

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Донецкий национальный технический университет»
Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических и самостоятельных
работ по дисциплине
«Прикладная механика»
для студентов специальности
21.05.04 «Горное дело»

Рекомендованы
на заседании кафедры
«Разработка месторождений
полезных ископаемых».
Протокол № 1 от 28.08.2019 г.

УДК 622.02.28.83

Методические указания к проведению практических и самостоятельных работ по дисциплине «Прикладная механика» (для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело») / сост.: А. О. Новиков, Ю. А. Петренко — Донецк: ДонНТУ. – 2019. – 62 с.

Подготовлено согласно с учебной программой нормативной дисциплины «Прикладная механика» и образовательно-профессиональной программы высшего профессионального образования Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики по профессиональному направлению «Горное дело».

Приведены задания и методика выполнения практических работ, а также ряд аспектов, которые выносятся на экзамен по данной дисциплине.

Практические занятия проводятся с использованием активных методов обучения, в основном – анализируя производственные ситуации.

Данные методические указания могут быть использованы на практических занятиях студентами всех горных специальностей.

Составители

проф. А. О. Новиков
проф. Ю. А. Петренко

Ответственный за выпуск

проф. Н. Н. Касьян

Оглавление

<i>Практическая работа № 1.</i> Выбор месторасположения выработки относительно вмещающих пород. Расчет средневзвешенной прочности	5
<i>Практическая работа № 2.</i> Оценка напряженного состояния ненарушенного горного массива	15
<i>Практическая работа № 3.</i> Оценка устойчивости горных выработок	23
<i>Практическая работа № 4.</i> Расчет нагрузки на крепь по теориям заданной нагрузки	33
<i>Практическая работа № 5.</i> Расчет нагрузки на крепь по теориям заданной деформации	38
<i>Практическая работа № 6.</i> Расчет горного давления по нормативной методике	41
<i>Практическая работа № 7.</i> Расчет нагрузки на крепь вертикальных и наклонных выработок	45
<i>Практическая работа № 8.</i> Расчет параметров способов управления горным давлением	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	52
Приложение А	53
Приложение Б	58
Приложение В	60

Практическая работа № 1. Выбор месторасположения выработки относительно вмещающих пород. Расчет средневзвешенной прочности¹

Цель: изучение метода расчёта средней прочности горных пород, вмещающих выработку, определение типа кровли и почвы пласта.

Исходные данные: тип выработки; глубина расположения выработки H ; ширина B и высота h выработки в проходке; расположение выработки относительно пласта угля; предел прочности угля и вмещающих пород в образце на одноосное сжатие R_i , их литологический состав и мощность m_i ; данные об обводненности и нарушенности угольного пласта и вмещающих горных пород; срок службы выработки t , угол падения пласта α .

Ход работы

В предлагаемых вариантах расположения выработки относительно пласта может быть любым, но оно должно быть целесообразным и обоснованным. При этом необходимо учитывать следующие моменты:

1. При наличии в кровле пласта прочного известняка или песчаника мощностью более $0,6 \div 1$ м целесообразно не трогать кровлю, предусматривать только нижнюю подрывку в выработке и принимать крепь трапециевидной формы.

2. При прохождении выработки по слоистым породам различной прочности её необходимо располагать так, чтобы слой более слабых пород располагался в боках выработки, а не в подошве (почве) или в её кровле.

¹ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю. Пример расчета параметров в приложении А.

3. При отработке обводнённых пластов столбами по простиранию вентиляционные штреки следует проводить вприсечку к выработанному пространству с верхней подрывкой боковых пород, а конвейерные – с нижней подрывкой.

4. При проведении выработки по более прочным породам её устойчивость выше, чем при проведении по слабым породам. Затраты на поддержание в первом случае будут меньше, но на проведение – больше, чем во втором. Что выгоднее решается путём технико-экономического сравнения.

5. Полевые выработки, как правило, необходимо располагать под пластом, а не над ним, так как надработка оказывает меньшее вредное влияние, чем подработка на полевые выработки.

6. Предварительная надработка выработок предпочтительнее последующей.

7. Для сохранения зоны разгрузки у разгрузочной лавы необходимо оставлять барьерные целики или при отработке разгрузочной лавы по её концам возводить специальные бутовые полосы. В противном случае по мере развития очистных работ, зона разгрузки исчезнет, и смещения на контуре выработки резко активизируются (возрастут).

В предлагаемых способах охраны выработок возможно изменение способа их проведения. Проведение выработок комбайнами позволяет уменьшить переборы породы, получить более ровный контур обнажения, уменьшить трещиноватость пород. Все это приводит к повышению её устойчивости по сравнению с проведением БВР. При выборе способа проведения выработки необходимо учитывать характеристику и область применения проходческих комбайнов.

Величина сечения горной выработки в шахтном варианте охраны принимается указанная в бланке задания. В предлагаемых вариантах необходимо определить минимально допустимую величину с учётом рассчитанных смещений, габаритов транспортных средств и зазоров, допустимых ПБ.

Для определения минимально допустимого сечения выработки по условиям транспорта необходимо исходить из назначения выработки, типа основного и вспомогательного транспорта.

Например, в откаточном штреке в качестве основного транспорта принят ленточный конвейер, вспомогательного – рельсовый транспорт. Учитывая размеры зазоров в соответствии с требованиями ПБ, необходимо определить ширину выработки в свету крепи (рис. 1.1) по формуле

$$B = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5, \quad (1.1)$$

Где a_1, a_3, a_5 – размеры зазоров в соответствии с требованиями ПБ, м;
 a_2 – ширина ленточного конвейера по наиболее выступающим частям, м;
 a_4 – ширина вагонетки, дизелевоза или контейнера монорельсовой дороги, м.

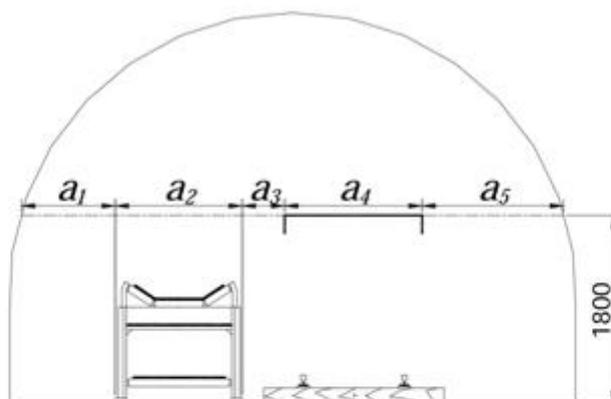


Рисунок 1.1 – Схема к определению ширины выработки.

Зная ширину выработки, можно определить размер поперечного сечения в свету после осадки.

При выборе типа крепи необходимо учитывать следующее. Серийно выпускаются крепи АПЗ (а), КМП-АЗПС (б), АП5 (в), КШПП (г), КПО (д) (рис. 1.2).

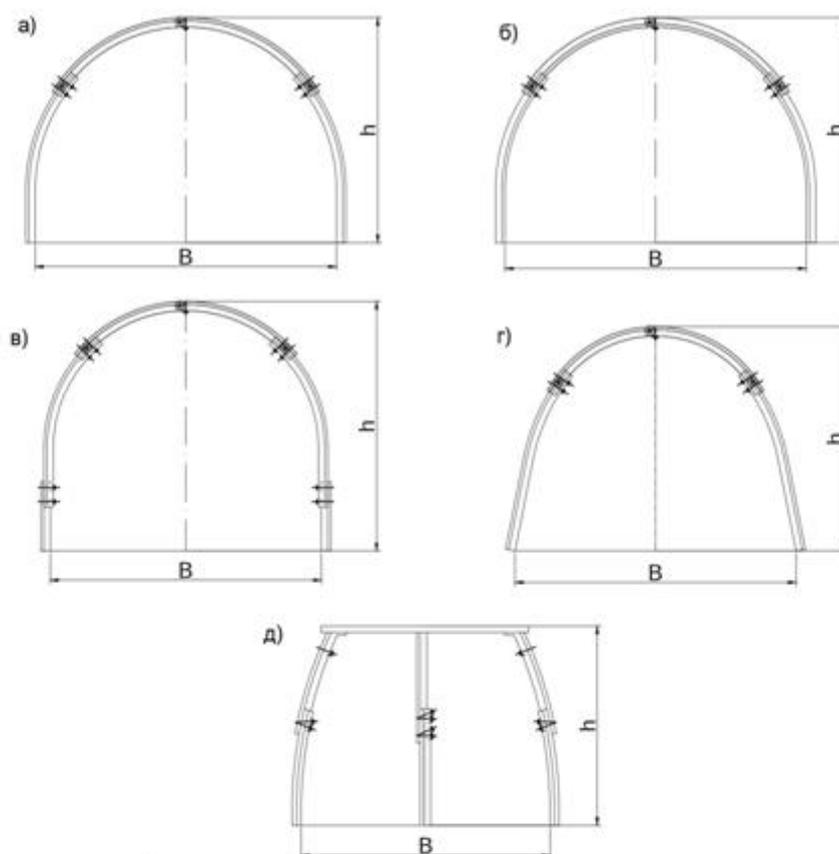


Рисунок 1.2 – Конструкция металлической рамной крепи.

ДонУГИ разработаны крепи нового технического уровня КМП-А5У, КМП-А4Ц, КМП-А4Ш, КМП-К6 (рис 1.3)

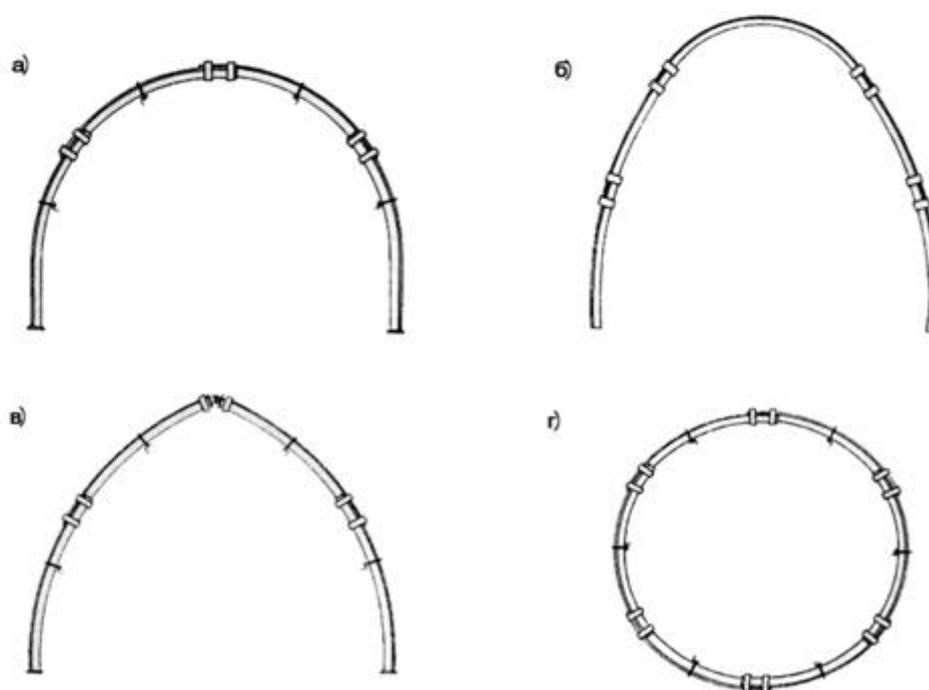


Рисунок 1.3 – Крепи нового технического уровня: а) КМП-А4Ц, б) КМП-А5У, в) КМП-А4Ш, г) КМП-К6).

Крепи типа АПЗ, КМП-АЗПС, АП5, КШПП и КМП предназначены для выработок со сводчатым обнажением кровли, а типа КПО – с трапецевидной формой поперечного сечения при прочных породах кровли, подрывка которых нецелесообразна (известняки, песчаники).

Крепи типа АПЗ и КМП-АЗПС предназначены для выработок с ожидаемыми смещениями пород кровли до 500 мм. Крезь КМП-АЗПС отличается от крепи АПЗ тем, что у неё профиль элементов крепи открытой стороной направлен в сторону выработки, а также конструкцией замков (см. рис. 1.4).

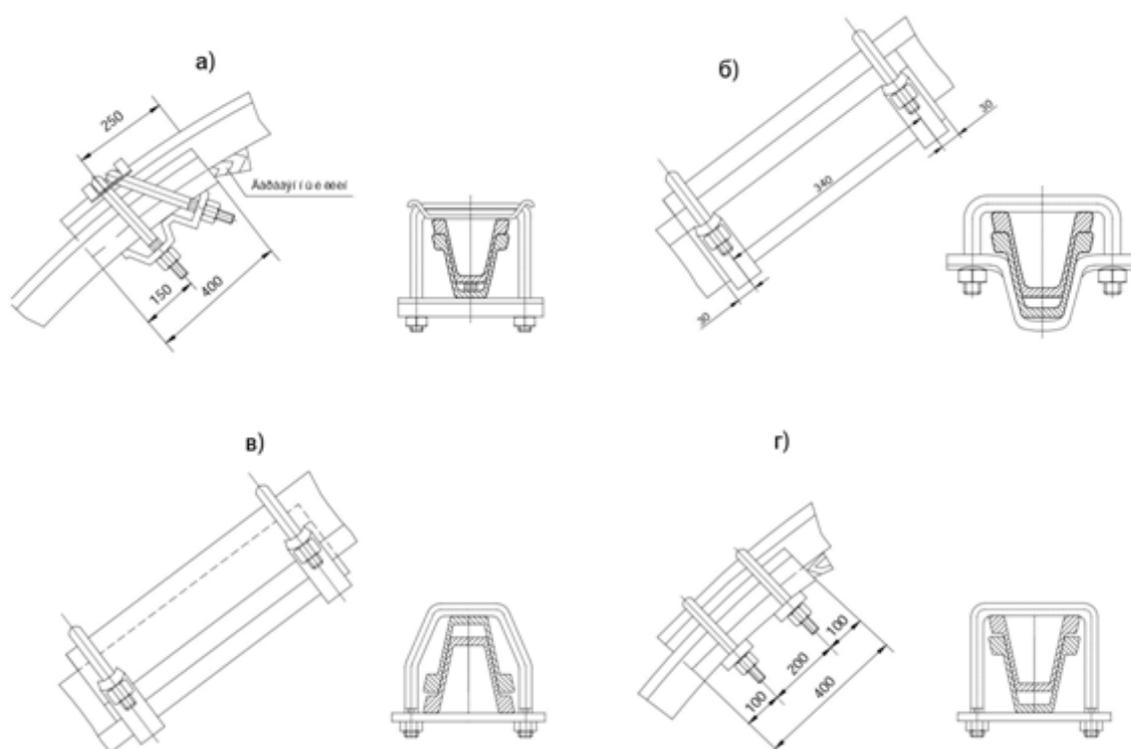


Рисунок 1.4 – Соединение элементов крепи с помощью болтовых замков:
а) ЗСД; б) ЗПК; КМП-АЗПС.030; г) АПЗ.030.

Крезь АП5 предназначена для выработок с ожидаемыми вертикальными смещениями пород кровли, превышающими 400 мм.

Крезь КШПП предназначена для участковых выработок, пройденных в неустойчивых породах, с ожидаемыми вертикальными смещениями пород кровли до 300 мм, а почвы – до 500 мм.

Крезь КПО предназначена для участковых выработок при наличии в кровле пласта прочных пород, подрывать которые нецелесообразно (песчаники,

известняки). При ожидаемых смещениях до 500 мм среднюю стойку можно не устанавливать, при смещениях более 500 мм – рама устанавливается в полной комплектации, т.е. со средней стойкой.

Рамы соединяются между собой металлическими стяжками длиной 500, 650, 800, 1000 и 1250 мм. При этом плотность установки крепи составляет соответственно 2; 1,5; 1,25; 1,0 и 0,8 рам/м.

Характеристики серийно выпускаемых крепей приведены в приложении А.

Крепи нового технического уровня применяются в следующих условиях.

КМП-А4Э – податливая четырёхзвенная эллипсообразная крепь для выработок со значительными вертикальными (до 700 мм) и горизонтальными (до 500 мм) смещениями пород; рабочее сопротивление 300 кН.

КМП-А5У – арочная пятизвенная удлинённая, смещения пород до 1500 мм по вертикали и 500 мм по горизонтали, рабочее сопротивление 400 кН.

КМП-А4Ц – арочная четырёхзвенная циркулярная для выработок со смещениями до 1000 мм по вертикали, в том числе до 500 мм кровли; рабочее сопротивление 300 кН.

КМП-А4Ш – арочная шарнирная четырёхзвенная, податливость до 1000 мм; рабочее сопротивление 400 кН.

КМП-К6 – податливая кольцевая шестизвенная крепь, податливость до 800 мм; сопротивление 600 – 700 кН.

Определение физико-механических свойств горных пород и условий поддержания выработок

Рассчитывается средняя прочность пород на одноосное сжатие по формуле:

$$R_c = \frac{\sum R_k \cdot m_k + \sum R_{\Pi} \cdot m_{\Pi}}{\sum m_k + \sum m_{\Pi}}, \quad (1.2)$$

где R_k, R_{Π} – прочность пород кровли и почвы выработки, соответственно, МПа.

Прочность пород кровли R_k и почвы R_{II} рассчитываются по формуле:

$$R = \frac{\sum k_c \cdot k_w \cdot R_i \cdot m_i}{\sum m_i}, \quad (1.3)$$

где R_i – прочность i -того слоя породы при одноосном сжатии в куске (образце), МПа;

m_i – мощность данного слоя породы в пределах расчётной схемы и вдоль расчётной линии, м. При этом учитываются все слои пород и угольные пласты, пересекаемые выработкой, а также попадающие в область, ограниченную линиями, проходящими от контура выработки на расстоянии в кровле равном $1,5 \cdot B$, в почве – $1,0 \cdot B$ и в боках – $1,0 \cdot h$. B и h – соответственно ширина и высота выработки в проходке.

k_c – коэффициент структурного ослабления горных пород, ед., принимается в зависимости от интенсивности нарушенности по таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значение коэффициента k_c .

Для пород с $R > 30$ МПа	
Выход керна с расстоянием между разломами, м	k_c
Более 1,0	0,9
0,5 – 1,0	0,8
0,3 – 0,5	0,6
0,1 – 0,3	0,4
Обломки и мелочь до 0,1	0,2
Для пород с $R < 30$ МПа	
Характеристика места расположения выработки	k_c
Вне пликативных нарушений с радиусом меньше 300 м и вне зоны дизъюнктивных нарушений на расстоянии от них более 4 нормальных амплитуд нарушений	0,9
В пликативном нарушении с радиусом меньше 300 м или в зоне влияния дизъюнктивного нарушения на расстоянии от него от 1 до 4 нормальных амплитуд нарушения	0,6
Непосредственно в дизъюнктивном нарушении на расстоянии от него до 1 нормальной амплитуды	0,3

При отсутствии данных по делению керна из разведочных скважин значение k_c принимается в указанных в таблицах пределах. При этом более прочным, монолитным породам соответствует большее значение.

Ориентировочно можно принимать значение коэффициента k_c :

- известняк – 0,95;
- песчаник – 0,9;
- песчаный сланец – 0,8;
- глинистый сланец – 0,7;
- уголь – 0,9;
- при проведении выработки по обрушенным и уплотнённым породам, для обрушенных пород – 0,5.

k_w - коэффициент, учитывающий обводнённость пород. При длительном контакте пород с водой (более 5 – 10 лет: затопление выработки, перепуск по ней воды, капёж из кровли с притоком воды более 2 м³/час), ориентировочно можно принимать коэффициенты: песчаник – 0,8; песчаный сланец – 0,6; глинистый сланец – 0,5; в остальных случаях равен – 1,0.

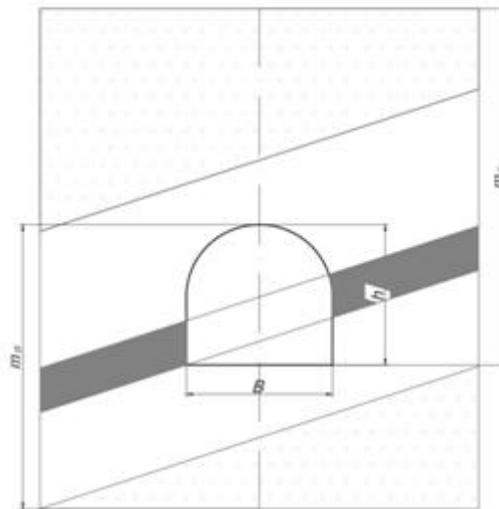


Рисунок 1.5 – Схема к определению средневзвешенной прочности пород.

При расчёте прочности пород кровли учитываются слои пород и пласты угля, начиная от подошвы выработки, а при расчёте прочности почвы – начиная от кровли выработки.

Когда значения прочности кровли и почвы отличаются более чем на 30%, расчёты смещений пород кровли и почвы производят отдельно по соответствующим значениям R_k и $R_{п}$. Если значения отличаются менее чем на 30%, то можно рассчитывать смещения по средневзвешенной прочности пород на контуре выработки.

В этом же подразделе определяют класс непосредственной кровли по устойчивости (таблица 1.2) и основной кровли по обрушаемости (таблица 1.3).

Таблица 1.2 – Характеристика непосредственной кровли.

Класс непосредственной кровли по устойчивости	Состав и характеристика пород непосредственной кровли
Устойчивая	Песчаники, известняки, алевролиты ($R > 60$ МПа). Керн с расстояниями между гладкими поверхностями без сцепления и с малой связностью более 1,0 м.
Средней устойчивости	Алевролиты и аргиллиты (R от 30 до 60 МПа). Керн с расстояниями между гладкими поверхностями без сцепления и с малой связностью от 0,5 до 1,0 м.
Неустойчивая	Слоистые трещиноватые алевролиты и аргиллиты ($R < 30$ МПа). Керн в виде столбиков с расстояниями между гладкими поверхностями без сцепления и с малой связностью менее 0,5 м.
Весьма неустойчивая	Тонкослоистые, сильно трещиноватые аргиллиты ($R < 30$ МПа). Керн в виде кусков и мелочи.

Таблица 1.3 – Характеристика основной кровли.

Класс основной кровли по обрушаемости	Состав и характеристика пород основной кровли
Легкообрушающаяся	Однородная кровля из слоистых аргиллитов и алевролитов общей мощностью более 6-7 m (m – мощность пласта), R до 40 МПа, керн в виде столбиков и кусков с расстоянием между гладкими поверхностями без сцепления с малой связностью до 0,3 м. Слоистые глины и слабосвязанные пески
Среднеобрушающаяся	Однородная кровля из аргиллитов, алевролитов и слоистых песчаников общей мощностью более 6-7 m , R от 40 до 80 МПа, керн с расстоянием между поверхностями без сцепления и с малой связностью от 0,3 до 1 м. Неоднородная кровля: над пластом мощностью до (3÷4) m залегают слоистые аргиллиты и алевролиты, а выше – алевролиты, песчаники и известняки мощностью более 2 м с R более 80 МПа, керн с расстоянием между поверхностями без сцепления и с малой связностью до 1,5 м
Труднообрушающаяся	Над пластом на расстоянии от него менее (3÷4) m залегают массивные песчаники, известняки и алевролиты общей мощностью более 2 м с R более 80 МПа. Керн с расстоянием между поверхностями без сцепления или с малой связностью более 1,5 м

Степень пучения пород почвы в выработках, примыкающих к очистному забою, можно ориентировочно определить по таблице 1.4 в зависимости от коэффициента пучения K_{II} :

$$K_{II} = \frac{H_p}{R_{II}} \quad (1.4)$$

где H_p – расчётная глубина расположения выработки (в случае наклонной выработки берётся минимальное и максимальное значения), м.

Таблица 1.4 – Классификация пород почвы в участковых выработках.

Тип выработки	Значение K_{II}			
	Непучащие	Слабо пучащие	Пучащие	Сильно пучащие
Погашаемые за лавой	до 20	20÷25	25÷30	30÷35
Поддерживаемые для повторного использования	до 15	15÷20	20÷25	более 25
Присечные	до 25	25÷30	30÷35	35÷40
Проводимые за лавой	до 30	30÷40	40÷45	Более 45

В случае, когда в рассматриваемых вариантах охрана горной выработки принято различное расположение относительно пласта и вмещающих пород, прочность вмещающих пород и степень пучения пород почвы определяется для каждого варианта отдельно.

Практическая работа № 2. Оценка напряженного состояния ненарушенного горного массива²

Цель: изучение методики определения типа напряжённого состояния массива горных пород, типа напряжённо-деформированного состояния горных пород после проведения выработки и установления необходимости возведения постоянной крепи в выработке.

Исходные данные: на шахте Донбасса планируется провести в однородном песчаном сланце с $f = 6$ на глубине 800 м полевой штрек. Влияние очистных работ отсутствует. Породы не обводнены, не склонны к ползучести и релаксации напряжений. Тектонические и термические напряжения отсутствуют.

Устойчивость подготавливаемой горной выработки, не подверженной влиянию очистных работ, зависит, прежде всего, от величины напряжения в нетронутом массиве горных пород, прочностных свойств горных пород, характеристики крепи, технологии и качества проведения и крепления выработки.

Ход работы

Необходимо установить тип напряжённого состояния нетронутого массива горных пород. Определить тип напряжённо-деформированного состояния горных пород после проведения горной выработки. Для этого необходимо определить величину концентрации напряжения на контуре выработки и сопоставить с пределами длительной R_∞ и мгновенной прочности R_0 пород.

В зависимости от типа напряжённо-деформированного состояния вмещающих горных пород решить вопрос в необходимости возведения

² Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

постоянной крепи и возможности возведения её с отставанием от забоя выработки.

Исследовать влияние трещиноватости горных пород и глубины расположения выработки на тип напряжённо-деформированного состояния вмещающих горных пород и необходимость возведения постоянной крепи в выработке.

Решение

Предел мгновенной прочности породы на одноосное сжатие определяется из соотношения

$$R_0^{\text{сжк}} = 10f$$

В данном случае $R_0^{\text{сжк}} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ МПа}$.

В зависимости от физико-механических свойств горных пород и характера их нагружения выделяют пять типов напряжённого состояния нетронутого массива горных пород. Они рассматривались на лекциях.

Согласно исходным данным песчаный сланец, в котором проводится полевой штрек, однородный, прочный, не склонен к ползучести и релаксации напряжений, т.е. его можно отнести к упругим. Термические и тектонические напряжения отсутствуют. Рельеф поверхности равнинный. Напряжённое состояние массива горных пород определяется гравитационными силами. Исходя из сказанного, делаем вывод о том, что в данном случае имеет место II тип напряжённого состояния массива горных пород.

Тогда величина нормальных напряжений определяется по уравнениям

$$\sigma_z = \gamma H$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \lambda \gamma H = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H$$

Средний объёмный вес вышележащей толщи горных пород $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$. Согласно условиям $H = 800 \text{ м}$. Значение коэффициента Пуассона μ для горных пород и углей изменяется от 0,1 до 0,5.

Для условий Донецкого угольного бассейна приводятся следующие обобщённые значения μ :

алевролиты	0,16...0,34
песчаники	0,13...0,50
сланцы глинистые	0,15...0,2
аргиллиты	0,20...0,25

Принимаем для песчаного сланца $\mu = 0,2$.

Тогда $\sigma_z = 25 \text{ кН/м}^3 \cdot 800 \text{ м} = 20000 \text{ кН/м}^2 = 20 \text{ МПа}$.

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{0,2}{1 - 0,2} 25000 \cdot 800 = 5000 \text{ кН/м}^2 = 5 \text{ МПа}.$$

Согласно аналитическим решениям академика А.Н. Динника, А.Б. Моргаевского и Г.Н. Савина в упругих, изотропных породах при $\mu = 0,2$ в результате нарушения равновесного состояния пород в боках выработки круглого сечения после ее проведения возникают сжимающие напряжения с коэффициентом концентрации $K = 2,75$, а в кровле и почве - растягивающие напряжения с $K = -0,25$. Распределение напряжений представлено на рисунке 2.1.

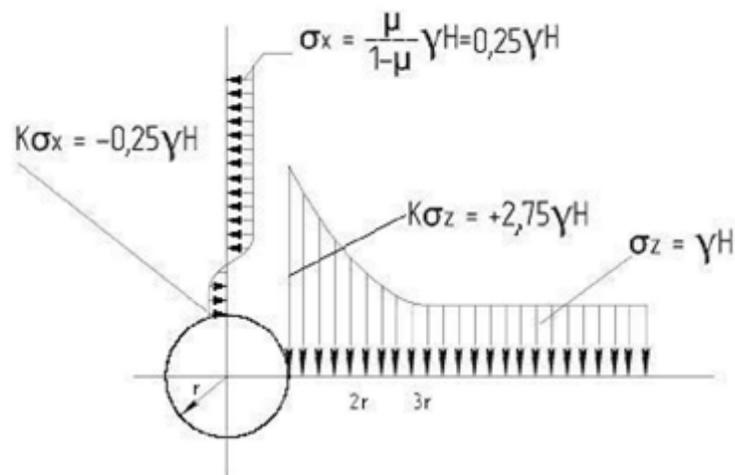


Рисунок 2.1. – Распределение нормальных напряжений по контуру выработки, пройденной в однородных, изотропных породах с $\mu = 0,2$ ($\lambda = 0,25$)

Максимальные сжимающие напряжения в боках выработки

$$K \cdot \sigma_x = 2,75 \cdot (25 \cdot 10^3) \cdot 800 = 55000 \text{ кН/м}^2 = 55 \text{ МПа.}$$

Максимальные растягивающие нормальные напряжения в кровле и почве выработки

$$K \cdot \sigma_x = -0,25 \cdot (25 \cdot 10^3) \cdot 800 = -5000 \text{ кН/м}^2 = -5 \text{ МПа.}$$

Здесь знак "-" указывает на то, что напряжения растягивающие.

Согласно заданию горные породы монолитны и не обводнены. Поэтому коэффициент структурного ослабления K_c и коэффициент, учитывающий обводненность пород K_w , равны 1,0.

Предел прочности горных пород на растяжение связан с пределом прочности на сжатие следующим образом $R^p = (0,1 \dots 0,2)R^{сж}$.

Принимаем для расчётов худший случай, а именно:

$$R^p = 0,1R^{сж} = 0,1 \cdot 60 = 6 \text{ МПа.}$$

Для осадочных горных пород $R_{\infty}^{сж} = (0,5 \dots 0,8)R_0^{сж}$.

Принимаем $R_{\infty}^{сж} = 0,7R_0^{сж}$ и $R_{\infty}^p = 0,7R_0^p$.

То есть, $R_{\infty}^{сж} = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ МПа}$ и $R_{\infty}^p = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ МПа}$.

Сопоставим величину напряжений, возникающих в горных породах на контуре выработки после её проведения, с пределами прочности пород.

Для сжимающих напряжений:

$$(R_{\infty}^{сж} = 42) < (K \cdot \sigma_z^{сж} = 55) < (R_0^{сж} = 60).$$

Для растягивающих напряжений:

$$(R_{\infty}^p = 4,2) < (K \cdot \sigma_x^p = 5) < (R_0^p = 6).$$

Таким образом, при $K_c = 1$ имеет место II тип напряжённо-деформируемого состояния пород вокруг полевого штрека. Поэтому необходимо возводить

постоянную крепь. Но её можно возводить спустя время t_i определяемое по рисунку 2.2. Во избежание травматизма рабочих в результате вывалов породы штрек должен быть закреплён от забоя до места возведения постоянной крепи временной крепью.

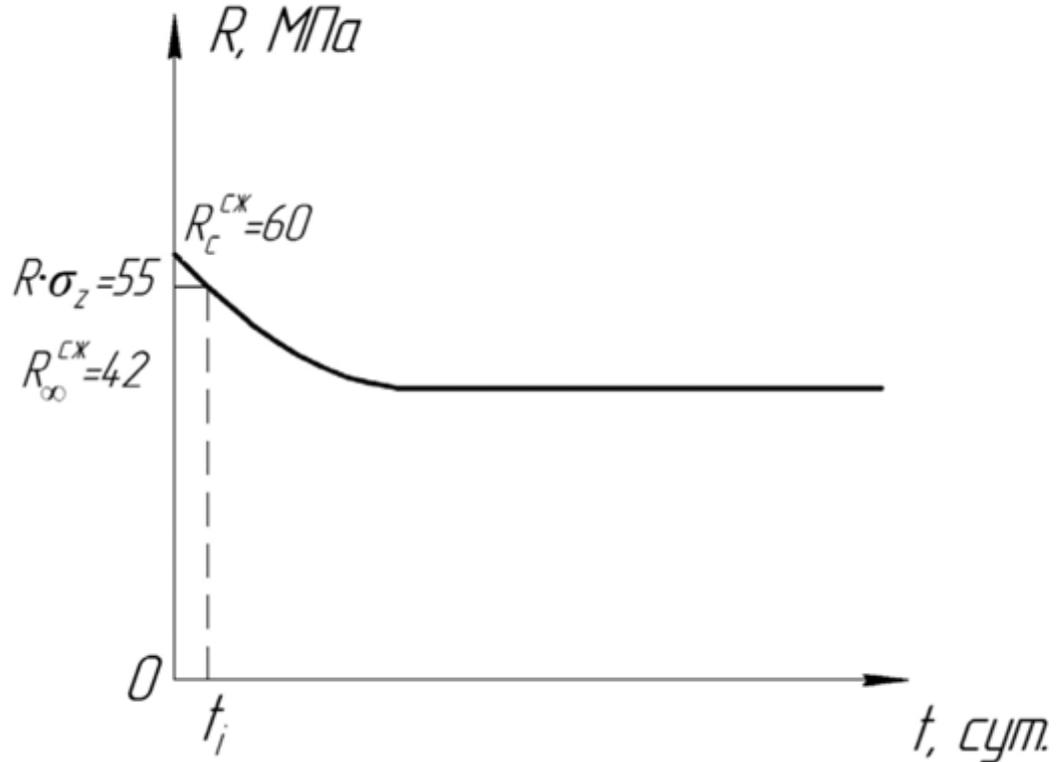


Рисунок 2.2 – График длительной прочности горной породы при сжатии.

Так как значение $K \cdot \sigma_z$ близко к значению $R_0^{сж}$, то t_i будет малым. Для того чтобы получить конкретное значение t_i , необходимо иметь реальный график длительной прочности для горных пород, вмещающих выработку.

В реальных условиях горные породы не бывают монолитными и изотропными. Посмотрим, как влияет трещиноватость на полученные результаты.

При делении керна на куски длиной 0,7 – 0,8 м $K_c = 0,8$

Тогда предел прочности трещиноватых пород R равен $R = R \cdot K_c$

$$R_0'^{сж} = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ МПа};$$

$$R_\infty'^{сж} = 0,8 \cdot 42 = 33,6 \text{ МПа.}$$

$$R_0'^p = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ МПа};$$

$$R_\infty'^p = 0,8 \cdot 4,2 = 3,36 \text{ МПа.}$$

Делаем допущение, что наличие трещин в породах приводит лишь к снижению их прочности и не влияет на характер распределения и величину коэффициента концентрации напряжений на контуре выработки после её проведения.

$$\text{Тогда } (K \cdot \sigma_z^{\text{сж}} = 55) > (R_0^{\text{сж}} = 48) \quad \text{и} \quad (K \cdot \sigma_z^{\text{р}} = 5) > (R_0^{\text{р}} = 4,8).$$

То есть, имеет место III тип напряжённо-деформированного состояния пород. Поэтому постоянную крепь необходимо возводить сразу же в забое штрека после взятия заходки.

Чаще всего горные выработки проводятся не в монолитных и однородных породах, а в слоистой среде и пересекают породы различной прочности. В этом случае могут иметь место по различным соотношениям различные типы напряжённо-деформированного состояния. Например, по сжимающим напряжениям II тип, а по растягивающим – III. В этом случае состояние выработки оценивается по более тяжёлому типу. В данном случае – по III. В этом примере не рассматриваются дополнительные мероприятия, направленные на повышение устойчивости горной выработки. Могут быть решены и обратные задачи для тех же условий примера.

Обратная задача 1. При какой глубине расположения полевого штрека его можно не крепить постоянной крепью?

Решение

Без постоянной крепи можно обойтись при I типе напряжённо-деформированного состояния горных пород на контуре выработки, то есть при $K\gamma H < R_\infty$.

Для краткости изложения рассмотрим только соотношение напряжения и предела прочности на сжатие.

$$R_0^{\text{сж}} = 60 \text{ МПа}, \quad R_\infty^{\text{сж}} = 0,7 \cdot R_0^{\text{сж}} = 42 \text{ МПа}, \quad H \leq \frac{R_\infty^{\text{сж}}}{K\gamma}$$

$$\text{При } K_c = 1 \quad H \leq \frac{42000 \text{ кН/м}^2}{2,75 \cdot 25 \text{ кН/м}^3} \quad H \leq 610 \text{ м.}$$

$$\text{При } K_c = 0,8 \quad H \leq \frac{0,8 \cdot 42000 \text{кН/м}^2}{2,75 \cdot 25 \text{кН/м}^3} \quad H \leq 489 \text{м.}$$

То есть при $H < 489$ м.

Обратная задача 2. При какой прочности пород на глубине $H = 800$ м штрек можно не крепить постоянной крепью?

Решение

Условие остаётся тем же, что и в обратной задаче I, а именно:

$$R_{\infty}^{\text{СЖ}} > K\gamma H$$

Считаем, что и при $K_c = 1$ и при $K_c = 0,8$ $K\gamma H = 55$ МПа.

$$\text{Но при } K_c = 1 \quad R_{\infty}^{\text{СЖ}} = 0,7 R_0^{\text{СЖ}}.$$

$$\text{А при } K_c = 0,8 \quad R_{\infty}^{\text{СЖ}} = R_{\infty}^{\text{СЖ}} \cdot K_c = 0,7 \cdot 0,8 \cdot R_0^{\text{СЖ}}.$$

$$\text{При } K_c = 1 \quad R_0^{\text{СЖ}} = \frac{R_{\infty}^{\text{СЖ}}}{0,7}.$$

$$\text{А при } K_c = 0,8 \quad R_0^{\text{СЖ}} = \frac{R_{\infty}^{\text{СЖ}}}{0,7 \cdot 0,8}.$$

Без постоянной крепи можно обойтись при $K_c = 1$ в случае выполнения условия $K\gamma H = 55$ МПа $\leq R_{\infty}^{\text{СЖ}}$, т.е. при $R_0^{\text{СЖ}} \geq \frac{55}{0,7} \geq 78,6$ МПа.

$$\text{А при } K_c = 0,8 \quad R_0^{\text{СЖ}} \geq \frac{55}{0,7 \cdot 0,8} \geq 98,2 \text{ МПа.}$$

То есть, при более прочных породах.

Анализ полученных результатов.

Решение данного примера наглядно показывает, что трещиноватость горных пород резко снижает устойчивость горной выработки.

Необходимо иметь в виду, что при другом типе напряжённого состояния нетронутого массива горных пород (до проведения выработки), а также при другом значении коэффициента Пуассона и другой форме поперечного сечения выработки, расчёт σ_z и σ_x необходимо вести по другим формулам, и

коэффициент концентрации напряжений в породах на контуре выработки будет другим. Так, например, при I типе - гидростатическом распределении напряжений в нетронутом массиве горных пород ($\mu = 0,5$, а $\lambda = 1$) после проведения выработки по всему её периметру будут иметь место сжимающие напряжения с коэффициентом концентрации равным 2,0.

При наличии тектонических напряжений горизонтальные напряжения превышают вертикальные. При $\mu = 0,2$ и $\sigma_x = 2\sigma_z$ максимальная концентрация нормальных сжимающих напряжений имеет место в кровле выработки, коэффициент концентрации равен $K = 5,0$, а при $\sigma_x = 10\sigma_z$ $K = 29,0$.

Практическая работа № 3. Оценка устойчивости горных выработок³

Цель: ознакомиться с методами оценки устойчивости горных выработок, рассмотреть количественные характеристики устойчивости и методы их прогнозной оценки, изучить методику расчета устойчивости пород почвы, а также по представленной методике рассчитать смещения и нагрузки на крепь.

Ход работы

Ранее в курсе «Механика горных пород» рассматривались классические случаи устойчивости выработок, которые дают общую характеристику возможного состояния. К таким методикам может быть отнесена и структурная формула устойчивости.

Она характеризует взаимодействие сил, стремящихся вызвать деформации породных обнажений ($k\gamma H$) и противостоящих им сил ($m \cdot (1 + \rho) \cdot \sigma_{сж}$).

$$m \cdot (1 + \rho) \cdot \sigma_{сж} \leftrightarrow k\gamma H \quad (1)$$

где ρ – доля крепи (до 10%) в восприятии горного давления;

m – коэффициент стойкости, учитывающий снижение прочности породы во времени и за счет обводнения:

$T_{сл}$, лет	Величина m в породах	
	сухих	влажных
<5	1,0	0,95
5 – 10	0,9	0,8
>10	0,8	0,7

k – коэффициент концентрации напряжений:

○ - 2; ◐ (сводч) - 3; ◑ (ароч) - 2,5; ◒ 3,5

³ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

Это несложное неравенство позволяет оценить возможные направления повышения устойчивости выработок.

Рассмотрим количественные характеристики устойчивости и методы их прогнозной оценки

Исходными данными для расчетов, связанных с оценкой устойчивости выработок, являются:

- расчетная глубина: $H_p = H \cdot k$; (2)

- расчетное сопротивление пород массива сжатию: $\sigma_{сж}^м = \sigma_{сж}^{обр} \cdot k_c$, (3)

где k – коэффициент, учитывающий отличие напряженного состояния рассматриваемого массива от ненарушенного;

k_c – коэффициент структурного ослабления:

Расстояние между разломами вчерне, м	k_c	
>1	0,9	И, П
0,5 – 1,0	0,8	ПС
0,3 – 0,5	0,6	ПГС, ГС
0,1 – 0,3	0,4	УС, У
<0,1	0,2	

При расположении выработки в слоистом массиве, расчетное сопротивление пород сжатию $\sigma_{сж}^к$ по контуру поперечного сечения определяется с учетом всех пересекаемых выработкой слоев, мощностью более 0,5 м, залегающих на расстоянии от контура сечения выработки: в кровле – $1,5B$, в почве и боках выработки – B , где B – ширина выработки вчерне, м.

$$\sigma_{сж}^к = \frac{k_c \cdot k_w \cdot (\sum \sigma_{сж}^{mi} \cdot m_i)}{\sum m_i}, \quad (4)$$

где k_w – коэффициент, учитывающий обводненность пород. Для глинистых пород $k_w = 1$.

При $T_{сл} = 5 \div 10$ лет, П → 0,8; ПС → 0,6; ГС → 0,5.

$\sigma_{сж}^{mi}$ – расчетное сопротивление в массиве сжатию i -го слоя, МПа;

m_i – мощность i -го слоя пород, м.

Предельная глубина – это глубина, начиная с которой мы можем наблюдать интенсивные деформации.

Для горизонтальных и наклонных горных выработок

$$H_{np} = \frac{m \cdot \sigma_{сж}}{k \cdot \gamma \cdot n}; \text{ М,} \quad (5)$$

где n – коэффициент запаса прочности ($n = 2$).

Для вертикальных горных выработок

$$H_{np} = \frac{k_c \cdot m \cdot \sigma_{сж}}{k_1 \cdot \gamma}; \text{ М,} \quad (6)$$

где k_c принимается:

- однородные ненарушенные – 1,0;
- слоистые ненарушенные – 0,7;
- нарушенные – 0,3.

k_1 - коэффициент концентрации напряжений, учитывающий способ проведения выработок:

- бурение – 2;
- БВР – 6 (для  ФПС);

Если другая ФПС, то $k_1 = 6$.

Оценка устойчивости пород почвы

Вероятность пучения пород может быть оценена по формуле:

$$B_p = \frac{n \cdot m \cdot \sigma_{сж}}{\gamma \cdot H}; \text{ М} \quad (7)$$

где n – коэффициент, учитывающий направление выработки относительно напластования: \perp - 1,6; \angle - 1,4; $||$ - 1,22.

Если $B_p > B_{факт}$ – пучения не будет, если $B_p \leq B_{факт}$ – пучение неизбежно.

Для наклонных выработок оценивается также возможность сползания почвы.

Предельные пролеты – это ширина выработки, при которой в момент обнажения до установки постоянной крепи наблюдаются определенные деформации. Понятие это предложил В. Д. Слесарев в 1948 году. Допустимую ширину выработки он предложил оценивать первым (I) предельным пролетом, при котором наблюдаются только упругие деформации:

$$B_1 = \sqrt{\frac{4m \cdot \sigma_p \cdot h}{3\gamma}}; \text{ м}, \quad (8)$$

где σ_p – прочность породы, залегающей в кровле выработки на растяжение, МПа (0,1 ÷ 0,2 от $\sigma_{сж}$);

h – мощность слоя, залегающего в кровле выработки, м.

При отсутствии фактических данных: П, И – 1,5 м; ПС – 1,0 м; ГС и ПГС – 0,5 м; УС и У – 0,2 м.

γ – удельный вес пород (0,025 МН/м³).

Положение о B_1 используется для оценки возможности плоского обнажения кровли выработки.

При $B_1 > B_{факт}$ можно увеличить КИС, который характеризует, какая часть сечения выработки необходима для размещения оборудования, прохода людей и вентиляции.

$$КИС = \frac{S_{полезн}}{S_{общая}} \quad (9)$$

Для  ФПС – КИС = 0,45 – 0,55.

Для  – КИС = 0,6 – 0,7.

Для  и  – КИС = 0,8 – 0,9.

Позднее формула В. Д. Слесарева была скорректирована на основании шахтных инструментальных наблюдений:

$$B_1 = \frac{150}{H} \cdot \sqrt{\frac{4m \cdot \sigma_p \cdot h}{3\gamma}}, \text{ м}. \quad (10)$$

Дать общую характеристику возможного состояния выработки для предварительного выбора способов и средств ее поддержания можно с использованием следующего понятия.

Критерий устойчивости

$$K_y = \frac{\gamma \cdot H}{f_T \cdot m \cdot \sigma_{сж}}, \quad (11)$$

где f_T – коэффициент тектонической нарушенности:

Характеристика тектонической обстановки	f_T
- однородные ненарушенные	1,0
- слоистые ненарушенные	0,95
- однородные трещиноватые	0,9
- однородные нарушенные	0,85
- слоистые трещиноватые	0,8
- слоистые ненарушенные	0,7

Возможное состояние выработки оценивается 5 группами:

1. Весьма устойчивые ($K_y \leq 0,2$). Деформаций нет. Горное давление обычно не рассчитывается. Крезь может отсутствовать или применяться опережающая крезь. Постоянная крезь – НБК ($b=3-5$ см). Временная крезь не требуется.

2. Устойчивые ($0,2 < K_y \leq 0,3$). Могут наблюдаться деформации до 10% обнажений. Глубина распространения деформаций – до 0,5 м. Горное давление может быть рассчитано по методике проф. Протодьяконова и Цимбаревича. Вывалы обычно отсутствуют. Способы охраны не применяют. Временная крезь – НБК ($b=5$ см). Крезь рассчитывается.

3. Частично устойчивые ($0,3 < K_y \leq 0,4$). Деформации до 50% по периметру выработки (без почвы). Обычно используются нижеприведенные методы расчета горного давления с проверкой на вывал. Необходим расчет временной и постоянной крепи. Глубина распространения деформаций – до 1,0 м. Возможно применение способов охраны.

4. Неустойчивые ($0,4 < K_y \leq 0,5$). Площадь деформированных породных обнажений более 50%. Глубина распространения деформаций – более 1,0 м. Расчет горного давления ведется инженерными методами с проверкой на

ывал. Обязательно ведется расчет временной и постоянной крепи. Обязательно применяются способы охраны.

5. Весьма неустойчивые ($K_y > 0,5$). Деформируется весь контур выработки на глубину значительно более 1 м. Способы охраны обязательны, желательно – предварительные или комбинированные. Проявление деформаций быстрое, часто – динамическое.

В нормативных документах (руководство ВНИМИ) под устойчивостью пород понимают степень тяжести проявлений горного давления в выработке, в зависимости от которой требуются те, или иные средства и мероприятия по креплению и поддержанию выработок. В качестве критерия отнесения выработки к соответствующей категории устойчивости принимают расчетную величину максимальных смещений пород на контуре выработки за весь срок ее службы.

Категория устойчивости	Оценка устойчивости	Смещения контура, мм	Рекомендации по поддержанию
1	устойчивая	<50	без крепи или ограждающая крепь
2	среднеустойчивая	51-200	несущая крепь
3	неустойчивая	201-500	крепь + охрана
4	весьма неустойчивая	>500	крепь + комбинированная охрана

Оценка устойчивости пород почвы

Оценка устойчивости	Величина смещений, мм	Скорость смещений, мм/мес	Начало проявления от забоя, м	Затраты на ремонт из-за пучения в % от стоимости крепи
Слабоинтенсивное	до 200	30	≥ 20	≤ 10
Интенсивное	201-600	150	5-20	≤ 30
Весьма интенсивное	более 600	600	<5	≤ 50

Расчет смещений пород и нагрузок на крепь нормативным методом

Величину смещений пород для горизонтальных и наклонных выработок (вне зоны влияния очистных работ) определяют по формуле

$$U = K_{\alpha} \cdot K_{\theta} \cdot K_s \cdot K_B \cdot K_t \cdot U_T; \text{ мм}, \quad (12)$$

где U_T – типовые смещения пород, мм;

$$U_T = 10^{-0,0847\sigma_{сж}^k + (0,0217\sigma_{сж}^k + 1,15) \cdot \lg \cdot H_p} \quad (13)$$

K_{α} – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки (в таблице ниже);

K_{θ} – коэффициент направления смещений: для кровли и почвы – 1,0; для боков – в ниже приведенной таблице.

Направление выработки относительно напластования	Значения K_{α} и K_{θ} при углах залегания пород, град											
	до 20		30		40		50		60		70	
	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}
По простиранию	1,0	0,35	0,95	0,55	0,8	0,8	0,65	1,2	0,6	1,7	0,6	2,25
Вкрест простирания	0,7	0,55	0,6	0,8	0,45	0,95	0,25	0,95	0,2	0,8	0,15	0,55
Под углом к простиранию	0,85	0,45	0,8	0,65	0,65	0,9	0,45	1,05	0,35	1,1	0,35	0,95

K_s – коэффициент влияния размеров выработки:

$$K_s = 0,2 \cdot (B - 1) \quad (14)$$

K_t – коэффициент влияния времени возведения крепи:

$$1 \geq K_t = 18,72 \cdot \frac{\sigma_{сж}^k}{H_p} + 0,228 \cdot \ln t \quad (15)$$

При $T_{сл} > 15$ лет, $K_t = 1$.

K_B – коэффициент воздействия других выработок:

- для одиночных выработок и камер – 1;
- для сопряжений – 1,4;
- для пересечений – 1,6.

Расчетную нагрузку на все виды крепи, за исключением рамных податливых, определяют дифференцированно в кровле, почве и боках по формуле:

$$P = K_{\Pi} \cdot K_H \cdot m_B \cdot P^H, \quad (16)$$

где K_{Π} – коэффициент перегрузки, определяется по следующей таблице

Величина смещений, мм	Коэффициент K_{Π} для выработок	
	главных вскрывающих	магистральных и других
до 50	1,25	1,1
50-200	1,1	1,05
200-500	1,05	1,0
>500	1,0	1,0

K_H – коэффициент неравномерности нагрузки:

- для главных вскрывающих выработок – 1,1;
- для остальных – 1,0.

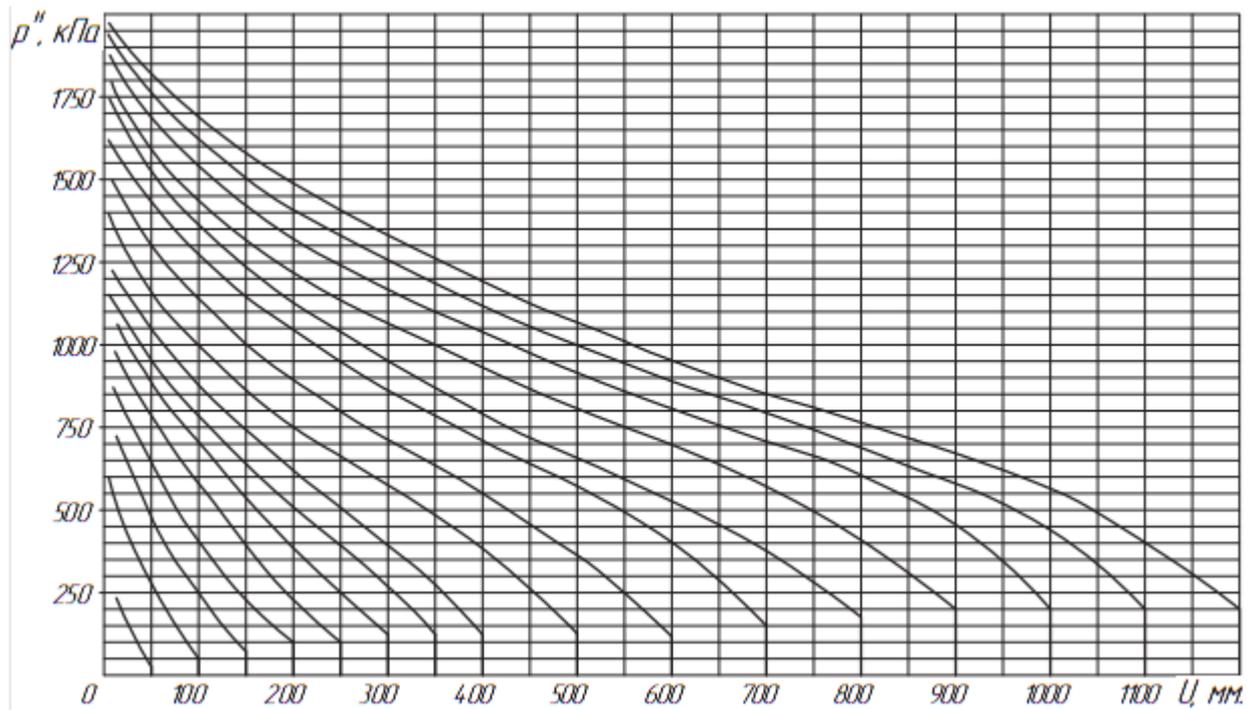
m_B – коэффициент условий проведения выработок:

- при БВР – 1,0;
- при комбайновом способе проведения – по таблице ниже.

Отношение $\frac{H}{\sigma_{сж}^к}$	до 16	16-20	21-25	>25
Значение m_B	0,6	0,8	0,9	1,1

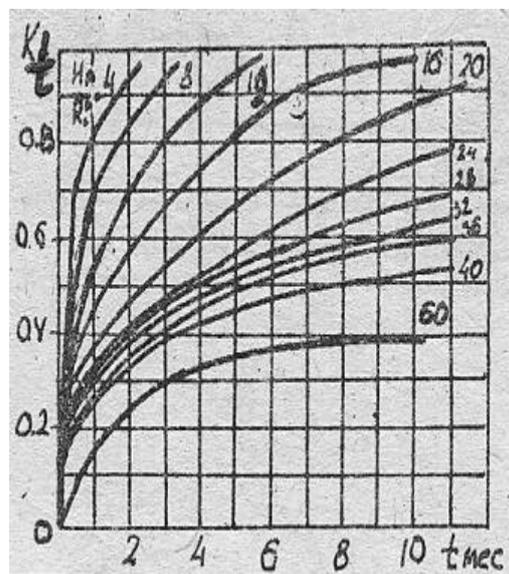
P^H – нормативная нагрузка на крепь, определяемая по рисунку ниже, в зависимости от смещений U , с учетом смещений до установки крепи U_1 , сжатия забутовки U_3 и конструктивной податливости крепи – $U_{кр}$.

График для определения нормативной нагрузки на крепь



$$U_t = U \cdot K_t, \quad (17)$$

где K_t – коэффициент влияния времени на смещения пород, принимается по рисунку ниже.



Графики для определения коэффициента K_t

U_3 допускается принимать равным 25% толщины забутовочного слоя.

Расчетную нагрузку на рамные податливые крепи определяют по формуле:

$$P_p = K_{II} \cdot K_H \cdot m_B \cdot B \cdot p'' \quad (18)$$

Расчет смещений пород и нагрузок на крепь аналитико-экспериментальным методом

Кровля при $\alpha \leq 35^\circ$

$$U_{кр} = 0,1B \left[e^{\left[\gamma H - 10 \left(\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_0} \right)^2 q_k \right] / m \sigma_{сж}} - 1 \right]. \quad (19)$$

Кровля при $\alpha > 35^\circ$

$$U_{кр} = 0,12 B (\gamma H / m \sigma_{сж} - 0,28), \quad (20)$$

где σ_0 - прочность условной породы - 30 МПа (300 кгс/см²); q_k - отпор (несутая способность) принятой крепи, МПа; B - ширина выработки вчерне, м.

Бока выработки

$$U_{\delta} = 0,07h \left[e^{\left[0,85 \gamma H - 15 \left(\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_0} \right)^2 q_{\delta} \right] / m \sigma_{сж}} - 1 \right], \quad (21)$$

где h - высота выработки вчерне, см.

Для вскрывающих выработок вне зоны непосредственного влияния очистных работ:

$$U_{\delta} = (0,6 - 0,8) U_{кр}. \quad (22)$$

Почва

$$U_n = \rho \sqrt{Bh} \left[e^{\left[0,85 \gamma H - 15 \left(\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_0} \right)^2 q_{\delta} \right] / m \sigma_{сж}} - 1 \right], \quad (23)$$

где ρ - коэффициент, характеризующий коэффициент крепости пород: $f < 4 \dots 0,3$; $f = 4 \dots 6 \dots 0,22$; $f > 6 \dots 0,11$.

Учитывая, что любая конструкция крепи имеет техническую или технологическую податливость, необходимую несую способность, МПа, можно найти по формуле:

$$q_k = 8\gamma \cdot \sqrt[3]{\frac{B}{2} \cdot (U_k)^2}; \quad (24)$$

$$q_{\delta} = 8\gamma \cdot \sqrt[3]{\frac{h}{2} \cdot (U_{\delta})^2}. \quad (25)$$

Для жесткой крепи:

$$q_k = \frac{\sigma_0^2 \cdot \gamma H}{10 \cdot \sigma_{сж}^2}; \quad (26)$$

$$q_{\delta} = \frac{0,85 \cdot \sigma_0^2 \cdot \gamma H}{15 \cdot \sigma_{сж}^2}. \quad (27)$$

Практическая работа № 4. Расчет нагрузки на крепь по теориям заданной нагрузки⁴

Цель: ознакомиться с методикой расчета нагрузки на крепь согласно теориям проф. М. М. Протодяконова и проф. П. М. Цимбаревича. Дать оценку целесообразности применения данных теорий условиях Донбасса.

Ход работы

Первые аналитические методы определения нагрузки на крепь горизонтальных групп выработок основывались на так называемой гипотезе свода естественного равновесия. В соответствии с гипотезой полагалось, что в кровле выработки образуется свод естественного равновесия в пределах которого горные породы полностью разрушены, обладают свойствами сыпучей среды, а их вес создает нагрузку на крепь.

Образование сводов при обрушении кровли выработок, наблюдаемое на практике, послужило основой для теоретических разработок с целью определения нагрузки на крепь. Большие исследования в этом направлении были выполнены М.М. Протодяконовым, П.М. Цимбаревичем, Н.П. Покровским, В.Д. Слесаревым,

В.В. Орловым, Р. Квапилом, В. Риттером и другими учеными. Они отличались подходами к оценке формы свода, свойств вмещающих пород, различным учетом горно-геологических условий. Наиболее представительными из этой группы являются теории горного давления М.М. Протодяконова и П.М. Цимбаревича.

Теория М.М. Протодяконова. На глубине H от поверхности рассматривается горизонтальная длинная выработка с сечением прямоугольной формы шириной $2a$ (рис. 6.1,а). Над выработкой в соответствии с гипотезой образуется свод естественного равновесия высотой b . Породы в пределах свода полностью разрушены, не имеют сцепления, но обладают внутренним трением. Возведение крепи в выработке не препятствует образованию свода естественного равновесия.

Задача состоит из двух частей:

- определение формы кривой свода;
- определение его высоты.

⁴ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

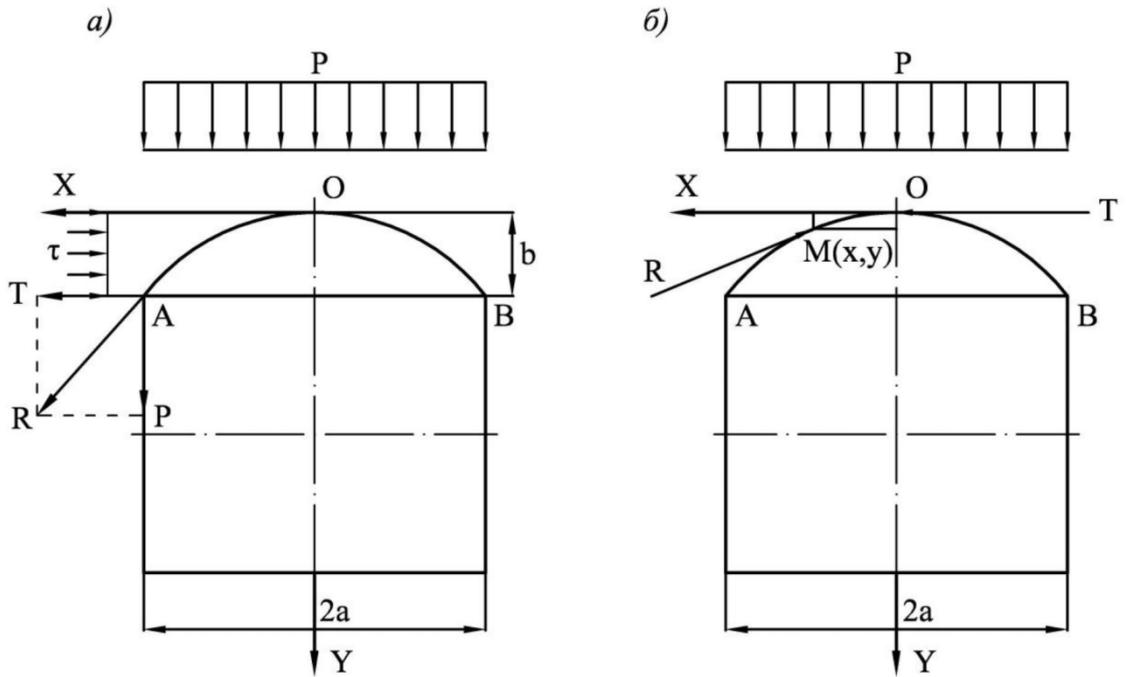


Рис. 6.1. Схема к расчету нагрузки на крепь по М.М. Протодяконову

Для решения первой части задачи поместим начало координат в ключ свода и рассмотрим равновесие дуги OM . Отброшенные части свода OB и AM заменим реактивными силами T и R . Поскольку рассматривается среда без сцепления, силы T и R направлены по касательным к кривой свода равновесия.

Беря сумму моментов относительно точки M , получим

$$Ty - \frac{px^2}{2} = 0, \quad (6.1)$$

откуда вытекает уравнение кривой

$$y = \frac{px^2}{2T}. \quad (6.2)$$

Уравнение (6.2) является уравнением параболы.

Для решения второй части задачи рассмотрим условие равновесия в точке A пяты свода (рис.6.1,б).

Горизонтальная составляющая опорного давления T (распор) вызывает перемещение точки A влево. Препятствует этой силе – трение, величина которого равна fP , где f – коэффициент внутреннего трения. По условию симметрии задачи $P=pa$. Устойчивое равновесие пяты свода (точка A) будем иметь место в том случае, если

$$T + k = fpa, \quad (6.3)$$

где k – некоторая сила, характеризующая запас устойчивости.

Сила k рассматривается М.М. Протодьяконовым в виде распределенной нагрузки τ , направленной в сторону свода (см. рис. 6.1,б).

$$k = \tau b. \quad (6.4)$$

Сила T с учетом зависимости (6.2) равна

$$T = \frac{pa^2}{2b}. \quad (6.5)$$

Подставляя выражения (6.5) и (6.4) в (6.3), получим

$$\frac{pa^2}{2b} + \tau b = fpa \quad (6.6)$$

По М.М. Протодьяконову запас устойчивости будет наибольшим, если τ будет иметь максимальное значение. Поэтому, решая уравнение (6.6) относительно τ и исследуя его на максимум, получим

$$b = \frac{a}{f}. \quad (6.7)$$

Таким образом, высота свода естественного равновесия равна частному от деления полупролета выработки на коэффициент трения. Это основной вывод теории М.М. Протодьяконова. Для использования полученных зависимостей в связных породах, по М.М. Протодьяконову, достаточно заменить в формулах величину f коэффициентом крепости той или иной породы.

Вес пород, оказывающих давление на крепь на длине 1 м выработки, определяется из условия

$$Q = \frac{2}{3} 2ab\gamma = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f}, \text{ кН.} \quad (6.8)$$

Давление на одну раму при шаге установки крепи равно l

$$Q_1 = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f} l, \text{ кН.} \quad (6.9)$$

Как следует из формул (6.8) и (6.9), давление на крепь выработки не зависит от глубины расположения ее от поверхности земли. Фактические же измерения величины давления на крепь выработок показывают, что с глубиной давление на крепь возрастает по некоторому нелинейному закону. Кроме того, разрушение вмещающих пород имеет место не только в кровле, но и в боках выработки и даже в почве. В этой связи теория горного давления М.М. Протодяконова пригодна для расчетов нагрузки на крепь при небольших (до 70 – 100 м) глубинах разработки.

Теория П.М. Цимбаревича. Очевидное несоответствие представлений М.М. Протодяконова реально происходящим процессам формирования нагрузки на крепь горных выработок побудило П.М. Цимбаревича предложить новую, более современную на то время, теорию горного давления.

В соответствии с его представлениями в кровле выработки образуется свод естественного разрушения, размеры которого выходят за пределы выработки на величину $2c$ (рис. 6.2). При этом пролет нового свода равняется $2a+2c$.

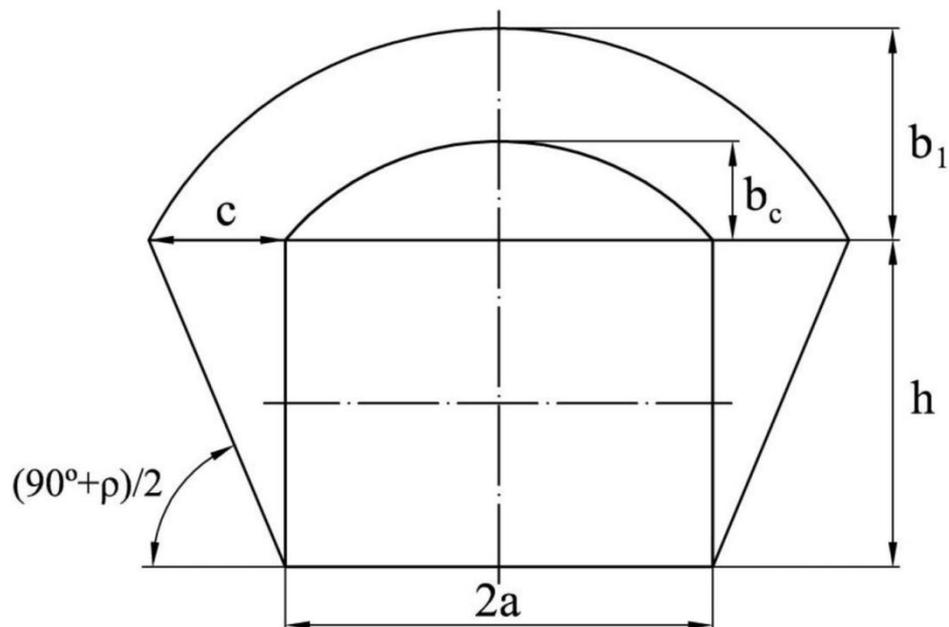


Рис. 6.2. Расчетная схема к задаче П.М. Цимбаревича

Породы под опорами свода разрушаются, в боках выработки образуются призмы сползания, создающие боковое давление на стойки крепи. Высота призм сползания равна высоте выработки h , а угол наклона плоскостей

сползания равен $\frac{90^0 + \rho}{2}$, где ρ – угол внутреннего трения вмещающих пород. В соответствии со схемой получим:

$$c = h \operatorname{ctg} \frac{90^0 + \rho}{2}, \quad (6.10)$$

тогда

$$b_1 = \frac{a+c}{f} = \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^0 + \rho}{2}}{f}. \quad (6.11)$$

При расчете верхняка крепи вертикальную нагрузку принимают равномерно распределенной, определяемой высотой свода b_1 , т.е.

$$Q = 2ab_1\gamma l. \quad (6.12)$$

Как видно из формулы (6.12), давление на крепь также не зависит от глубины заложения выработки, хотя исходные предпосылки теории основаны на том, что приконтурный породный массив разрушен вследствие превышения его прочности уровнем действующим напряжений, т.е. $k\gamma H > R_c k_c$. Здесь k – коэффициент концентрации напряжений.

Областью применения зависимостей, предложенных П.М. Цимбаревичем, являются глубины от 100 до 250 м с коэффициентом крепости пород по М.М. Протодяконову, равным 3-6.

Практическая работа № 5. Расчет нагрузки на крепь по теориям заданной деформации⁵

Цель: ознакомиться с методикой расчета нагрузки на крепь согласно теории проф. А. Лабасса. Дать оценку целесообразности применения данных теорий условиях глубоких шахт современного Донбасса.

Ход работы

Наиболее известные исследования в этом направлении принадлежат А. Лабассу, Р. Феннеру, позднее К.В. Руппенейту и многим другим ученым.

Теория А. Лабасса [123]. В работе А. Лабасса рассматривается длинная горизонтальная выработка, имеющая круговое очертание поперечного сечения с радиусом R_0 , и расположенная на глубине H от земной поверхности в изотропном однородном породном массиве с объемным весом γ . К контуру выработки приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью p_0 , равной отпору крепи. Уровень напряжений, действующих в окрестности выработки, таков, что вокруг нее образуется замкнутая область разрушенных пород, которые рассматриваются как среда, лишенная сцепления и обладающая внутренним трением. Начальное поле напряжений полагается гидростатическим. Расчетная схема задачи полностью соответствует рис. 4.11.

Уравнения равновесия и условие прочности для области неупругих деформаций имеют вид:

⁵ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} - \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r} = 0, \quad (6.13)$$

$$\sigma_\theta = A\sigma_r, \quad (6.14)$$

где $A = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$.

Здесь и далее все величины, имеющие размерность длины, отнесены к радиусу выработки R_0 . Подставив значение σ_θ из (6.14) в (6.13), получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} - (A-1) \frac{\sigma_r}{r} = 0, \quad (6.15)$$

решение которого имеет вид:

$$\sigma_r = C \cdot r^{A-1}. \quad (6.16)$$

Здесь C – произвольная постоянная интегрирования, которую найдем из граничного условия на контуре выработки:

$$\sigma_r = p_0 \text{ при } r=1, \text{ т.е. } C = p_0 \quad (6.17)$$

Окончательно имеем:

$$\sigma_r = p_0 r^{A-1}, \quad (6.18)$$

$$\sigma_\theta = A p_0 r^{A-1}. \quad (6.19)$$

Условие совместности деформаций для рассматриваемой полярно-симметричной задачи следующее:

$$\sigma_r + \sigma_\theta = 2\gamma H. \quad (6.20)$$

Подставляя значения компонентов напряжений (6.18) и (6.19) в выражение (6.20), получим при $r=r_L$ расчетную формулу для определения нагрузки на крепь выработки

$$p_0 = (1 - \sin \rho) \gamma H \left(\frac{R_0}{R_L} \right)^{\frac{2 \sin \rho}{1 - \sin \rho}}. \quad (6.21)$$

В результате неупругого расширения пород в пластической области площадь поперечного сечения уменьшается на величину ΔS , которая по А. Лабассу может быть определена по формуле

$$\Delta S = \pi (R_L^2 - R_0^2) \cdot (k_p - 1) \quad (6.22)$$

Из (6.22) получим выражение для определения радиуса зоны неупругих деформаций

$$R_L = \sqrt{\frac{\pi R_0^2 (k_p - 1) + \Delta S}{\pi (k_p - 1)}}. \quad (6.23)$$

Величина податливости ΔS по конструктивным соображениям принимается равной $(0,16-0,26) S_{св}$ ($S_{св}$ – площадь поперечного сечения выработки в свету), коэффициент разрыхления k_p – равным 1,1 [84].

На рис 6.3. приведены кривые, построенные по формуле (6.21) для квершлага диаметром 4 м, пройденного на глубине 1000 м, показывающие изменение величины нагрузки на крепь в зависимости от размера зоны неупругих деформаций.

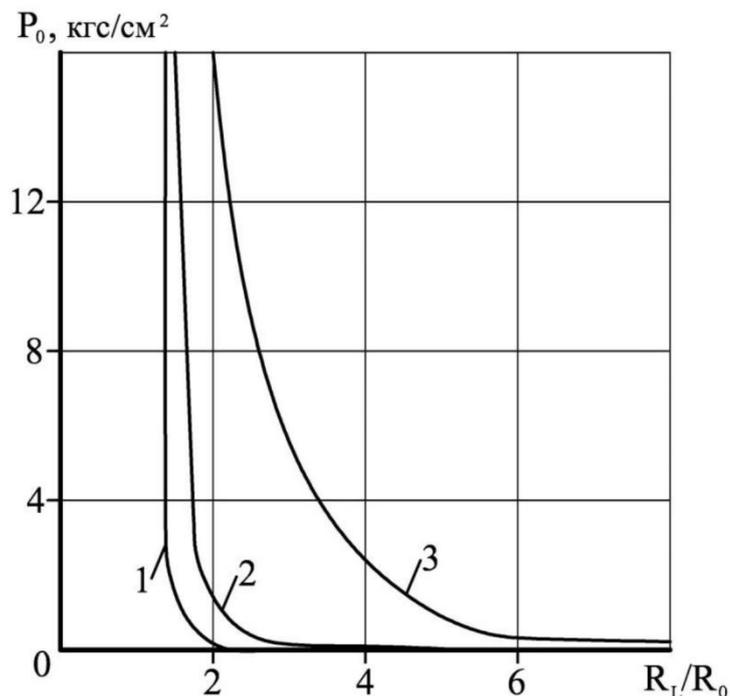


Рис. 6.3. График зависимости давления на крепь от размера зоны неупругих деформаций по А. Лабассу: 1 - песчаник $\rho=54^\circ$; 2 - крепкий сланец $\rho=46^\circ$; 3 - сланец средней крепости $\rho=37^\circ$

Из рисунка следует весьма спорный вывод о том, что нагрузка на крепь падает с увеличением зоны неупругих деформаций. По мнению А. Лабасса, это происходит в результате того, что разрушенные породы в пределах области неупругих деформаций образуют вокруг выработки своеобразный щит, оказывающий сопротивление нагрузки со стороны деформированной части массива. Причем, действие его тем эффективнее, чем больше размер области разрушенных пород.

Практическая работа № 6. Расчет горного давления по нормативной методике⁶

Цель: ознакомиться с расчетной методикой горного давления согласно нормативным методом. Охарактеризовать и сделать выводы о целесообразности применения данных расчетных критериев.

Ход работы

Величину смещений пород для горизонтальных и наклонных выработок (вне зоны влияния очистных работ) определяют по формуле

$$U = K_{\alpha} \cdot K_{\theta} \cdot K_s \cdot K_B \cdot K_t \cdot U_T; \text{ мм}, \quad (1)$$

где U_T – типовые смещения пород, мм;

$$U_T = 10^{-0,0847\sigma_{сж}^k + (0,0217\sigma_{сж}^k + 1,15) \cdot \lg \cdot H_p} \quad (2)$$

K_{α} – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки (в таблице ниже);

K_{θ} – коэффициент направления смещений: для кровли и почвы – 1,0; для боков – в ниже приведенной таблице.

Направление выработки относительно напластования	Значения K_{α} и K_{θ} при углах залегания пород, град											
	до 20		30		40		50		60		70	
	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}	K_{α}	K_{θ}
По простиранию	1,0	0,35	0,95	0,55	0,8	0,8	0,65	1,2	0,6	1,7	0,6	2,25
Вкрест простирания	0,7	0,55	0,6	0,8	0,45	0,95	0,25	0,95	0,2	0,8	0,15	0,55
Под углом к простиранию	0,85	0,45	0,8	0,65	0,65	0,9	0,45	1,05	0,35	1,1	0,35	0,95

K_s – коэффициент влияния размеров выработки:

$$K_s = 0,2 \cdot (B - 1) \quad (3)$$

⁶ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

K_t – коэффициент влияния времени возведения крепи:

$$1 \geq K_t = 18,72 \cdot \frac{\sigma_{сж}^k}{H_p} + 0,228 \cdot \ln t \quad (4)$$

При $T_{сл} > 15$ лет, $K_t = 1$.

K_B – коэффициент воздействия других выработок:

- для одиночных выработок и камер – 1;
- для сопряжений – 1,4;
- для пересечений – 1,6.

Расчетную нагрузку на все виды крепи, за исключением рамных податливых, определяют дифференцированно в кровле, почве и боках по формуле:

$$P = K_{II} \cdot K_H \cdot m_B \cdot P^H, \quad (5)$$

где K_{II} – коэффициент перегрузки, определяется по следующей таблице

Величина смещений, мм	Коэффициент K_{II} для выработок	
	главных вскрывающих	магистральных и других
до 50	1,25	1,1
50-200	1,1	1,05
200-500	1,05	1,0
>500	1,0	1,0

K_H – коэффициент неравномерности нагрузки:

- для главных вскрывающих выработок – 1,1;
- для остальных – 1,0.

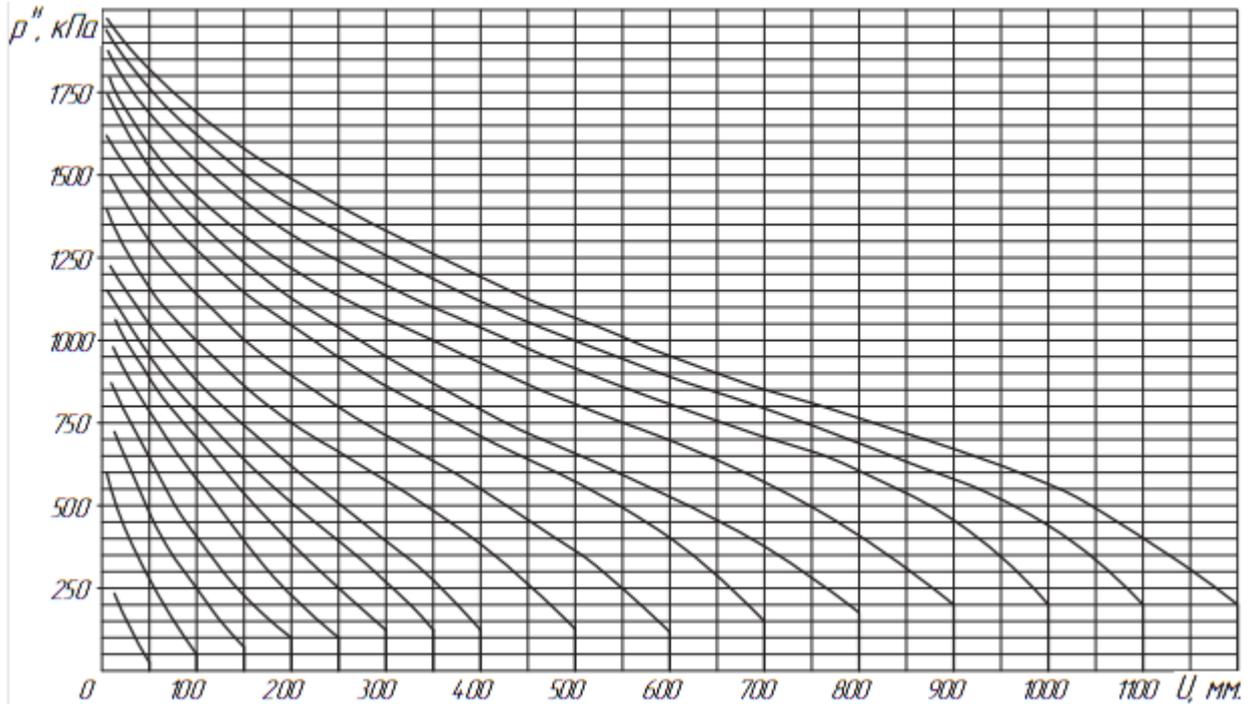
m_B – коэффициент условий проведения выработок:

- при БВР – 1,0;
- при комбайновом способе проведения – по таблице ниже.

Отношение $\frac{H}{\sigma_{сж}^k}$	до 16	16-20	21-25	>25
Значение m_B	0,6	0,8	0,9	1,1

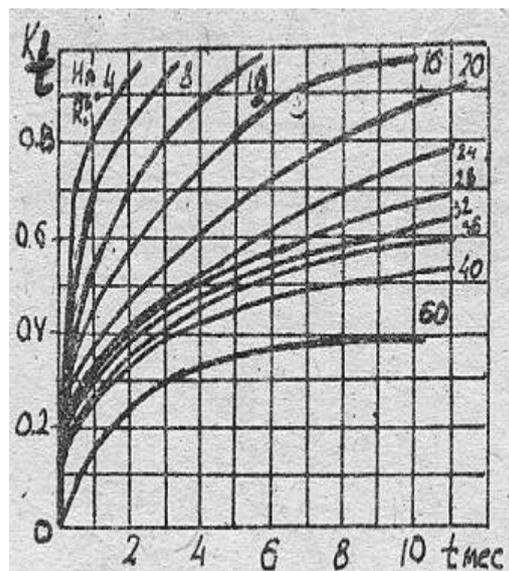
P^H – нормативная нагрузка на крепь, определяемая по рисунку ниже, в зависимости от смещений U , с учетом смещений до установки крепи U_1 , сжатия забутовки U_3 и конструктивной податливости крепи – $U_{кр}$.

График для определения нормативной нагрузки на крепь



$$U_1 = U \cdot K_t, \quad (6)$$

где K_t – коэффициент влияния времени на смещения пород, принимается по рисунку ниже.



Графики для определения коэффициента K_t

U_3 допускается принимать равным 25% толщины забутовочного слоя.

Расчетную нагрузку на рамные податливые крепи определяют по формуле:

$$P_p = K_{II} \cdot K_H \cdot m_B \cdot B \cdot p^H \quad (7)$$

Практическая работа № 7. Расчет нагрузки на крепь вертикальных и наклонных выработок⁷

Цель: изучить методику расчета нагрузки на крепь для наклонных и вертикальных горных выработок. Обосновать и дать оценку целесообразности применения данных теорий условиях Донбасса.

Ход работы

Гипотезы для расчета горного давления в вертикальных выработках подразделяют на две группы: гипотезы сил и гипотезы деформаций. К первой относятся, например, гипотезы М. М. Протодяконова и П. М. Цимбаревича, основанные на том, что в сыпучих или условно сыпучих породах (трещиноватых с малым сцеплением) давление на крепь может быть определено согласно теории давления грунта на вертикальную (бесконечной длины) подпорную стенку высотой H . По гипотезе проф. М. М. Протодяконова в результате образования призм сползания давление

$$D = \frac{\rho H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right).$$

Величина горного давления на квадратную единицу стенки

$$\frac{dD}{dH} = P' = \rho H \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right).$$

При пересечении стволом неоднородных пород подсчитывается средневзвешенное значение угла φ по средневзвешенному коэффициенту крепости пород $f_{\text{ср}}$, т. е.

$$\varphi_{\text{ср}} = \operatorname{arctg} f_{\text{ср}};$$

$$f_{\text{ср}} = \frac{h_1 f_1 + h_2 f_2 + h_3 f_3 + \dots + h_n f_n}{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}$$

где $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ — мощность отдельных неоднородных пересекаемых пород; $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ — коэффициент крепости соответствующих пород. Аналогично находится средневзвешенная плотность пересекаемых пород. Формула проф. М. М. Протодяконова для расчета величины горного

⁷ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

давления на крепь вертикального ствола, проведенного в неоднородных породах, в соответствии с изложенным запишется так:

$$P = \rho_{\text{ср}} H \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \varphi_{\text{ср}}}{2}.$$

По гипотезе проф. П. М. Цимбаревича величина горного давления на рассматриваемом участке (в отдельном, пересекаемом стволом слое) определяется по формулам (рис. 7.1):

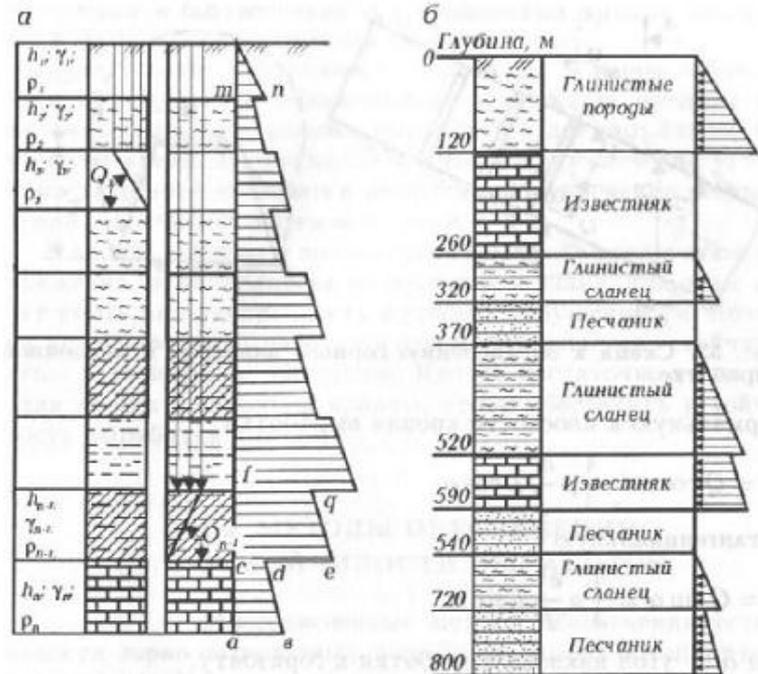


Рис. 7.1 – Схемы к определению горного давления на крепь ствола, по П. М. Цимбаревичу: а – эпюра напряжений; б – разрез по стволу

- в кровле слоя

$$P_n = \rho_n \left(h_{n-1} \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} + h_{n-2} \frac{\rho_{n-2}}{\rho_n} + \dots + h_1 \frac{\rho_1}{\rho_n} \right) A_n;$$

- в почве слоя

$$P'_n = \rho_n \left(h_n + h_{n-1} \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} + h_{n-2} \frac{\rho_{n-2}}{\rho_n} + \dots + h_1 \frac{\rho_1}{\rho_n} \right) A_n,$$

где ρ_n , h_n — соответственно плотность породы и мощность пласта (участка), на котором подсчитывается горное давление; ρ_{n-1} , ρ_2 , ρ_1 — плотность породы вышележащих слоев; h_{n-1} , h_2 , h_1 — мощность вышележащих слоев породы; A_n — коэффициент горизонтального распора данной породы. ВНИМИ предложено на нагрузку на крепь ствола в коренных породах средней устойчивости и неустойчивых определять по формуле

$$P = n n_y n_n P_n [1 + 0,1(R - 3)],$$

где R — радиус ствола в свету, м; $R_n=(5\div 23)\cdot 10^4$ Н/м² — нормативная нагрузка; n — коэффициент перегрузки; n_y — коэффициент условий работы крепи; n_n — коэффициент неравномерности распределения нагрузки. Рекомендовано принимать: при бетонной, тубинговой и блочной крепях $n=1,5$ и $n_y=0,67$; для набрызгбетонной крепи $n=1,25$ и $n_y=0,5$. Величина n_n принимается при последовательной и параллельной схемах проходки стволов равной от 2 до 2,75, а при совмещенной от 1,75 до 2,25 в зависимости от угла падения пород (0—30°). К указанной расчетной нагрузке на крепь от давления пород прибавляют в обводненных породах гидростатическую нагрузку P_2 . Горное давление со стороны кровли на крепь наклонной выработки (рис. 7.2) можно разложить на две составляющие: нормальную к плоскости кровли выработки

$$N = Q \cos \alpha = \frac{4}{3} \rho \frac{a^2}{f} L \cos \alpha$$

и тангенциальную

$$T = Q \sin \alpha = \frac{4}{3} \rho \frac{a^2}{f} L \sin \alpha,$$

где α — угол наклона выработки к горизонту.

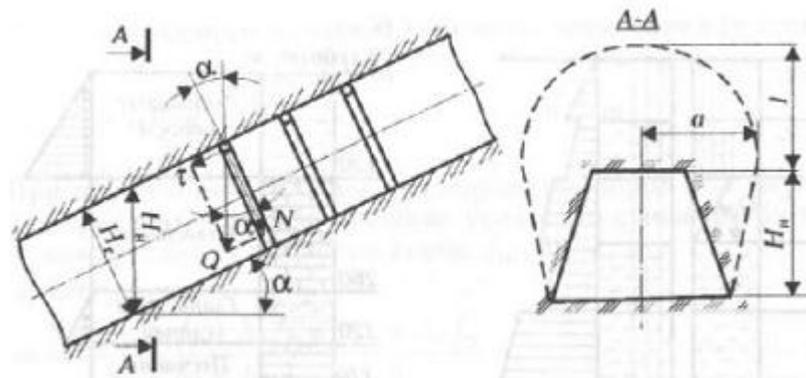


Рис. 7.2 – Схема к определению горного давления в наклонной выработке

В наклонной выработке крепь устанавливают перпендикулярно к продольной оси выработки, поэтому за расчетное давление принимается сила N , величина которой возрастает с уменьшением угла α . Тангенциальная составляющая T , усилия которой сравнительно невелики, стремится сдвинуть крепь по палению, чему противодействует конструкция крепи. Величина силы Q определяется аналогично определению горного давления в горизонтальной выработке P .

Практическая работа № 8. Расчет параметров способов управления горным давлением⁸

Цель: ознакомиться с методикой расчета параметров способов управления горным давлением. Привести методику, которая наиболее точно отражает реальные процессы, происходящие в массиве горных пород.

Ход работы

Введение

Ведение горных работ в массивах пород приводит к изменению начальных напряженных состояний и проявлению различных механических процессов.

Общие геомеханические закономерности изменения напряжений в горном массиве являются основой для прогноза его состояния при обосновании способов управления горным давлением и расчете параметров систем разработки месторождений полезных ископаемых. Оценка напряженного состояния массива преимущественно осуществляется по отношению напряжений, действующих во взаимно перпендикулярных направлениях – главным осям тензора напряжений. К середине 60-х гг. был получен значительный объем экспериментальных данных о горном давлении и напряженном состоянии массивов горных пород в верхнем слое ЗК.

До 1951 г. за основу расчетов всегда брали теорию гравитационных сил. Представления сводились к тому, что земная кора находится в равновесии. Если напряжения изменяются под воздействием каких-либо глобальных факторов, то со временем они релаксируют.

В 60-е гг. стало известно о повышенных горизонтальных (тектонических) напряжениях в

массивах горных пород, что явилось поворотным моментом в развитии геомеханики.

Поэтому в новых методиках расчета горного давления стали учитываться и гравитационные, и горизонтальные силы, тогда как ранее опирались лишь на гравитационные напряжения.

Методики расчета горного давления с учетом только гравитационных напряжений

1. Протодьяконов, 1907 г. Гипотеза свода [1]. Нагрузка на крепь

$$p_x = \frac{\gamma(a^2 - x^2)}{naf},$$

где a – полупролет свода;

f – коэффициент крепости пород кровли;

x – расстояние от рассматриваемой стойки до забоя;

n – число стоек на 1 кв. м площади кровли;

γ – объемный вес пород.

2. Цимбаревич. Гипотеза призм сползания [1]. Давление пород на крепь

$$R = b\gamma BH(1 - \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\delta),$$

где B – ширина призабойного пространства;

γ – объемный вес пород;

b – ширина секции крепи;

H – глубина ведения работ;

φ – угол внутреннего сопротивления породного массива;

δ – угол между гранью опускающегося параллелепипеда и плоскостью пласта.

3. Слесарев, 1935 г. Гипотеза плит и балок [1]:

а) при кровле, аналогичной свободно опертой балке, давление

$$P_{i\text{cp}} = \gamma_{npi} \cdot h_i - \frac{4}{3} K_{pi} \cdot \frac{h_i^2}{l_{\text{э}i}^2};$$

б) при кровле, аналогичной балке с защемленными концами, давление

$$P_{i\text{cp}} = \gamma_{npi} \cdot h_i - 2K_{pi} \cdot \frac{h_i^2}{l_{\text{э}i}^2};$$

где i – порядковый номер подстилающего слоя;

h_i – мощность подстилающего слоя;

K_{pi} – предел прочности породы на разрыв в подстилающем слое;

$l_{\text{э}i}$ – эквивалентный пролет подстилающего слоя;

γ_{npi} – приведенный объемный вес пород подстилающего слоя.

4. Лабасс, 1950 г. Гипотеза предварительного расстреливания [1]. Давление на стойку

$$P = l'e\delta \cos\alpha + 0,1l'' \left(\frac{ah}{2} \delta \cos\alpha + \frac{a}{2} p \right) Sf,$$

где S – коэффициент, являющийся функцией жесткости

⁸ Исходные данные приведены в приложениях Б, В. В случае отсутствия каких-либо исходных данных необходимо обратиться за дополнительной информацией к преподавателю.

крепи;

f – коэффициент, являющийся функцией изгиба основной кровли;

l – расстояние между рядами стоек;

l' – расстояние между стойками в ряду;

e – мощность обрушающейся части непосредственной кровли;

δ – удельный вес пород кровли;

α – угол падения пласта;

p – давление, возникающее при равномерном расширении пород, перпендикулярном плоскостям напластования, при отсутствии угольных прослоек можно пренебречь этим давлением;

a – шаг осадки основной кровли;

h – мощность осадки основной кровли.

5. Руппнейт, 1957 г. [2].

Начальные смещения кровли над забоем, вызванные деформацией угольного пласта под действием веса покрывающей толщи пород

$$H_0^* = 11,5\gamma h \frac{h_{nl}}{E_{nl}},$$

где γ – объемный вес пород покрывающей толщи;

h – глубина ведения работ;

h_{nl} – мощность пласта;

E_{nl} – модуль упругости пласта.

Методики расчета горного давления, учитывающие гравитационные и горизонтальные напряжения

6. Глушихин Ф.П. [3]. Суммарная нагрузка блоков пород кровли на крепь на 1 пог. м. лавы определяется из формулы

$$P_0 = \gamma h l \left[\frac{n_2}{2} + n_1 (1 - f \operatorname{ctg} \alpha_1) \right],$$

где f – коэффициент трения;

α_1 – угол наклона грани блока к горизонту;

γ – объемный вес пород;

h – высота блока;

l – длина блока;

n_1 – количество поддержи-

ваемых блоков;

n_2 – количество зависших блоков.

7. Авершин С.Г., Груздев В.Н., Степанов В.Я. [3]. Для учета нелинейности распределения напряжений σ_x по поперечным сечениям полосы (балки) предлагается вычислять эти напряжения по формуле

$$\sigma_x(x, y) = \frac{12}{h^3} [M(x) - khQ(x)] \times \left(y - \frac{h}{2} \right) + \frac{Q(x)}{h} sh \frac{1}{h} \left(y - \frac{h}{2} \right),$$

$$(0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq h).$$

Для расчета касательных напряжений τ_{xy} в полосе (балке) предлагается следующая формула

$$\tau_{xy}(x, y) = \frac{Q(x)}{kh} \left[ch \frac{1}{2} - ch \frac{1}{h} \left(y - \frac{h}{2} \right) \right]$$

где $M(x)$ – изгибающий момент в поперечном сечении полосы;

$Q(x)$ – поперечная сила;

h – толщина кровли;

L – контур выработки;

$k = 0,0854$.

8. Кузнецов С.Т. Расчет нагрузок на крепь [4].

8.1. Расчет расслоения пород кровли.

Предел прочности при разрыве в направлении, перпендикулярном контакту,

$$\sigma'_{p\perp} = 0,4C'',$$

где C'' – коэффициент сцепления (зависит от шероховатости поверхности).

а) Первичное расслоение пород кровли возможно при величине сдвигающей силы

$$\Delta K_{\tau} \approx 0,60 - 0,1\rho' - 0,3 \frac{Y}{X^*} \geq c_*^I \Gamma$$

де ρ' – угол трения контактов; X^* – безразмерная полуширина выработки, выражается через ее высоту;

Y – безразмерная ордината расположения точки, до которой подсчитывается ΔK_{τ} .

c_*^I – безразмерное сцепление.

б) Расчет первого предельного пролета (шаг первого обрушения пород кровли при от-

ходе очистного забоя от разрезной выработки) по формуле

$$L_{li} = \sqrt{\frac{\sigma_{ui} h^2 + 3P_i \operatorname{ctg} \rho'_i - 6P_i d_i}{\gamma'_i h}}$$

где h – суммарная мощность тонких вышележащих слоев;

γ'_i – приведенный удельный вес пород рассчитываемого слоя;

σ_{ui} – предел прочности пород при изгибе;

P_i – параметр характеризующий внешнюю нагрузку;

ρ'_i – угол трения на контакте рассчитываемого слоя с вышележащим;

d_i – расстояние от кромки опоры до точки приложения равнодействующей внешней нагрузки P_i ;

i – номер слоя пород кровли.

8.2. Расчет вторичных разрушений кровли (разрушений, происходящих в окрестности очистного забоя после первой осадки кровли). Условие возможности расслоения

$$L_p/L_2 < 1,$$

где L_p – длина консоли на момент расслоения;

L_2 – предельный вылет консоли при изгибе.

При невыполнении этого условия разрушение консоли начинается по наклонной трещине.

8.3. Оценка нагрузочных свойств кровли

$$P_1 + 0,553 P_2 + 0,306 P_3 + 0,169$$

$$P_4 + 0,094 P_5 + 0,029 P_6,$$

где $P_1 - P_6$ – нагрузки от блоков, соответственно, 1 - 6 ярусов.

9. Егоров П.В. Напряжения в точке максимума опорного давления [5]

$$\sigma_{max} = \gamma H D \delta - \sigma_{сж} d,$$

где d – напряжения на стойке;

γ – удельный вес пород кровли;

D – безразмерный параметр;

$\sigma_{сж}$ – прочность угля на сжатие;

δ – безразмерный параметр;

H – глубина ведения очистных работ;

10. Курленя М.В., Опарин В.Н., Рева В.Н., Глушихин Ф.П. В методике учитывается явление зональной дезинтеграции. НДС оценивается по данным геофизического каротажа. Напряжения в массиве [6]

$$\sigma = \alpha R_0 \exp \left[\beta \cdot \frac{l+r}{r} \right],$$

где α и β – коэффициенты, определяемые из выражения

$$\alpha = \frac{1}{A}, \quad \beta = \frac{1}{B};$$

A и B – экспериментальные константы;

r – радиус выработки;

l – расстояние от контура выработки до наиболее удаленной зоны дезинтеграции;

R_0 – прочность массива на одноосное сжатие.

11. Васильев Л.М. Горизонтальные напряжения рассчитываются по формуле [7]

$$\sigma_r = 2 \left(\frac{\mu^2 \sigma_e + k\mu - k - \mu\sigma_e}{\cos \rho \sqrt{1-b_c^2}} \right) + \sigma_e,$$

$$b_c = \frac{f\sigma_e}{k + \mu\sigma_e},$$

где $\sigma_e = \gamma H$ – вертикальные напряжения;

f – коэффициент контактного (внешнего) трения;

μ – коэффициент внутреннего трения;

k – сопротивляемость материала на сдвиг;

$\rho = \arctg \mu$ – угол внутреннего трения.

12. Грицко Г.И., Цыцаркин В.Н. В конкретных условиях определяются размеры области неупругих деформаций в угольном массиве и с учетом данных о смещениях установить необходимую податливость и несущую способность крепи [8].

$$\frac{dU_k}{dU_0} = \frac{r_0^2(1-2\nu)R}{R^2(1-2\nu)+r_0^2} \left\{ 2 \frac{1-\nu}{1-2\nu} + \frac{R^2+r_0^2}{R^2(1-2\nu)+r_0^2} + 2(\ln r_0 + p) \right\}$$

$$\left[1 + \frac{2\nu R^2(1-2\nu)}{[R^2(1-2\nu)+r_0^2]^2} \right] - \frac{R_r(1-r\nu)}{R^2(1-2\nu)+r_0^2} (\ln r_0 + p + 1), \quad (R \geq r_0 \geq l),$$

где ΔU_0 – измеряемые приращения смещений вмещающих пласт пород;

ΔU_k – приращение смещения контура выработки;

r_0 – радиус упругопластической границы;

R – радиус упругопластического угольного кольца;

ν – коэффициент Пуассона;

p – равномерное давление на контуре выработки, равное отпору крепи;

r – радиус кругового отверстия, вокруг которого определяют границы области пластических деформаций.

13. Кулаков В.Н. Оценивается напряженное состояние призабойной части угольного массива при разработке крутых угольных пластов. Зависимость опорного давления от глубины и параметров зависящей кровли [9]

$$\sigma_g = \sigma_{g \max} \times \left(3,37 - 0,8e^{-0,8F} - 4,8m^{0,15} \right),$$

$$F = \frac{f}{L} \cdot 10^2,$$

где f/L – наклон кровли;

m – мощность пласта;

$\sigma_{g \max}$ – дополнительное максимальное опорное давление.

14. Сырников Н.М. Рассчитывается напряженное состояние структурно неоднородного горного массива в окрестности подземных сооружений. Дополнительные напряжения концентрируются и со временем релаксируют на неоднородностях. Уравнение для избыточного напряжения на неоднородностях [10]

$$\frac{d\Delta\sigma_{ik}}{dt} = \rho c_i^2 \frac{de_{ik}}{dt} - \frac{\Delta\sigma_{ik}}{l} \nu,$$

где c_i – скорость упругих поперечных волн;

e_{ik} – девиатор тензора напряжений;

ν – скорость релаксации;

ρ – плотность среды;

l – характерный размер неоднородности;

$\Delta\sigma_{ik}$ – неупругое напряжение.

15. Трубецкой К.Н., Бронников Д. М., Кузнецов С. В. Рассчитывается горное давление на межкамерные целики. Среднее напряжение на участке контакта кровли с целиком [11]

$$\sigma_{rp} = \frac{1}{\varepsilon} \int_a^b \sigma_y dx$$

$$\sigma_y = -\gamma H + 2 Re \Phi(x)$$

где γ – объемный вес пород;

H – глубина участка контакта кровли с целиком;

a – половина расстояния между целиками;

$$b = a + l;$$

$\Phi(x)$ – ширина межкамерного целика.

16. Михайлов А.М. Оценивается напряженное состояние массива горных пород в окрестности пласта с выработкой. Опорное давление в любой точке массива вне выработки [12]

$$\sigma_{zz}(x,y,z) =$$

$$- \iint_V \beta(\xi,\eta) G \left(\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2} \right) d\xi d\eta$$

где β – некоторая вспомогательная функция;

V – область локализации функции;

G – радиально симметричная положительная функция.

17. Курленя М.В., Миренков В.Е., Шутов А.В. Рассчитывается напряженно-деформированное состояние массива горных пород в зоне взаимного влияния выработок, расположенных в зонах влияния очистных работ [13].

$$\sigma_n = \sigma_y (\sin \theta)^2 +$$

$$\sigma_x (\cos \theta)^2 + \tau_{xy} \sin 2\theta,$$

$$\tau_n = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta - \tau_{xy} \cos 2\theta$$

где τ_{xy} – касательные напряжения;

σ_x, σ_y – нормальные напряжения;

θ – полярный угол.

18. Михайлов А.М. Рассчитываются напряжения вокруг трещины. Распределение нормальных напряжений по радиусу в плоскости трещины [14]

$$\sigma_{zz}(r, \theta) = -\frac{2p_0}{\pi} \times \left[\arcsin \frac{c}{r} - \frac{c}{\sqrt{r^2 - c^2}} \right],$$

где r – радиус в плоскости трещины;

$c = 0,5$ и $p_0 = 1$ (полагалось в расчетах).

Максимальное раскрытие трещины в ее центре (при $r = 0$).

19. Кузнецов С.В., Трофимов В.А. Напряжения и смещения вокруг отработанного по простиранию участка пласта [15]

$$\sigma_x^\pm = -(1 - \alpha)\sigma_y^o \pm \tau_{xy}^o \frac{2x}{\sqrt{L^2 - x^2}} \pm \gamma_{xy} \frac{L^2}{\sqrt{L^2 - x^2}} \sin \theta,$$

где σ_y^o – исходные нормальные напряжения;

τ_{xy}^o – исходные касательные напряжения;

$L = 0,5$ пролета отработанного участка пласта;

θ – полярный угол;

γ_{xy} – удельный вес пород;

x и y – координаты исследуемой области;

α – угол падения пласта.

Двойной знак (\pm) указывает на то, что формула относится к кровле (+) и почве (-).

20. Айталиев Ш.М., Такишов А.А. Рассчитана связь деформаций с напряжениями в налегающей толще пород над целиками [16]

$$\varepsilon_{xi} = \frac{1 - \nu^2}{E} \left[\sigma_{xi} - \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_{yi} \right],$$

$$\varepsilon_{yi} = \frac{1 - \nu^2}{E} \left[\sigma_{yi} - \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_{xi} \right]$$

где E – модуль упругости в породе;

ν – коэффициент Пуассона в породе;

σ_{xi}, σ_{yi} – нормальные напряжения в i -ой пачке;

i – номер пачки пород кровли над целиками.

21. Бушманова О.П., Ревуженко А. Ф. Напряжения в массиве пород вокруг выработки в случае, если она окружена пластической зоной [17]

$$\sigma_r = -\frac{2k \cos \phi (r^2 - 1)}{(1 - \sin \phi) s},$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2k \cos \phi (r^2 - 1)}{(1 - \sin \phi)} \left[\frac{r^s - 1}{s} + r^s \right]$$

$$\text{где } s = \frac{2 \sin \phi}{1 - \sin \phi}.$$

Напряжения в упругой области

$$\sigma_r = -\frac{2k \cos \phi}{(1 - \sin \phi)} \left[\frac{c^s - 1}{s} + \frac{c^s (r^2 - c^2)}{2r^2} \right]$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2k \cos \phi}{(1 - \sin \phi)} \left[\frac{c^s - 1}{s} + \frac{c^s (r^2 + c^2)}{2r^2} \right]$$

где σ_θ – нормальное окружное напряжение;

k – сцепление;

ϕ – угол внутреннего трения;

c – радиус пластической зоны;

r, θ – полярные координаты точки области

$$(1 \leq r \leq R, 0 \leq \theta \leq 2\pi);$$

R – внешний радиус исследуемой области.

Заключение

В отличие от методик расчета горного давления, разработанных до 60-х годов, методики настоящего времени учитывают не только гравитационные, но и горизонтальные силы. Подавляющее число расчетов напряженно-деформированного состояния около полостей в массиве пород проводится в рамках упругой модели среды, ограничиваясь двухмерным случаем. Однако многие, возникающие на практике ситуации в горном деле, не позволяют обоснованно применять решения плоских задач для прогноза напряжений и смещений. В таких случаях используется пространственное моделирование. Наиболее рациональна упругая модель среды, позволяющая, в отличие от пластической, более полно учесть необратимые эффекты, возникающие на некоторых характерных поверхностях скольжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новиков, А. О.** Прикладная механика: учебное пособие для студентов / А. О. Новиков, Ю. А. Петренко. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 153 с.
2. **Петренко, Ю. А.** Электронный конспект лекций по курсу «Прикладная механика» / Ю. А. Петренко. – Донецк : ДонНТУ, 2016. – 92 с.
3. **Новиков, А. О.** Развитие научных основ управления устойчивостью выработок с использованием анкерных систем : дис. ... докт. техн. наук / Новиков Александр Олегович. – Донецк, 2011. – 479 с.
4. **Новиков, А. О.** Способы охраны горных выработок»: учеб. пособ. для студ. / А. О. Новиков, Я. В. Шажко, И. Н. Шестоपालов. – Донецк, 2016. – 195 с.
5. **Кошелев, К. В.** Охрана и ремонт горных выработок / К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков. – Москва : Недра, 1990. – 218 с.
6. **Каретников, В. Н.** Крепление капитальных и подготовительных горных выработок / В. Н. Каретников, В. Б. Клейменов, А. Г. Нуждихин. – Москва : Недра, 1989. – 571 с.
7. **Андреев, Е. Т.** Крепление горных выработок / Е. Т. Андреев, А. С. Щукин. – Москва : Недра, 1964. – 248 с.
8. **Кошелев, К. В.** Поддержание сопряжений горных выработок / К. В. Кошелев, Н. В. Игнатович, В. И. Полтавец. – Киев : Техника, 1991. – 176 с.
9. **Правила безопасности в угольных шахтах Донецкой Народной Республики** [Электронный ресурс] : утв. совместным приказом Гос. Ком. горного и техн. надзора и Мин-ва угля и энергетики ДНР № 36/208 от 18 апр. 2016 г. // Министерство угля и энергетики Донецкой Народной Республики : офиц. сайт. – Электрон. дан. – Донецк, 2016. – Режим доступа: http://mintek-dnr.ru/zue/pravila_bezопасnosti_na_ugolnykh_shakhtakh.pdf. - Загл. с экрана.

Пример расчета средневзвешенной прочности горных пород, вмещающих выработку.

Выбор месторасположения выработки

Цель: изучение метода расчёта средней прочности горных пород, вмещающих выработку, определение типа кровли и почвы пласта.

Исходные данные: тип выработки; глубина расположения выработки H ; ширина B и высота h выработки в проходке; расположение выработки относительно пласта угля; предел прочности угля и вмещающих пород в образце на одноосное сжатие R_f , их литологический состав и мощность m_i ; данные об обводненности и нарушенности угольного пласта и вмещающих горных пород; срок службы выработки t ; угол падения пласта α .

Выполним расчёты для следующих условий:

тип выработки - пластовый откаточный штрек, используется повторно, нарушения в пределах выемочного участка отсутствуют, $H = 800$ м; $m_{шт} = 1,4$ м; $R_{шт} = 15$ МПа; $t = 3$ года; приток воды – до 2 м³/ч; $B = 4,75$ м; $h = 3,74$ м; $\alpha = 13^\circ$; характеристика вмещающих пород и расположение штрека в них приведены на рисунке 1.1.

Методика расчётов. Прежде всего, анализируют исходные данные. При необходимости, например, при наличии горно-геологических нарушений или при изменении в пределах рассматриваемого участка механических параметров вмещающих пород, производится разделение выработки на характерные участки. Определяется коэффициент структурного ослабления для вмещающих пород и коэффициент, учитывающий обводненность пород. По шахтным данным или при их отсутствии, исходя из технологических соображений, выбирают вид и высоту подрывки в выработке. После этого приступают к расчётам.

Решение

Так как в исходных данных указано, что геологические нарушения отсутствуют и ничего не сказано об изменении горно-геологической ситуации и прочностных параметров вмещающих пород по всей длине рассматриваемого штрека, то разделение его на отдельные участки не производим.

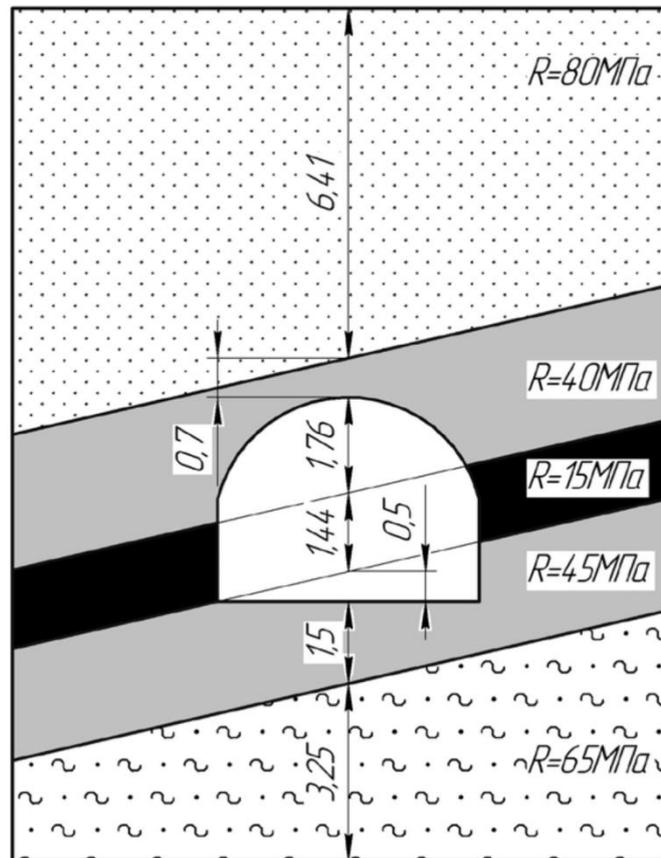


Рисунок 1.1 – Схема к расчёту прочности пород по контуру выработки

Данные кернового бурения отсутствуют, поэтому принимаем значения коэффициента структурного ослабления в пределах, указанных в таблице 5.1 [1]:

для известняка $K_c = 0,95$;

для песчаника и угля $K_c = 0,9$;

для песчаного сланца $K_c = 0,8$;

для глинистого сланца $K_c = 0,7$.

Согласно заданию $\alpha = 13$; $\cos 13^\circ = 0,97$.

Нормальная и вертикальная мощности слоёв практически равны между собой. Поэтому можно не вводить поправку на угол падения.

Коэффициент, учитывающий обводнённость пород. При длительном контакте пород с водой (более 5 – 10 лет: затопление выработки, перепуск по ней воды, капёж из кровли с притоком воды более 2 м³/час), ориентировочно можно принимать коэффициенты: песчаник – 0,8; песчаный сланец – 0,6; глинистый сланец – 0,5; в остальных случаях равен – 1,0. Так как срок службы выработки менее 5 лет и приток воды в выработку незначителен (до 2 м³/ч), то согласно [1] коэффициент, учитывающий обводненность пород, $K_w = 1,0$.

При расчёте средневзвешенной прочности пород учитываются все слои пород мощностью более 0,1 м, пересекаемые выработкой, а также попадающие в область, ограниченную линиями, проходящими от контура выработки на расстояние в кровле равном $1,5*B$, в почве – $1,0*B$ и боках – $1,0*B$ [1].

Согласно заданию штрек пластовый. В кровле пласта залегает глинистый сланец мощностью 2,4 м с $R = 40$ МПа, а в почве - глинистый сланец мощностью 2,0 м и прочность $R = 45$ МПа. Для повышения устойчивости выработку целесообразно располагать в более прочных породах. Если принять только нижнюю подрывку в штраке, то целесообразно принять трапециевидную крепь, чтобы избежать точечной нагрузки, которая будет иметь место при арочной крепи. Как правило, трапециевидная крепь применяется тогда, когда в кровле залегают прочные известняки или песчаники. Их в данном случае нет. Поэтому принимаем комбинированную подрывку, как показано на рисунке 1.1. Согласно рекомендациям ДонУГИ для обеспечения равномерного нагружения верхняка крепи необходимо иметь глубину подрывки пород кровли не менее 0,5...0,7 м посередине выработки. Величину нижней подрывки принимаем 0,5 м. Остальные размеры, приведённые на рисунке 1.1, определяются геометрическим путём. Например, глубина нижней подрывки с правой стороны штрака равна:

$$h_{\text{под}} = 1,6 + \frac{B}{2} \tan \alpha = 1,6 + \frac{4,75}{2} 0,23 = 2,15 \text{ м.}$$

Пределы прочности пород, входящих в указанную выше зону, отличаются более чем на 30%.

Поэтому будем рассчитывать отдельно средневзвешенную прочность пород кровли и почвы по формуле (5.3) [1].

$$R_{\text{СК}} = \frac{\sum(k_c \cdot k_w \cdot R_i \cdot m_i)}{\sum m_{\text{К}}} \quad \text{и} \quad R_{\text{СП}} = \frac{\sum(k_c \cdot k_w \cdot R_i \cdot m_i)}{\sum m_{\text{П}}}$$

В этих формулах $\sum m_{\text{К}} = h + 1,5 \cdot B$ и $\sum m_{\text{П}} = h + 1,0 \cdot B$.

$$R_{\text{СК}} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 45 \cdot 0,5 + 0,9 \cdot 1 \cdot 15 \cdot 1,44 + 0,7 \cdot 1 \cdot 40 \cdot 2,46 + 0,9 \cdot 1 \cdot 80 \cdot 6,41}{0,5 + 1,44 + 2,46 + 6,41} = 52,3 \text{ МПа.}$$

$$R_{\text{СП}} = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 40 \cdot 1,76 + 0,9 \cdot 1 \cdot 15 \cdot 1,44 + 0,7 \cdot 1 \cdot 45 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1 \cdot 65 \cdot 3,25}{1,76 + 1,44 + 2 + 3,25} = 35,6 \text{ МПа.}$$

Принимаем $R_{\text{СК}} = 52,3 \text{ МПа}$, $R_{\text{СП}} = 35,6 \text{ МПа}$.

Средневзвешенная прочность пород на контуре выработки определяется по формуле (5.2) [1].

$$R_{\text{С}} = \frac{R_{\text{СК}} \cdot \sum m_{\text{К}} + R_{\text{СП}} \cdot \sum m_{\text{П}}}{\sum m_{\text{К}} + \sum m_{\text{П}}} = \frac{52,3 \cdot 10,81 + 35,6 \cdot 8,45}{10,81 + 8,45} = 45 \text{ МПа.}$$

Согласно данным таблиц 5.2 и 5.3 [1] непосредственная кровля пласта средней устойчивости, а основная - среднеобрушающаяся.

Устойчивость пород почвы $K_{\text{П}}$ определяется по формуле (5.4) [1].

$$K_{\text{П}} = \frac{H_{\text{р}}}{R_{\text{П}}},$$

где $H_{\text{р}}$ - расчётная глубина расположения выработки, м;

$$H_{\text{р}} = H \cdot k,$$

где k - коэффициент концентрации напряжений за счёт тектонических процессов.

Для условий примера $k = 1$.

$$H_{\text{р}} = 800 \cdot 1 = 800 \text{ м.}$$

Тогда
$$K_{\Pi} = \frac{800}{35,6} = 22,5.$$

Согласно таблице 1.1 для выработки, поддерживаемой для повторного использования породы почвы относятся к пучащим. Рекомендуемые мероприятия по борьбе с пучением пород почвы приведены в таблице 5.41 [1].

Таблица 1.1 – Классификация пород почвы в участковых выработках.

Тип выработки	Значение K_{Π}			
	непучащие	слабо пучащие	пучащие	сильно пучащие
Погашаемые за лавой	до 20	20-25	25-30	30-35
Повторно используемые	до 15	15-20	20-25	более 25
Присечные	до 25	25-30	30-35	35-40
Проводимые за лавой	до 30	30-40	40-45	более 45

Анализ полученных результатов

По полученным значениям $R_{ск}$ и $R_{сп}$ по соответствующим формулам [1] определяются отдельно смещения пород кровли U_k и почвы U_{Π} . Если бы прочность отдельных слоёв пород отличалась менее, чем на 30 %, то можно определять общие смещения пород кровли и почвы по формулам, приведённым в "Указаниях..." [2], подставляя в них $R_{ср.в}$ или по рассчитанным отдельно $R_{ск}$, $R_{сп}$ определить соответствующие значения U_k и U_{Π} .

На круто-наклонных и крутопадающих пластах $R_{ск}$ и $R_{сп}$ рассчитываются по бокам выработки.

Приложение Б

Исходные данные для расчетов

Вариант №	Глубина залегания	Размеры выработки вчерне, м		Угол падения пород, град	Водоприток в выработку, м ³ /ч	Наличие геологических нарушений	Угольный пласт		Непосредственная кровля		Основная кровля		Непосредственная почва		Основная почва	
		В	Н				мощность, м	прочность, МПА	мощность, м	прочность, МПА	мощность, м	прочность, МПА	мощность, м	прочность, МПА	мощность, м	прочность, МПА
1	920	3,27	2,76	5	2	Да	0,7	10	1,1	25УС	15	45ПС	0,9	30ГС	9,5	45ПС
2	970	3,57	3,01	10	3	Нет	0,8	11	1,2	26УС	14	48ПС	1,0	31ГС	8,5	47ПС
3	1080	4,18	3,13	15	4	Нет	0,9	12	1,3	27УС	13	50ПС	1,1	32ГС	7,5	49ПС
4	1130	4,75	3,44	20	5	Нет	1,0	13	1,4	28УС	12	52ПС	1,2	33ГС	8,0	50П
5	1000	5,2	3,55	25	1,5	Да	1,1	14	1,5	29УС	11	53ПС	1,3	34ГС	7,9	51П
6	1100	5,44	3,97	30	2,5	Нет	1,2	15	1,6	30ГС	10	55П	1,4	35ПГС	8,3	52П
7	995	3,27	3,46	35	1	Да	1,3	14	1,7	31ГС	11,5	60П	1,5	34ПГС	9,1	54П
8	890	3,27	3,26	30	0,9	Нет	1,4	13	1,8	35ГС	12,5	57П	1,6	33ГС	9,5	55П
9	1190	3,27	3,06	25	3	Нет	1,5	12	1,9	36ГС	13,5	51П	1,7	32ГС	10	57П
10	1250	3,57	3,71	20	5	Нет	1,35	11	2,0	37ГС	7,5	49ПС	1,8	31ГС	12	49П
11	1300	3,57	3,51	15	7	Нет	1,45	10	2,1	38ГС	8,0	47ПС	1,9	30УС	10,5	47ПС
12	1150	3,57	3,31	10	6	Нет	1,25	11	2,2	39ПГС	8,5	45ПС	2,0	29УС	9	50ПС
13	1200	4,18	3,83	5	4	Нет	1,15	12	2,3	40ПГС	9,0	43ПС	2,1	28УС	8,5	53П
14	1280	4,2	3,63	0	3	Нет	1,05	13	2,4	36ГС	9,5	41ГС	2,2	27УС	8,0	54П
15	1350	4,18	3,43	5	2	Да	0,95	14	2,5	35ГС	10,0	40,5ГС	2,3	31ГС	8,9	48ПС

16	1110	4,18	3,94	10	1	Да	0,85	15	2,6	34ГС	9,2	39ГС	2,4	32ГС	7,8	46ПС
17	1030	4,8	4,14	15	5	Нет	0,75	14	2,7	32ГС	9,4	42ПС	2,5	33ГС	7,6	45ПС
18	1100	4,75	3,74	20	4	Нет	0,65	13	2,8	30ГС	9,0	46ПС	2,35	34ГС	9,1	41ПС
19	1210	4,8	4,24	25	3	Нет	0,7	12	2,9	28ГС	8,6	49ПС	2,15	35ПГС	10,2	40ГС
20	1195	5,2	4,04	30	2	Да	0,8	11	3,0	29ГС	8,0	52П	2,05	36ПГС	12,3	39ГС
21	1020	5,2	3,84	35	0,9	Да	0,9	10	1,5	27УС	11,0	44ПС	1,95	37ПГС	14,1	56П
22	1130	5,44	4,34	20	6	Нет	1,0	12	1,7	26УС	12	43ПС	1,85	38ГС	13,3	47П
23	1320	5,44	4,14	10	4	Нет	1,1	14	1,9	34ГС	13	42ПС	1,75	35ГС	12,5	59П
24	1220	5,44	3,94	5	3	Нет	1,2	15	1,3	33ГС	14	51П	1,65	34ГС	9,9	48П
25	1000	4,2	3,1	0	2	Да	1,3	13	1,2	32ГС	15	40ГС	1,5	30ГС	10,0	50П

Исходные данные для определения устойчивости горных выработок

Наименования показателей	Значения показателей по вариантам																													
	полевая					пластовая					полевая					пластовая					полевая									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Тип проектируемой выработки	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Форма проектируемой выработки	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Высота выработки, м	2,76	3,2	4,0	3,01	3,2	3,44	4,0	5,12	3,0	3,55	2,8	2,5	3,463	66	3,8	3,06	3,6	3,5	3,2	3,71	3,3	3,5	3,31	3,8	4,0	2,5	3,2	3,43	2,2	4,14
Ширина выработки, м	3,27	5,0	4,0	3,57	5,2	4,75	5,8	5,12	4,0	5,20	3,8	3,0	3,273	66	6,4	3,27	4,2	3,5	4,4	3,57	4,2	5,0	3,57	4,5	4,0	4,0	4,6	4,18	3,4	5,44
Прочность угля на одноосное сжатие $R_{сж.л.}$, МПа	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-
Прочность пород на одноосное сжатие $R_{сж.п.}$, МПа	80	90	120	80	25	50	30	60	85	96	120	90	100	15	30	55	70	40	10	8	25	30	80	60	40	30	100	80	120	90
Плотность вмещающих выработку пород γ , т/м ³	2,53	2,80	2,80	2,58	2,89	3,10	3,30	2,45	2,6	2,83	1,65	2,40	2,60	2,75	2,6	2,75	2,6	2,68	2,7											
Планируемая глубина размещения выработки H , м	400	500	350	600	900	200	1000	650	450	500	200	400	1100	1250	800	950														
Расстояние проектируемой выработки до других выработок, м	25	10	80	8	40	35	50	10	80	100	14	7	21	5	10	34	3	9	4	23	12	18	6	28	18	24	7	31	20	8
Угол наклона выработки β , град.	0	5	0	11	0	7	21	0	0	12	17	4	8	9	0	18	15	6	16	0	14	3	24	0	2	16	20	6	0	14
Расстояние между трещинами, м	1,2	1,0	1,0	1,2	0,3	0,65	0,5	1,0	1,5	1,2	2,4	1,5	2,0	0,4	0,8	1,1	0,9	1,0	0,2	0,3	0,5	0,7	1,1	0,9	0,6	0,5	1,5	1,8	1,6	1,5

Наименования показателей	Значения показателей по вариантам																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Срок службы выработки, лет.	5	6	12	8	15	6	10	20	6	3	7	6	5	13	11	9	4	7	13	21	6	3	7	10	7	14	12	7	16	12
Наименование выработки	гл.отк.штрек (двухпутевой)	всп.ходок	вент.квершлаг (однопутевой)	бремсберг	гл.штрек (однопутевой)	вент.ходок	уклон	откат.квершлаг (двухпутевой)	гл.вент.штрек	людка.ходок	бремсберг	уклон	вент.ходок	ходок мех.достав.	конв.квершлаг	уклон	вент.ходок	бремсберг	людка.ходок	гл.откат.штрек (двухпутевой)	бремсберг	фланг.вент.ходок	бремсберг	вент.штрек	вент.ходок	бремсберг	конв.уклон	уклон	гл.вент.квершлаг(однопутевой)	вент.ходок
Количество подаваемого по выработке воздуха, м ³ /мин.	1540	2780	3056	570	4986	3052	706	1250	4900	1020	900	850	1024	789	700	1500	870	960	700	1680	1040	2060	1348	1680	2100	1040	940	860	2890	2000

Исходные данные к выполнению работ №5 и 6

№ /	Размеры		α _{пл} град	α _{нор} Т/М ³	Кровля				Почва				γ _у Т/М ³	ВВ	Св	Метан, М ³ /т		При-ток воды, М ³ /час	Вид Выра-ботки	Глу-бина работ, м					
	№ Г _{нор} , км	Г _{пл} , м			Непосред.	h/Н _г	Основная	Непосред.	h/Н _г	Основная	Непосред.	h/Н _г				Основная	Непосред.				h/Н _г	Основная	Пласт	Выр. пр-во	
					Тип пород	f	h/Н _г	Тип пор	f	h	Тип пород	f	h/Н _г	Тип пород	f	h									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	1,0	200	1	4	2,5	изв	7-8	3	пс	5	10	гс	4	13	п	6	10	1,35	+	-	30	-	2	конв	450
2	1,2	210	1,3	10	2,6	гс	3	6/1	пс	4	8	гс	3	4	п	6	6	1,33	+	-	11	12	4	вент	600
3	1,3	220	1,1	8	2,7	пгс	4-5	9	п	6	9	пс	5	1	п	8	12	1,49	+	-	10	20	10	конв	750
4	1,5	190	1,5	16	2,4	гс	4	7	пс	6	10	пс	6	10	гс	4	9	1,5	-	+	15	25	8	вент	300
5	1,8	160	1,8	12	2,5	изв	9	3	пс	5	10	гс	4	13	п	6	10	1,35	+	-	20	-	2	конв	900
6	1,3	200	1,4	7	2,6	гс	4	8/1	пс	5	8	гс	4	4	п	8	6	1,34	+	-	11	12	4	вент	1000
7	1,3	220	1,1	8	2,7	пгс	4-5	9	п	6	9	пс	5	1	п	8	12	1,49	+	-	12	28	6	конв	1200
8	1,6	240	1,5	6	2,6	гс	3	7/2	пс	6	8	п	8	12	гс	5	22	1,5	-	+	10	20	3	вент	550
9	1,0	200	1,2	14	2,5	гс	4	2	пс	5	12	гс	4	10	п	8	9	1,34	+	-	15	5	3	конв	400
10	1,3	250	1,3	10	2,6	гс	3	6/1	пс	4	8	гс	3	4	п	6	6	1,33	+	-	11	12	4	вент	850
11	1,5	200	1,4	11	2,7	пгс	4	8	п	9	9	пс	6	2	п	8	12	1,44	+	-	12	18	8	конв	1100
12	1,3	190	1,1	15	2,4	гс	4	8	пс	6	12	изв	8	10	гс	3	15	1,42	-	+	15	25	6	вент	650
13	1,1	210	1,1	11	2,6	изв	7	2,5	пс	5	8	гс	3	10	пс	5	9	1,33	+	-	10	10	2	конв	500
14	1,4	240	1,4	14	2,5	гс	3	6/1	пс	5	7	гс	3	5	п	6	8	1,39	+	-	11	14	5	вент	700
15	1,3	200	1,0	2	2,5	пгс	5	9	п	6	10	пс	5	5	п	8	10	1,32	+	-	5	10	2	конв	1300
16	1,5	220	1,5	5	2,5	гс	5	7	пс	7	15	пс	5	10	гс	3	9	1,45	-	+	15	25	6	вент	1050
17	1,6	230	1,3	12	2,5	изв	9	3	пс	5	10	гс	4	13	п	6	10	1,36	+	-	5	5	5	конв	950
18	1,3	210	1,3	9	2,6	гс	4	8	пс	5	8	гс	3	5	п	8	8	1,4	+	-	14	14	4	вент	350
19	1,4	240	1,4	4	2,4	пгс	5	8	п	9	9	пс	5	5	п	8	12	1,45	+	-	12	18	5	конв	1250
20	1,6	240	1,5	6	2,6	гс	3	7/2	пс	6	8	п	8	12	гс	5	22	1,5	-	+	10	20	3	вент	400
21	1,2	220	1,2	12	2,6	гс	3	2	пс	6	12	гс	4	10	п	8	10	1,48	+	-	14	14	4	конв	450
22	1,3	230	1,3	13	2,8	гс	3	6/1	пс	6	8	гс	3	6	п	9	9	1,33	+	-	13	23	3	вент	600
23	1,5	250	1,5	15	2,5	пгс	4	5	п	8	10	пс	5	5	п	8	12	1,55	+	-	15	15	5	конв	750
24	1,3	200	1,4	15	2,4	гс	5	8	пс	5	12	п	9	10	гс	4	15	1,4	-	+	15	25	4	вент	300
25	1,0	160	1,8	4	2,5	изв	7-8	3	пс	5	10	гс	4	13	п	6	10	1,35	+	-	10	10	2	конв	900
26	1,2	210	1,4	10	2,6	гс	3	6/1	пс	4	8	гс	3	4	п	6	6	1,33	+	-	12	16	4	вент	1000
27	1,3	220	1,2	8	2,7	пгс	4-5	9	п	6	9	пс	5	1	п	8	12	1,49	+	-	10	20	10	конв	1200
27	1,5	190	1,3	16	2,4	гс	4	7	пс	6	10	пс	6	10	гс	4	9	1,34	-	+	15	25	8	вент	550
29	1,8	160	1,4	12	2,5	изв	9	3	пс	5	10	гс	4	13	п	6	8	1,35	+	-	20	-	2	конв	400
30	1,3	200	1,2	7	2,6	гс	4	8/1	пс	5	8	гс	4	4	п	7	6	1,34	+	-	11	12	4	вент	850