Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, том XXX, вып. 1, 1955 г.

ЗНАЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ДРУГИХ ПЛОСКОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ДЛЯ ПРАВИЛЬНОГО ВЫБОРА ШИРИНЫ КАМЕР

Канд. техн. наук **П. М. Фомкин**

Определение основных параметров систем разработки является весьма важной и сложной задачей, от решения которой во многом зависит успешное ведение очистных работ. Так, при системах камерно-столбовой, с магазинированием руды, с подэтажной отбойкой и других большое значение имеет правильный выбор ширины камер, определяющий в основном безопасность очистных работ и потери полезного ископаемого при разработке. В большой степени это относится к камерно-столбовой системе.

Необходимо, однако, отметить, что в современной горнотехнической литературе, посвященной разбору этой системы разработки, вопросы о параметрах системы и факторах, влияющих на их размеры, достаточно не освещены. Указывается, например, что размеры элементов системы зависят главным образом от физико-механических свойств руды и пород и от геологических условий месторождения, но детального анализа этих факторов не дается.

Этим недостатком страдают все описания систем разработки рудных месторождений. Размеры элементов системы не рассчитываются, а принимаются на основании опыта работы рудников, имеющих более или менее сходные горнотехнические условия.

Объясняется это главным образом следующим: 1) сложностью задачи, решение которой связано с вопросами давления горных пород; 2) недостаточным изучением и обобщением практики работы рудников; 3) неразработанностью методики научно-исследовательских работ, связанных с определением параметров систем разработки.

В социалистическом обществе, где безопасность работ и правильная эксплуатация месторождений имеют большое государственное значение, такое положение является неудовлетворительным и свидетельствует о существенных недостатках в постановке научно-исследовательских работ по изучению систем разработки. В настоящей статье сделана попытка показать роль и значение некоторых геологических факторов, влияющих на резмеры элементов системы разработки, — трещиноватости и других нарушений в горном массиве. Конкретно рассматривается камерно-столбовая системая разработки рудного месторождения.

В работах советских [1, 2, 3] и иностранных ученых отмечалось, что нельзя смешивать прочность образца (куска) породы с прочностью

породы в массиве. Но до сих пор физико-механические свойства пород обычно оцениваются только по данным лабораторных испытаний отдельных образцов. Однако хорошо известно, что наличие различных нарушений, отсутствующих в образцах, часто существенно изменяет прочность пород в массиве. В ряде случаев это не учитывается, и при определении расчетным путем конструктивных размеров элементов систем разработки пользуются в основном данными, не соответствующими фактическим свойствам пород в массиве. Не касаясь достоинств или недостатков тех или других приближенных методов расчета и теорий, необходимо указать, что такой подход к решению настоящей задачи является неправильным и механистическим.

Только в исключительных случаях, когда породы не имеют нарушений, данные лабораторных испытаний по определению физико-механических свойств образцов пород в основном близки к фактическим свойствам пород в массиве. В этих условиях наблюдается определенная зависимость между прочностью пород и размерами горных выработок, т. е. ширина очистных камер будет тем больше, чем выше устойчивость пород. Наглядным примером, подтверждающим это положение, является практика Джезказганских рудников [4].

Сотрудниками Казахского горно-металлургического института были проведены лабораторные испытания образцов по определению физико-механических свойств указанных пород [4]. Данные этих испытаний приведены в табл. 1. Породы месторождения мало нарушены трещинами, а на ряде участков почти совсем не имеют нарушений, т. е. являются монолитными.

Таблица 1

Породы	Объемный вес, $т/м^3$	Временное сопротивление сжатию, $кг/см^2$	Временное сопротивление разрыву, $кг/см^2$
Серые аркозовые песчаники (рудные и безрудные)	2,5—2,6	1200—1500	70
Смешанные руды и красные песчаники	2,6—2,8	800—1000	35
Сланцы глинистые	2,6—2,7	300— 400	16

Для выявления фактической устойчивости пород в массиве важное значение имели наблюдения за состоянием кровли во время частичной выемки столбов-целиков, а также изучение отслоений непосредственной кровли в некоторых камерах.

Месторождение залегает в толще песчаников и сланцев и состоит из ряда рудных тел пластообразной формы. Руды вкрапленные; четких границ между рудой и породой не наблюдалось. Вмещающие породы — серые аркозовые песчаники мощностью 1—3 *м*, красные песчаники мощностью 2—20 *м* и иногда сланцы мощностью 0,5—22 *м*.

По данным О. А. Байконурова, на участках месторождения, не имеющих тектонических нарушений, пролеты между целиками (с учетом их частичной выемки) в зависимости от мощности непосредственной кровли и характера пород изменялись:

для серых аркозовых песчаников . . . . . от 12 до 30 *м*
для красных песчаников . . . . . от 8 до 16 „
для сланцев . . . . . от 6 до 10 „

Пользуясь приближенным расчетным методом В. Д. Слесарева, были построены графики первых предельных (допустимых) и вторых (опасных) пролетов (рис. 1).

Простой анализ графиков и размеров пролетов (рис. 1) говорит о том, что с увеличением прочности пород, определяемой лабораторными испытаниями физико-механических свойств образцов, расстояния между целиками и ширину камер можно принимать бо́льшими, чем для менее прочных пород.

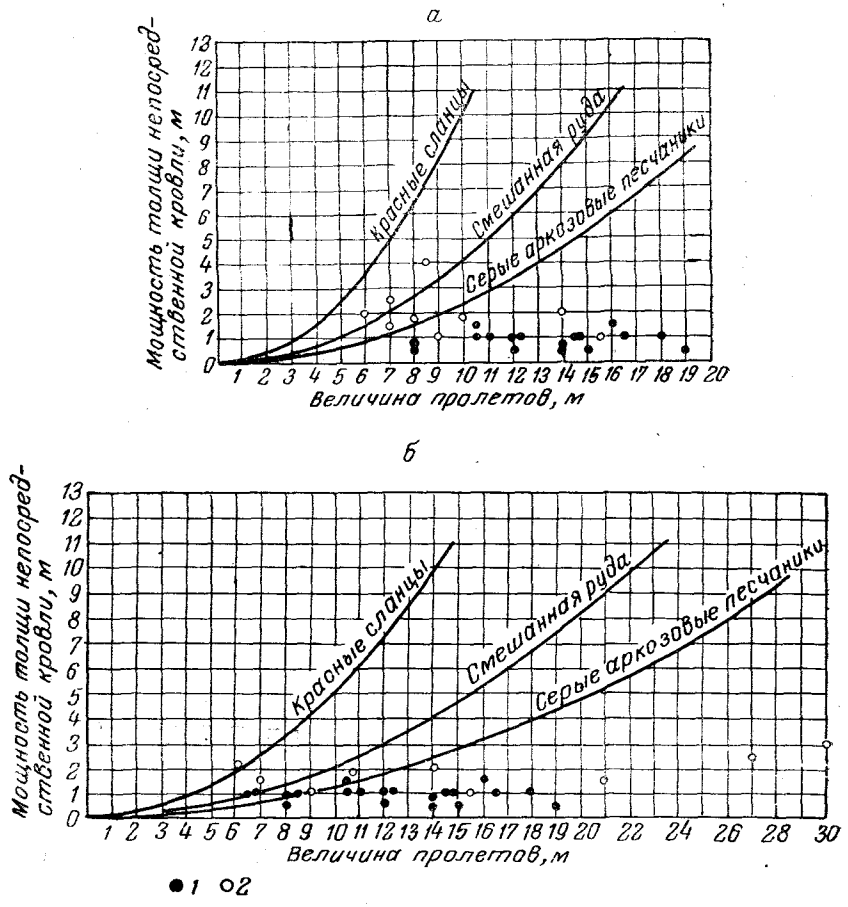


Рис. 1. Графики первых (*а*) и вторых (опасных) пролетов (*б*):
1 — отслаивание и прорыв подкровельной толщи крепкого песчаника; *2* — устойчивая подкровельная толща из крепкого песчаника

Вторым аналогичным примером является разработка соляных месторождений подземным способом. Так, германскими предприятиями Сольвейгалль, Крюгерсгалль, Берлепш и Майбах, Гейлигенрода и другими разрабатываются месторождения карналлита и каменной соли. Временное сопротивление сжатию для этих пород соответственно определено 235—500 *кг/см*^{2}. На указанных предприятиях применяется камерно-столбовая система разработки с шириной камер от 9 до 20 *м*, длиной 125—300—400 *м* и толщиной целиков от 5 до 10—15 *м*. Наибольшая ширина камер (20 *м*) принята на предприятиях, разрабатывающих твердую соль (Гейлигенрода и др.).

На шахтах Соликамского комбината разрабатываются карналлитовый и сильвинитовый пласты различной мощности. Вмещающей породой является каменная соль. Прочность указанных пород по данным Н. И. Галушко приведена в табл. 2.

Таблица 2

Породы	Временное сопротивление сжатию, *кг/см²*	Временное сопротивление изгибу, *кг/см²*	Временное сопротивление разрыву, *кг/см²*
Каменная соль	335	33,5	16,6
Сильвинит	До 300	—	—
Карналлит	60—100	—	—

На основании характеристики пород месторождения и данных табл. 2 можно сделать вывод, что карналлит, обладая довольно большой вязкостью, по своей прочности значительно уступает каменной соли и сильвиниту. Это сказывается на размерах принятых пролетов камер для указанных пластов: при разработке сильвинита ширина камер 15 *м*, ширина целиков 12 *м*, при разработке карналлита ширина камер 8 *м*, ширина целиков 19 *м*.

Следует отметить, что каменная соль и сильвинит, хотя и имеют сравнительно небольшое временное сопротивление сжатию, но из-за большой вязкости и отсутствия серьезных тектонических нарушений обладают значительной устойчивостью, благодаря чему ширина камер в ряде случаев достигает 15—20 *м*.

Однако в практике часто монолитность горных пород в массиве бывает нарушена трещинами и другими плоскостями ослаблений, что не может не отражаться на устойчивости пород, а следовательно, и на безопасных размерах очистных выработок (камер).

О значении различных нарушений в горном массиве для правильного выбора ширины камер некоторое представление может дать практика разработки одного из полиметаллических месторождений вкрапленных руд в Казахстане.

Месторождение представлено пластообразной залежью, состоящей из ряда пачек доломитизированных известняков. В кровле залегают четыре пачки таких же известняков общей мощностью до 7—8 *м*, с непромышленным оруденением, еще выше залегают довольно устойчивые массивные известняки.

Сотрудниками Ленинградского горного института была проведена работа по определению физико-механических свойств пород кровли и руды данного месторождения.[1]

На основании лабораторных испытаний образцов пород были установлены средние значения временных сопротивлений (табл. 3).

Таблица 3

Участки	Среднее временное сопротивление, *кг/см²*	
	сжатию	изгибу
Центральный	720	70
Восточный	960	86
Западный	1270	150

[1] Работа проводилась под общим руководством проф. П. И. Городецкого.

Исходя из приведенных в табл. 3 значений временных сопротивлений, можно сделать вывод, что породы месторождения, особенно его западного участка, являются довольно прочными и способны выдержать значительные обнажения.

Однако в процессе эксплуатации месторождения оказалось, что устойчивость пород кровли значительно ниже, чем это предполагалось

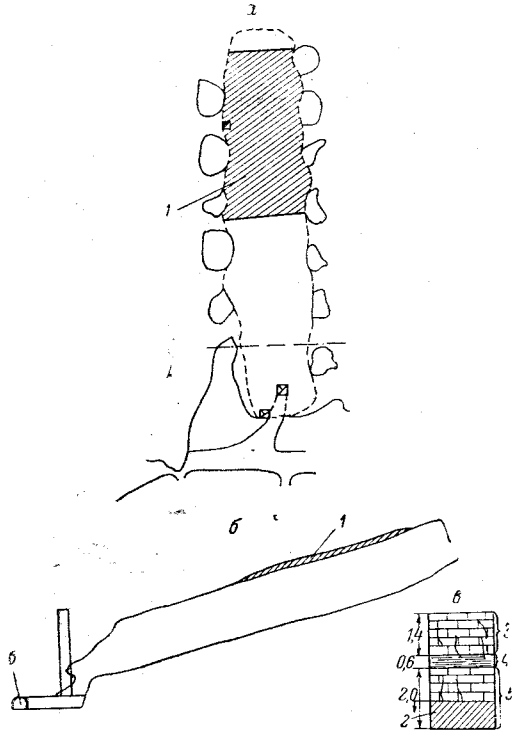


Рис. 2. План (*а*) и разрез (*б*) по оси первой камеры блока 13, горизонта II. Разрез кровли камеры (*в*):
1 — площадь отслоения; *2* — толщина отслоения; *3* — средняя плитчатая пачка; *4* — сланцеватая пачка; *5* — нижняя плитчатая пачка; *6* — штрек горизонта II

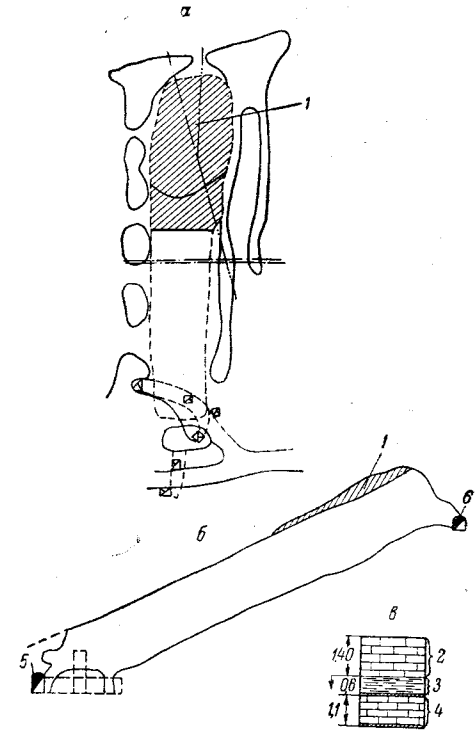


Рис. 3. План (*а*) и разрез (*б*) по оси третьей камеры блока 5, горизонта III. Разрез кровли камеры (*в*):
1 — площадь отслоения; *2* — средняя плитчатая пачка; *3* — сланцеватая пачка; *4* — нижняя плитчатая пачка; *5* — штрек горизонта III; *6* — штрек горизонта II

на основании геологоразведочных данных. В ряде камер (шириной от 8—10 до 14 *м*) происходили обрушения пород непосредственной кровли, что существенно осложнило ведение очистных работ.

Детальная разведка, обследование пород висячего бока и изучение материалов по обрушениям кровли позволили установить следующие причины происходивших обрушений.

1. Породы кровли, считавшиеся ранее более или менее монолитными, в действительности разделены весьма тонкими глинистыми прослойками на сравнительно небольшие по мощности пласты (от 0,2—0,4 до 1—2—3 *м*).

2. В породах кровли наблюдалось значительное число трещин, секущих породы под различными углами. Трещины встречались открытые или заполненные кальцитом или баритом.

Все это в основном и явилось причиной многочисленных отслоений пород кровли в камерах (рис. 2, 3, 4).

Как показал анализ, отслоения в камерах западного и восточного участков происходили либо там, где породы кровли сильно нарушены трещинами, либо при незначительной мощности непосредственной кровли, т. е. при наличии в кровле глинистых прослоек.

Наклонные трещины, пересекающие пласты пород под углом менее 65—70°, снижают устойчивость пород в значительно большей степени, чем крутопадающие трещины.

Учитывая недостаточную изученность механики обрушений пород, нарушенных ранее различными трещинами, для упрощения расчетов вводим понятие так называемых «приведенных» значений временных сопротивлений изгибу. Под последними понимаются такие средние значения временных сопротивлений изгибу, которые определены из предположения, что отслаивающиеся и обрушающиеся породы условно рассматриваются как монолитные, но обладающие пониженной прочностью. Действительно, при наличии открытых трещин, разбивающих породу на отдельные блоки, изгиба как такового быть не может. Это подтверждается и опытами Г. Н. Кузнецова, показавшими, что полное разрушение образца происходит при нагрузке, значительно превосходящей нагрузку в момент образования трещин. Г. Н. Кузнецов считает, что после образования трещин отдельные блоки образца при прогибе начинают работать на сжатие.

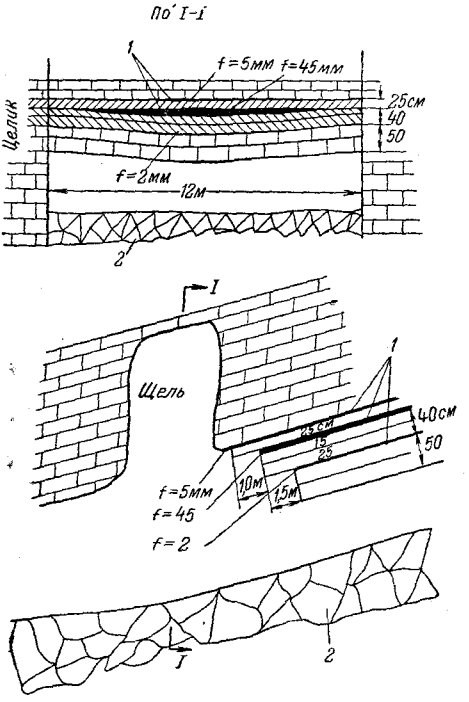


Рис. 4. Зарисовка кровли во второй камере блока 9:
1 — прогиб кровли; *2* — отбитая руда

С другой стороны, наличие в трещинах заполняющего материала, который отчасти как бы цементирует отдельные блоки, может в некоторой степени изменить механику процесса изгиба и обрушения пород.

Приближенными методами расчета (В. Д. Слесарева, Г. Н. Кузнецова, теорией расчета плит) были определены «приведенные» значения временного сопротивления изгибу для пород кровли различных участков (табл. 4).

Таблица 4

Участки	Приведенные значения временных сопротивлений изгибу, *кг/см²*	
	для участков с тектоническими нарушениями кровли	для участков без тектонических нарушений кровли
Центральный	24,0 (34%)[1]	46,0 (66%)
Восточный	27,0 (31%)	55,0 (64%)
Западный	46,0 (30%)	89,0 (59%)

[1] В скобках показана степень прочности массива по сравнению с прочностью образца.

Сравнивая данные лабораторных испытаний образцов со значениями приведенных временных сопротивлений изгибу, характеризующими устойчивость пород кровли в массиве, можно отметить, что в нашем случае прочность пород кровли в массиве, в зависимости от степени их нарушенности, составляет приблизительно от $^1/_3$ до $^2/_3$ прочности образцов.

Несмотря на большие расхождения лабораторных и практических данных, лабораторное определение физико-механических свойств пород имеет большое практическое значение. Только эти данные, в совокупности с данными практики и специальных опытных работ на руднике, могут дать количественное представление о действительных физико-механических свойствах пород. Опытные работы позволяют установить поправочный коэффициент для перехода от прочности образца, определенного в лаборатории, к прочности массива породы.

На основе допустимых напряжений на изгиб, с учетом запаса прочности (табл. 5), в зависимости от типа строения кровли, ее мощности

Таблица 5

Участки	Временное сопротивление пород изгибу (лабораторные данные), *кг/см²*	Допускаемые напряжения на изгиб для участков, *кг/см²*	
		без тектонических трещин	при наличии тектонических трещин
Центральный	70	11,6	5,8
Восточный	86	14,5	7,25
Западный	150	25,0	12,5

и нарушенности были построены графики для определения безопасной ширины камер (рис. 5, 6, 7). При сравнении графиков видно, как снижается устойчивость кровли от наличия трещин и других плоскостей ослабления — весьма тонких глинистых прослоек толщиной 0,5—1—2 *мм*, особенно характерных для малоустойчивой сланцеватой пачки. Поэтому в условиях рассматриваемого рудника при выборе пачки известняков, оставляемой в качестве непосредственной кровли, нужно исходить не только из установленной границы промышленного оруденения, но необходимо прежде всего учитывать прочность и устойчивость этой пачки, так как последнее определит безопасные размеры камер и столбов.

Влияние трещиноватости на размеры элементов системы разработки было исследовано еще на одном из полиметаллических рудников.

Месторождение, разрабатываемое рудником, представлено оруденелым габбро-диабазом. Вмещающие породы — безрудные (с непромышленным оруденением) габбро-диабазы и эффузивные породы.

По данным рудника, крепость пород месторождения по шкале М. М. Протодьяконова определена следующей [1]:

габбро-диабазы . . . . . $f = 12—14$
лабрадоровый порфирит . . . . . $f = 12—14$
эффузивные породы . . . . . $f = 10—12$

Приведенные данные о крепости пород, а также результаты наблюдений за буро-взрывными работами говорят о том, что габбро-диабазы характеризуются высокой крепостью и вязкостью. Однако

[1] Лабораторные испытания образцов пород не проводились, крепость пород установлена по скорости бурения шпуров и скважин.

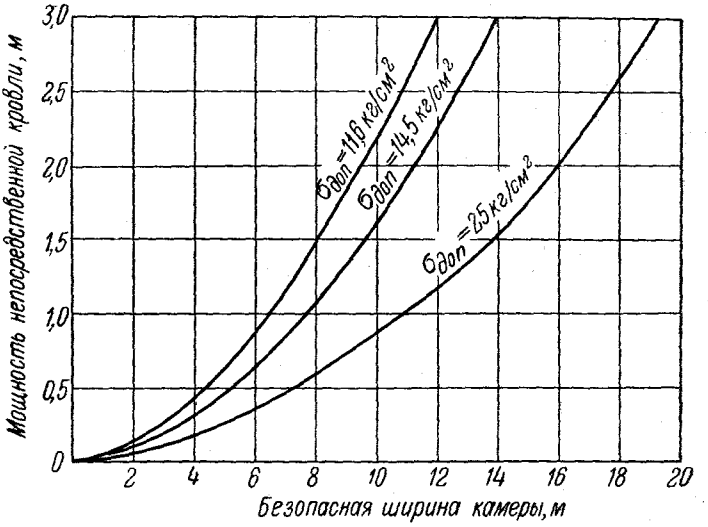


Рис. 5. График безопасных пролетов камер на слабо нарушенных участках (при отсутствии «сланцеватой» пачки)

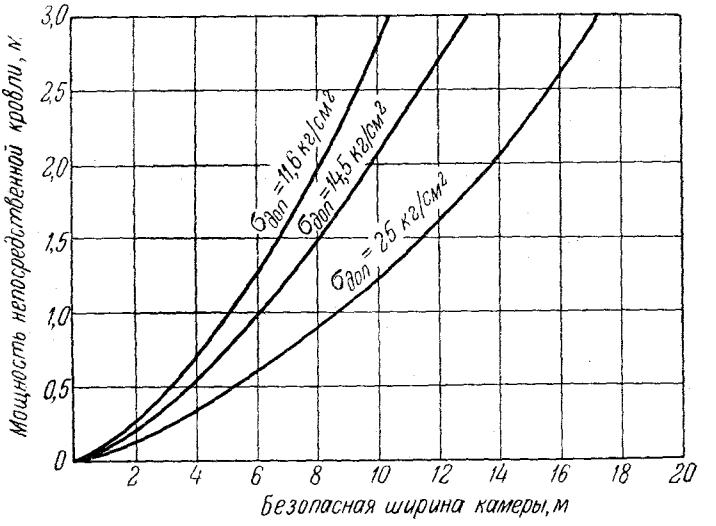


Рис. 6. График безопасных пролетов камер на слабо нарушенных участках (при наличии «сланцеватой» пачки)

устойчивость их в массиве значительно ослаблена весьма развитой системой трещин.

Нарушения пород месторождения [1] можно разделить на три группы: а) нарушения дробления, б) разрывные нарушения и в) трещины. Зоны

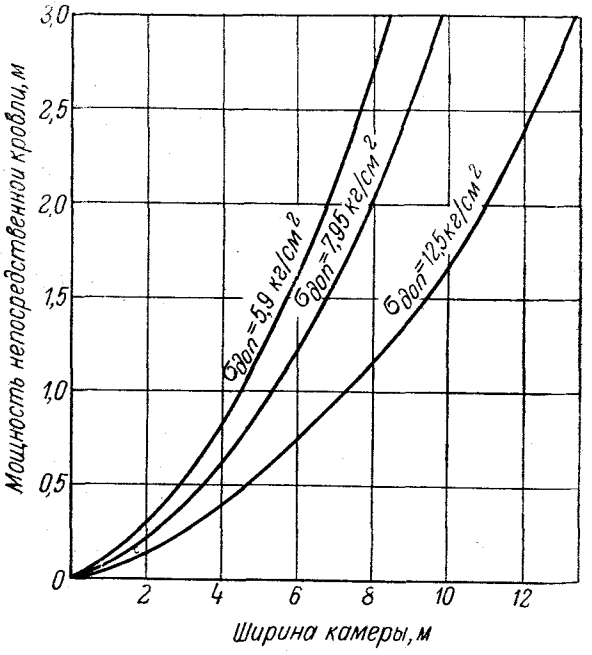


Рис. 7. График безопасных пролетов камер на сильно нарушенных участках (при отсутствии «сланцеватой» пачки)

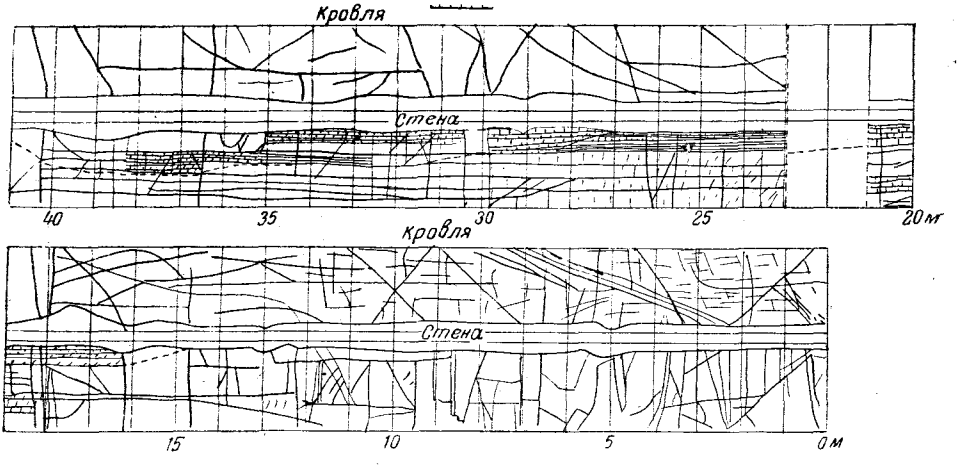


Рис. 8. Зарисовка трещиноватости по штреку № 15 подэтажа III

дробления встречаются сравнительно редко и обычно связаны с разрывными смещениями. Ширина таких зон не превышает 1—3 *м* и расстояния между ними колеблются от 50 до 100 и более метров.

[1] По исследованиям И. Г. Купрова и В. Д. Бизина.

Наиболее распространенным типом нарушений являются трещины, разнообразные по своим размерам, форме, характеру поверхности, минеральным заполнениям и ориентировке (рис. 8). Трещины встречаются крутопадающие, пологопадающие и наклонные, секущие породы по диагонали. Расстояния между трещинами колеблются от нескольких сантиметров до 1—2—3 *м*.

Наличие такой развитой трещиноватости привело к нарушению монолитности и устойчивости горных пород, в результате чего в камерах наблюдались вывалы довольно крупных глыб из кровли и обрушения очистных уступов подэтажей[1]. Все это привело к тому, что ширина камер, вместо принятой первоначально 14 *м* (местами 16 *м*), была уменьшена сначала до 10—12 *м*, а затем до 8 *м*.

В приведенных примерах породы по своей прочности примерно в 3—4 раза превосходили прочность пород соляных месторождений, однако из-за значительных нарушений ширина камер на полиметаллических рудниках (по сравнению с соляными) была в ряде случаев ниже в $1^1/_2$ и даже 2 раза.

Таким образом, при определении безопасной ширины камер в условиях трещиноватых пород решающее значение имеют геологические факторы, в частности характер нарушенности пород непосредственной кровли. К сожалению, при проведении разведочных работ часто не уделяется должного внимания детальному освещению характера вмещающих пород. Особенно это требуется для пород, находящихся в непосредственной близости от рудного тела. Иногда правильное определение прочных размеров конструктивных элементов системы разработки невозможно и появляется необходимость неоднократного их изменения в результате накопления опыта.

Выводы

1. Выявление степени влияния трещиноватости на устойчивость пород имеет большое значение для правильного определения параметров систем разработки. Так как в настоящее время сделать это расчетным путем не представляется возможным, то наряду с лабораторными исследованиями образцов необходимо организовать непосредственно на рудниках специальные опытные работы с целью установления поправочного коэффициента для перехода от прочности образцов к прочности пород в массиве.

2. Результаты лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород могут служить исходными данными для расчетов по определению параметров системы, но при условии установления поправочного коэффициента для перехода от прочности образца к фактической прочности массива пород.

3. Метод установления поправочного коэффициента должен основываться:

а) на тщательном изучении геологических условий месторождения (участка);

б) на данных лабораторных исследований образцов пород;

в) на результатах опытных работ и практики рудника;

г) исходя из предполагаемой системы разработки.

---

[1] На руднике применяются камерно-столбовая система разработки с отбойкой руды из подэтажных выработок и система с магазинированием руды.

4. Успешное решение задачи определения размеров элементов системы во многом зависит от детальности и точности геологоразведочных данных о месторождении и особенно — от знания строения и нарушенности пород как рудного тела, так и непосредственно вмещающих пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слесарев В. Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения. Углетехиздат, 1948.
2. Городецкий П. И. Вопросы управления давлением горных пород в системах разработки рудных месторождений. Труды Совещания по управлению горным давлением. Изд. АН СССР, 1938.
3. Цимбаревич П. М. Механика горных пород. Углетехиздат, 1948.
4. Байконуров О. А. Выемка опорных целиков на шахтах Джезказгана. Горный журнал, 1948, № 5.
5. Галушко Н. И. Некоторые вопросы устойчивости кровли в калийных рудниках на Верхнекамском калийном месторождении. Труды Совещания по управлению горным давлением. Углетехиздат, 1948.
6. Справочник по горнорудному делу. Раздел VI. Металлургиздат, 1952.

Поступило
20/V 1954 г.