13	2	231
120	54	-	2	28	264	60	13	1	233
60	70	-	1	40	267	63	14	6	200
55	68	-	1	25	260	65	16	2	165
115	73	-	2	20	265	67	11	4	140
22	2	25	0	200	263	66	15	5	105
18	4	30	0	188	269	64	15	3	70
20	3	25	0	180	268	67	10	2	40
22	5	20	0	190	272	63	-	3	15
24	1	15	0	195	222	50	-	1	25
26	2	20	0	200	210	52	-	2	38
18	3	25	0	185	185	57	-	1	60
17	4	15	0	175	280	75	-	2	15

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
Вариант 2. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м									
50	89	12	1	18	290	59	7	-	175
55	87	11	2	45	286	52	10	-	155
46	86	16	1	70	294	55	10	-	140
42	83	14	3	97	286	59	7	1	20
40	77	13	2	140	290	62	8	2	32
50	85	12	2	170	294	66	6	1	50
60	79	15	3	200	294	56	9	2	10
61	81	12	4	233	294	62	5	3	25
55	84	14	5	232	290	69	-	2	30
46	79	13	6	232	170	15	14	2	35
50	80	15	3	233	173	33	13	3	65
60	80	12	2	232	177	28	14	4	95
50	76	15	1	231	166	30	13	1	126
55	75	12	3	210	160	16	113	5	160
50	78	15	4	183	180	18	13	3	190
46	83	10	2	150	170	30	14	2	215
50	81	-	1	126	166	24	11	4	230
35	63	-	2	98	173	17	12	3	232
65	75	-	3	70	185	20	13	5	232
77	45	-	4	35	170	22	15	2	233
76	75	-	2	28	166	26	13	2	231
286	52	10	2	50	177	31	14	1	233
296	50	15	1	200	179	25	16	6	200
294	61	15	1	70	190	25	11	2	165
280	67	10	1	25	160	16	15	4	140
298	72	8	2	20	166	30	16	5	105
277	71	10	-	188	170	27	15	3	70
290	53	15	-	200	177	25	15	2	40
280	66	10	-	188	179	33	10	3	15
300	53	10	-	180	170	17	8	1	25
300	57	15	-	190	173	23	7	2	38
286	58	5	-	195	170	32	-	1	60
294	68	10	-	200	205	64	-	2	15
298	66	10	-	185	237	58	-	2	20

Продолжение прил.1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
Вариант 3. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м									
280°	67°	6	1	68	173	17	18	3	200
298	72	6	2	92	170	22	12	2	200
277	71	12	1	118	177	31	18	1	200
290	53	10	2	150	170	25	12	6	200
280	66	16	1	188	170	27	12	3	70
300	53	10	-	214	173	33	18	3	15
290	57	20	-	214	205	64	-	2	15
286	58	10	-	214	237	58	-	2	20
294	68	10	-	214	50	89	18	1	68
298	66	10	-	214	55	87	20	2	124
290	59	10	-	214	46	86	14	1	190
286	52	14	-	214	42	83	14	3	214
294	55	14	-	214	40	77	12	4	212
286	59	14	-	214	50	85	10	2	214
290	61	14	2	188	60	79	18	3	212
294	66	12	1	150	61	81	14	4	214
290	56	12	2	114	55	84	10	5	212
294	62	18	3	80	50	80	10	3	212
290	69	-	2	42	46	79	14	3	214
170	45	14	2	35	60	80	16	2	196
173	33	16	3	65	50	76	14	1	156
177	28	14	4	95	55	75	8	3	110
166	30	14	1	125	50	78	14	4	80
160	16	12	6	160	46	83	-	2	32
180	18	14	3	190	35	63	-	2	96
170	30	14	2	200	65	75	-	3	70
166	24	16	4	200	77	45	-	4	35
Вариант 4. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2,5 × 2,5 м									
270°	62°	7	1	68	85	63	15	3	210
288	67	7	2	92	92	59	12	4	183
267	66	13	1	118	90	62	15	2	150
280	48	11	2	150	95	60	10	1	126
270	61	17	1	188	88	61	13	2	96
290	48	11	2	214	87	58	13	3	70

Продолжение прил.1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
280	52	21	1	214	91	64	-	4	35
276	53	11	2	214	120	54	-	2	28
284	63	11	1	214	53	32	-	5	75
288	61	11	1	214	130	15	13	1	40
276	54	15	1	214	74	42	12	2	38
284	47	15	0	214	56	39	20	2	64
276	50	15	2	214	71	41	12	1	106
280	54	15	0	214	59	41	12	1	132
284	56	15	1	186	67	46	12	1	158
280	61	15	1	150	63	46	11	1	182
284	51	-	1	114	59	39	13	1	204
355	43	-	3	96	63	39	15	1	232
25	55	-	4	70	65	39	14	1	260
37	25	-	5	35	74	38	14	1	260
36	55	-	3	28	71	39	14	1	250
92	60	12	1	18	56	41	11	1	222
85	62	11	2	45	65	41	14	1	198
90	57	16	1	70	63	41	13	1	170
88	58	14	3	97	67	34	15	1	142
92	60	13	4	140	67	41	15	1	110
95	63	12	2	170	63	34	15	2	80
89	58	15	3	200	67	39	15	2	48
87	59	12	4	233	65	34	10	2	84
91	60	14	5	232	68	46	9	1	172
93	61	13	3	233	65	79	-	2	90
95	57	15	6	232	165	33	-	0	60
97	60	12	2	232	170	64	-	1	15
87	61	12	1	231	190	58	-	1	20

Вариант 5. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м

122	50	12	1	18	46	4	15	-	175
115	52	11	2	45	47	5	25	-	155
120	47	13	1	70	53	2	-	-	140
118	78	15	3	97	68	8	-	1	20
122	50	12	4	140	63	6	-	2	32
125	53	14	2	170	86	12	-	1	50

Продолжение прил.1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
119	48	14	3	200	28	10	-	2	10
117	49	16	4	233	122	8	-	3	25
121	50	13	5	232	25	15	-	2	30
123	57	12	3	233	230	75	14	2	35
125	47	15	6	232	235	77	13	3	65
127	50	16	2	232	240	80	14	4	95
117	51	14	1	231	232	78	14	1	125
115	53	13	3	210	238	76	13	5	160
122	49	10	4	183	232	75	13	3	190
120	52	12	2	150	234	77	14	2	215
125	50	13	1	126	228	75	11	4	230
118	51	10	2	96	232	73	12	3	232
117	48	15	3	70	238	74	13	2	233
121	54	15	4	35	240	75	15	5	232
120	44	14	2	28	232	72	13	2	231
119	58	13	1	40	234	70	14	1	233
121	52	13	2	50	237	73	16	6	200
117	42	13	1	70	230	75	11	2	165
115	53	13	1	25	235	77	15	4	140
125	51	-	2	20	233	76	15	5	105
52	2	25	-	200	239	74	15	3	70
48	4	30	-	188	238	77	11	2	40
50	3	25	-	180	242	73	13	3	15
52	5	20	-	190	236	60	14	1	25
54	1	15	-	195	240	72	12	2	38
56	2	20	-	200	243	67	15	1	60
48	3	25	-	185	235	70	-	2	30

Вариант 6. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2,5 × 2,5 м

80	79	10	2	18	320	49	6	2	140
85	77	9	4	45	316	42	9	1	20
76	76	14	3	70	324	45	9	1	32
72	73	21	2	97	316	49	6	1	50
70	67	11	1	140	320	52	7	2	10
80	75	10	2	170	324	56	5	2	25
90	69	13	4	200	320	46	8	3	30
91	71	10	3	233	324	52	4	1	25

Продолжение прил.1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
85	74	12	1	232	320	59	-	2	30
80	70	11	2	233	200	5	12	2	35
76	69	13	6	232	203	23	11	2	65
90	70	10	3	232	207	18	12	1	95
80	66	13	5	231	196	20	11	2	125
85	65	10	4	210	190	6	11	1	160
80	68	13	3	183	210	8	11	3	190
76	73	8	2	150	200	20	12	2	215
80	71	-	2	126	196	14	9	3	230
75	73	-	3	95	203	7	10	5	232
95	65	-	1	70	200	12	11	4	233
107	35	-	2	35	215	10	13	2	232
106	65	-	1	28	196	16	11	6	231
316	42	9	2	50	207	21	12	1	233
320	40	14	1	200	200	15	14	2	200
324	51	14	1	70	210	15	9	5	165
310	57	9	1	25	190	6	13	2	140
328	62	7	2	20	196	20	13	3	105
307	61	9	1	188	200	17	13	4	70
320	43	14	1	200	207	15	8	2	40
310	56	9	2	188	203	13	6	3	15
330	43	9	1	190	200	7	5	5	25
320	47	14	2	195	203	13	4	1	38
316	48	4	2	200	200	23	-	4	60
324	58	9	2	185	235	54	-	3	15
328	56	9	1	155	267	48	-	2	20

Вариант 7. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2,5 × 2,5 м

10	69	13	2	18	250	39	8	3	175
15	67	12	3	45	246	32	11	3	155
6	66	17	2	70	254	35	11	2	140
2	63	15	4	97	246	39	8	1	20
0	57	14	3	140	250	42	9	1	32
10	65	13	3	170	254	46	7	2	50
20	59	16	4	200	250	36	10	2	10
21	61	13	5	233	254	42	6	1	25
15	64	15	6	232	250	49	-	3	30

Продолжение прил. 1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
10	60	14	4	233	130	15	13	1	40
6	59	16	7	232	133	33	12	2	55
20	60	13	3	232	137	28	13	3	85
10	56	16	2	231	126	30	12	0	125
15	55	13	4	210	120	16	12	4	160
10	58	16	5	183	140	18	12	2	190
6	63	11	3	150	126	30	13	1	215
10	61	-	2	126	133	24	10	3	230
355	43	-	3	96	130	17	11	2	232
25	55	-	4	70	145	22	12	1	233
37	25	-	5	35	126	20	14	4	232
36	55	-	3	28	137	26	12	1	231
246	32	11	3	50	130	31	13	0	233
250	30	16	2	200	150	25	15	5	200
254	41	16	2	70	120	25	10	1	165
240	47	11	2	25	126	16	14	3	140
258	52	9	3	20	130	30	14	4	105
237	51	11	2	188	137	27	14	5	70
250	33	16	3	200	133	25	9	1	40
240	46	11	2	188	130	33	7	2	15
260	33	11	1	180	133	17	6	0	25
250	37	16	3	190	130	23	5	2	38
246	38	6	4	195	165	33	-	0	60
254	48	11	5	200	170	64	-	1	15
258	46	11	4	185	190	58	-	1	20

Вариант 8. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м

270°	62°	7	1	68	165	12	19	4	200
288	67	7	2	92	162	17	13	2	200
267	66	13	1	118	165	26	19	3	200
280	48	11	2	150	165	20	13	5	200
270	61	17	1	188	165	22	13	1	70
290	48	11	2	214	168	28	-	4	15
280	52	21	1	214	200	59	-	3	15
276	53	11	2	214	232	53	-	2	20
284	63	11	1	214	40	84	19	2	68
288	61	11	1	214	45	82	21	4	124

Продолжение прил. 1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
276	54	15	1	214	36	81	15	3	190
284	47	15	0	214	32	78	25	2	214
276	50	15	2	214	30	73	13	2	212
280	54	15	0	214	40	80	11	4	214
284	56	15	1	186	50	74	19	3	212
280	61	15	1	150	51	76	15	1	214
284	51	13	1	114	45	79	11	2	212
280	57	13	0	80	40	75	15	3	212
160	64	-	2	42	36	74	17	3	214
163	10	15	2	35	50	75	15	5	196
167	28	17	2	65	40	71	9	4	156
156	23	15	3	95	45	70	11	3	110
155	25	15	3	125	40	73	15	2	80
175	11	13	6	160	36	78	-	4	32
165	13	15	1	190	25	58	-	3	96
161	25	15	2	200	55	70	-	1	70
168	19	17	3	200	67	40	-	2	35

Вариант 9. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2 × 2 м

245	57	16	1	34	65	41	14	1	198
242	57	14	2	64	63	41	13	1	170
248	49	18	1	96	67	34	15	1	142
252	51	14	1	128	67	41	15	1	110
238	51	16	1	156	63	34	15	2	80
235	49	16	1	188	67	39	15	2	48
245	49	16	1	220	65	34	10	2	84
245	51	16	1	250	68	46	9	1	172
252	19	18	1	260	65	79	-	2	90
255	49	18	1	254	10	61	-	2	126
238	51	16	1	216	305	43	-	3	96
235	49	14	1	184	25	55	-	4	70
252	51	12	1	154	37	25	-	5	35
248	46	12	1	128	36	55	-	3	28
242	54	12	1	102	9	76	12	2	102
245	46	12	1	78	5	79	12	3	82
245	43	12	2	52	358	83	13	3	110
245	43	-	2	26	359	64	18	3	54

Продолжение прил.1

A	α	a, см	δ , мм	l, см	A	α	a, см	δ , мм	l, см
358	79	-	3	200	5	66	20	3	92
274	49	-	1	263	9	59	18	2	130
131	58	-	3	66	356	72	15	2	168
74	42	12	2	38	2	69	18	2	148
56	39	20	2	64	359	64	17	1	210
71	41	12	1	106	5	64	18	3	162
59	41	12	1	132	2	64	20	2	186
67	46	12	1	158	359	66	14	3	140
63	46	11	1	182	356	69	16	3	124
59	39	13	1	204	2	66	17	2	130
63	39	15	1	232	359	69	12	2	100
65	39	14	1	260	2	72	16	2	100
74	38	14	1	260	359	72	18	1	75
71	39	14	1	250	2	72	12	2	40
56	41	11	1	222	1	83	-	2	32

Вариант 10. Известняк слоистый, трещиноватый. Размеры площадки 2,5 × 2,5 м

173	33	13	3	65	61	81	14	4	214
177	28	14	4	95	55	84	10	5	212
166	30	13	1	126	40	86	10	2	32
160	16	113	5	160	50	80	-	3	212
180	18	13	3	190	33	6	-	2	32
170	30	14	2	215	63	12	-	1	50
166	24	11	4	230	10	10	-	2	10
173	17	12	3	232	2	8	-	3	25
185	20	13	5	232	25	15	-	2	30
170	22	15	2	233	260	65	14	2	35
166	26	13	2	231	265	67	13	3	65
177	31	14	1	233	270	70	14	4	95
179	25	16	6	200	262	68	14	1	125
190	25	11	2	165	268	66	13	5	160
160	16	15	4	140	262	65	13	3	190
166	30	16	5	105	264	67	14	2	215
170	27	15	3	70	258	65	11	4	230
177	25	15	2	40	262	63	12	3	232
179	33	10	3	15	268	64	13	2	233
170	17	8	1	25	270	65	15	5	232

Окончание прил.1

A	α	a , см	δ , мм	l , см	A	α	a , см	δ , мм	l , см
173	23	7	2	38	262	62	13	2	231
170	32	-	1	60	264	60	13	1	233
70	72	-	2	50	267	63	14	6	200
110	52	-	1	70	260	65	16	2	165
55	68	-	1	25	265	67	11	4	140
115	73	-	2	20	263	66	15	5	105
50	89	18	1	68	269	64	15	3	70
55	87	20	2	124	268	67	10	2	40
46	86	14	1	190	272	63	-	3	15
42	83	14	3	214	222	50	-	1	25
40	77	12	4	212	210	52	-	2	38
50	85	10	2	214	185	57	-	1	60
60	79	18	3	212	280	75	-	2	15

СОДЕРЖАНИЕ

Организация практических занятий и виды заданий	3
1. Оценка инженерно-геологических условий строительства шахтного ствола	4
1.1. Инженерно-геологические условия месторождения	4
1.2. Оценка инженерно-геологических условий проходки шахтного ствола	13
1.3. Прогноз изменения природных условий в результате строительства шахты	34
2. Оценка трещиноватости горных пород	39
2.1 Общие сведения о трещиноватости	39
2.2 Документация трещин на обнажении	40
2.3 Оценка степени трещиноватости скальных пород по описанию трещин в керне и горных выработках (СП 446.1325800.2019, приложение П)	45
Рекомендательный библиографический список	47
Приложение 1	48

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *Л.П. Норова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
гидрогеологии и инженерной геологии

Ответственный за выпуск *Л.П. Норова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 20.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,4. Усл.кр.-отт. 3,4. Уч.-изд.л. 3,0. Тираж 50 экз. Заказ 1147.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2