МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Ленинград
1979

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ
И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА ВНИМИ

С о г л а с о в а н о:

Генеральный директор ПО Северовосток-уголь
В. П. РУСАКОВ

Технический директор ПО Якутуголь
В. В. ШИКОВ

Технический директор ПО Арктикуголь
Н. Д. ГУСЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Ленинград
1979

УДК 622.831.246:622.838.53:551.345

Методические указания по определению размеров целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты. Л., 1979, 23 с. (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).

Приведены расчетные схемы и формулы для определения нагрузок и несущей способности целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты. Показаны примеры определения размеров целиков и приведены данные о прочностных свойствах многолетнемерзлых углей и пород для основных, разрабатываемых в настоящее время, угольных месторождений Якутии и Магаданской области.

Методические указания рассмотрены и одобрены секцией горного давления Ученого совета ВНИМИ, согласованы с производственными объединениями Северовостокуголь, Якутуголь, Арктикуголь и институтами Востсибгипрошахт, Дальгипрошахт, Сибгипрошахт.

Предназначены для специалистов, занимающихся исследованиями, проектированием и разработкой месторождений в зоне многолетней мерзлоты.

Ил. 3, табл. 1, библиогр. 12.

© Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела ВНИМИ, 1979.

1. ВВЕДЕНИЕ

При подземной разработке угольных месторождений, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, широко применяются системы, при которых управление кровлей в очистных забоях, охрана подготовительных выработок, а также изоляция отработанных участков осуществляется с помощью угольных целиков. Выбор оптимальных размеров целиков определяется, как известно /1-4/, целым рядом факторов горногеологического и экономического характера. При этом принятые размеры угольных целиков должны обеспечивать максимальную полноту извлечения полезного ископаемого и достаточную безопасность ведения горных работ.

Известные методы определения размеров целиков, разработанные для обычных горногеологических условий, при расчете целиков в условиях многолетней мерзлоты приводят к неверным результатам. Это объясняется спецификой свойств многолетнемерзлых пород и особенностями их поведения в процессе очистной выемки.

При разработке данной методики определения размеров целиков приняты к учету такие факторы, как трещиноватость горного массива, наличие в пласте ледяных прослоев и их ориентация относительно элементов залегания пласта, соотношение вертикальных и горизонтальных размеров целика, неоднородность строения и разнопрочность отдельных слоев, характер нагружения, длительность действия нагрузки, возможное ослабление целиков взрывными работами и тепловыми воздействиями.

В основу Методических указаний положены специальные исследования, проведенные лабораторией горного давления на пологих пластах в 1972-1978 гг. Кроме того, использованы основные положения методики расчета целиков различного назначения для обычных горногеологических условий, разработанные ранее проф., д-ром техн. наук Ф. П. Бубликом, канд. техн. наук Г. А. Ивановым, инж. А. В. Плаховым.

2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЦЕЛИКОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ РАЗМЕРОВ

2. 1. Анализ горногеологических условий угольных месторождений, расположенных в области распространения многолетнемерзлых пород, позволяет выделить ряд особенностей, присущих этим месторождениям. К ним относятся: незначительная (30-150 м) глубина разработки пластов, преимущественно пологое их падение; расположение большинства запасов в мощных сближенных пластах; отрицательная температура горных пород и ее изменение с глубиной до положитель-

ной в пределах шахтного поля; наличие в породах и угольных пластах льда. В зоне мерзлоты обводненность горных пород, как правило, отсутствует. Воды, появляющиеся в переходной и подмерзлотной зонах, нередко бывают напорными.

2. 2. Опыт и проведенные исследования /5, 6/ показывают, что, несмотря на различие в литологическом составе углевмещающих пород, существуют общие закономерности в характере поведения многолетнемерзлой толщи при выемке пластов угля. В первую очередь к ним следует отнести повышенные устойчивые пролеты обнажений многолетнемерзлой кровли и зависимость прочностных свойств пород и углей от их температуры.

2. 3. При проведении выработок нарушается естественный тепловой режим горных пород. Это обстоятельство сказывается на прочностных свойствах многолетнемерзлых горных пород, а следовательно, и на несущей способности угольных целиков, оставляемых при отработке месторождений. При этом, в зависимости от места расположения целиков, срока их службы и принятого теплового режима шахты в целиках могут происходить процессы промораживания или оттаивания угольного массива, т. е. горные породы могут подвергаться неоднократным воздействиям знакопеременной температуры. Кроме того, вследствие интенсивного тепломассообмена с воздушной струей, проходящей по выработкам, изменяется влажность и льдистость материала целика.

2. 4. В соответствии с особенностями обрушения и сдвижения мерзлой толщи пород угольные целики в течение длительного времени могут оставаться пригруженными лишь частью вышележащей толщи пород.

С увеличением глубины горных работ повышается температура угольного массива, появляются подмерзлотные воды, изменяются прочность и устойчивость горных пород, а также характер нагружения целиков.

2. 5. Расчет целиков, как известно, сводится к решению трех основных задач: 1) определению нагрузки, действующей на целики; 2) определению несущей способности целиков; 3) обоснованию и выбору коэффициента запаса прочности. Каждая из этих задач является достаточно сложной и требует учета множества факторов, основные из которых перечислены выше.

Расчет целиков производится двумя методами: 1) по допускаемым нагрузкам и деформациям и 2) по предельным напряжениям и деформациям.

2. 6. Способ расчета по предельным напряжениям более точен, однако его применение требует определения параметров длительной прочности и ползучести массива, получение которых связано со значительными трудностями. В отечественной горной практике имеется достаточно сведений о действующих в целиках напряжениях, об их деформировании, частичном и полном разрушении и об условиях, в которых такие явления происходят. Это позволяет для определения размеров целиков в обычных условиях использовать способ расчета по их предельной несущей способности. Однако для условий многолетней мерзлоты такие данные практически отсутствуют. Кроме того, на пути применения тео-

рии предельного равновесия возникает препятствие, которое объясняется тем, что в мерзлых горных породах в результате изменения их прочности под влиянием температурных воздействий переход в предельное состояние будет происходить неодновременно по всему объему целика. В связи с этим известные теоретические решения применительно к условиям многолетней мерзлоты имеют ограниченные возможности и не позволяют учитывать все многообразие условий с достаточной полнотой и достоверностью.

2. 7. Для условий многолетней мерзлоты принят метод расчета целиков по допускаемым нагрузкам, который включает экспериментальные определения прочностных свойств углей и пород и исследование проявлений горного давления и сдвижения толщи пород в целях обоснования действующих на целики нагрузок.

2. 8. С целью получения достоверных значений прочностных характеристик многолетнемерзлых горных пород применяли комплексный метод. Он включал лабораторные исследования основных факторов, влияющих на прочность многолетнемерзлых горных пород, установление качественной стороны этих зависимостей и натурные испытания для получения исходных значений прочности. Исходные значения прочности затем корректировали в соответствии с зависимостями, полученными при лабораторных испытаниях для изменяющихся временных и температурных условий. Такой подход позволял с достаточной надежностью определить несущую способность целиков с учетом влияния на нее всех основных факторов.

2. 9. Областью применения данной методики является зона многолетнемерзлых пород с глубиной разработки до 200 м. При переходе в зону таликов изменяются как прочностные свойства пород, так и характер нагружения целиков, что, естественно, потребует проведения дополнительных исследований.

2. 10. Требования, предъявляемые к целикам, определяются их назначением. Все виды целиков, применяющихся в рассматриваемых условиях, можно разделить на две группы: для систем разработки короткими и длинными очистными забоями.

2. 11. При камерной и камерно-столбовой системах разработки (короткими забоями) в вариантах, наиболее распространенных в условиях многолетней мерзлоты, междукамерные целики должны обеспечивать такой характер обрушения кровли, при котором в течение заданного времени сохранялась бы устойчивость камер. Срок службы таких целиков исчисляется от нескольких суток до нескольких недель.

2. 12. При системе разработки камерами-лавами целики, оставляемые между камерами, должны обеспечить управление основной кровлей и всей толщей пород до поверхности. Управление непосредственной кровлей в этом случае полностью осуществляется крепью. При такой системе разработки устойчивость целиков должна сохраняться, как правило, в течение нескольких месяцев.

2. 13. При системах разработки длинными очистными забоями управление кровлей осуществляется полным обрушением с применением

посадочных или механизированных крепей. В этом случае целики оставляют только для охраны подготовительных выработок, они служат в течение длительного времени (несколько лет).

2. 14. Кроме целиков, предназначенных для управления кровлей и защиты подготовительных выработок, оставляют различного рода предохранительные и барьерные целики, срок службы которых исчисляется годами и десятилетиями.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЦЕЛИКИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

3. 1. Величины нагрузок на междукамерные целики зависят от размеров отрабатываемого участка, объемного веса покрывающих пород и характера их обрушения. Исследованиями /7, 8/ установлено, что нагрузка на междукамерные целики формируется в основном под влиянием пород непосредственной кровли. Ее мощность для различных пластов колеблется в пределах 8–20 м. Несбходимый срок службы таких целиков в среднем составляет 15–20 сут. Их основное назначение – предохранить пространство рабочей камеры от прорыва обрушенных пород из соседней отработанной камеры. Нагрузка на целики определяется, исходя из веса первично обрушающейся породной пачки:

$$P_{ф} = (A + b)(l + d)\gamma h_{н}, \qquad (1)$$

где A – ширина камеры, м; b – ширина междукамерного целика, м; l – длина целика, м; d – ширина сбойки (рассечки), ограничивающей целик, м; γ – средний объемный вес пород, т/м^3; $h_{н}$ – мощность непосредственной кровли, м.

3. 2. Междублоковые (барьерные) целики отделяют выработанное пространство отработанного блока (камеры-лавы) от смежного, находящегося в работе. Они могут быть сплошными (ленточными) или разрезанными сбойками. Нагрузка на целики такого рода определяется прежде всего весом покрывающих пород в объеме призмы с площадью поперечного сечения KEFN (рис. 1). Кроме того, на целик могут передавать давление с обеих сторон обломившиеся блоки пород. Эти блоки опираются с одной стороны на обрушенные породы, а с другой – на массив пород над целиком.

3. 2. 1. Полная нагрузка на сплошной (ленточный) междублоковый целик будет равна

$$P_{ф} = (B + H\operatorname{tg} d)\gamma H, \qquad (2)$$

где B – ширина барьерного целика, м; H – глубина работ, м; $d = 90^{\circ} - \varphi$ (φ – угол полных сдвижений пород).

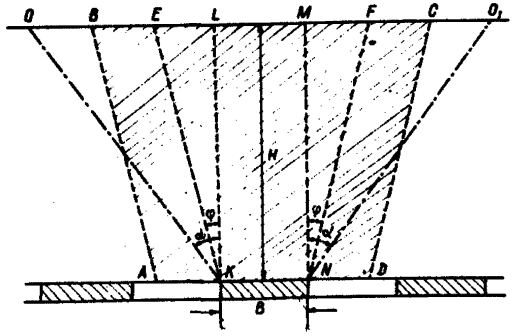


Рис. 1. Схема к расчету барьерных целиков

3. 2. 2. При необходимости оставления междублоковых целиков с рассечками фактическую нагрузку на такие целики следует определять из выражения:

$$P_ф = (B + H \operatorname{tg} \alpha)\ (\alpha + l\ ).\gamma H \qquad (3)$$

3. 3. Определение нагрузки на целики, оставляемые для охраны подготовительных выработок, поддерживаемых позади очистного забоя, при сплошной системе разработки (между конвейерным штреком вышележащего отработанного столба и вентиляционным штреком нижележащего отрабатываемого столба) в принципе не отличается от способа определения нагрузок на барьерные целики (см. п. 3. 2).

3. 3. 1. При системе разработки длинными столбами с погашением подготовительных выработок вслед за подвиганием очистного забоя нагрузка на целик между конвейерным штреком отрабатываемого столба и вентиляционным штреком нижележащего определяется по формуле:

$$P_ф = (B + 0,5D + 0,5H \cdot \operatorname{tg}\alpha)\ \gamma H, \qquad (4)$$

где D – ширина охраняемой выработки, м.

3. 3. 2. Ширина целика между параллельными выработками принимается равной 10–15 м, исходя из условий исключения утечек воздуха между ними. При этом проверяется устойчивость целика под влиянием нагрузки, равной весу столба породы над ним. Нагрузка на целики, оставляемые со стороны выработанного пространства, определяется из условия, что они воспринимают на единицу своей длины вес толщи налегающих пород (см. фигуру OGQK на рис. 2) и может быть вычислена по формуле (4).

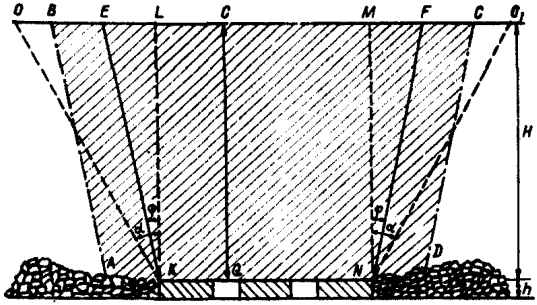


Рис. 2. Схема к расчету охранных целиков

4. ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

4. 1. Общие положения

Для практических целей наиболее достоверные сведения о прочностных свойствах многолетнемерзлых пород можно получить только в результате натурных испытаний. В таблице приведены данные, которые следует принимать в качестве исходных при определении размеров угольных целиков. Они получены в результате исследований, выполненных ВНИМИ в 1973-1977 гг., в натурных условиях, на шахтах основных угольных месторождений Якутии и Магаданской области.

При изменении мерзлотно-геологических условий данные таблицы могут быть использованы только после соответствующей корректировки согласно зависимостям, полученным в результате исследований в лабораторных условиях.

4. 2. Влияние ледяных прослоев на прочность многолетнемерзлых горных пород на сжатии

4. 2. 1. Изучение строения пластов угля, залегающих в зоне многолетней мерзлоты, показывает, что в этих условиях, как правило, на контактах пласта с почвой и кровлей, а также на различной высоте от них расположены ледяные прослои мощностью от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Ледяные прослои располагаются как параллельно, так и под различными углами к напластованию. Наличие ледяных прослоев в горной породе, согласно исследованиям ВНИМИ, уменьшает ее прочность на сжатие в 2-8 раз.

4. 2. 2. Прочность мерзлой горной породы на сжатие при наличии в ней ледяных прослоев, расположенных горизонтально, необходимо определять по следующей зависимости:

$$R_\lambda = \frac{h}{\frac{\lambda}{R_л} + \frac{h_м}{R}}, \qquad (5)$$

где h – полная высота целика, м; λ – толщина ледяного прослоя, м R_λ – прочность льда на сжатие, равная 24 кгс/см^2; $h_м = h - \lambda$ – высота целика без ледяных прослоев, м; R – прочность материала целика без ледяных прослоев, кгс/см^2.

4. 2. 3. При определении прочности по формуле (5) значение λ следует принимать равным сумме ледяных прослоев, если толщина отдельных прослоев не превышает $0{,}08h$. Если хотя бы один из прослоев больше или равен $0{,}08h$, то вместо суммы подставляют только толщину этого прослоя.

4. 2. 4. Формула (5) справедлива только при горизонтальном расположении ледяных прослоев. При изменении угла их наклона прочность необходимо определять по следующей зависимости:

$$R_\lambda^\omega = \frac{R_\lambda}{1 + (\frac{R_\lambda}{C} - 1)\sin^3\omega}, \qquad (6)$$

где C – величина сцепления льда с материалом целика, кгс/см^2; ω – угол наклона ледяного прослоя к плоскости напластования, градус.

Формула (6) справедлива при углах наклона прослоев от 0 до 35°. При углах наклона от 35 до 60° прочность на сжатие равна сцеплению льда с материалом целика. При углах свыше 60° прочность целика равна его прочности на сжатие в мерзлом состоянии, но без ледяного прослоя, т. е. наличие прослоя можно не учитывать.

4. 2. 5. Изучение строения пластов угля в зоне многолетней мерзлоты свидетельствует, что ледяные прослои залегают на различных расстояниях от почвы и кровли пласта. Максимальную прочность имеют целики, у которых ледяные прослои расположены по середине их высоты или на опорных поверхностях. При расположении прослоя между серединой целика и его торцами прочность снижается всего на 10–35%. Поэтому при определении несущей способности целиков влияние места расположения ледяного прослоя по высоте целика можно не учитывать, поскольку эта незначительная ошибка пойдет в сторону увеличения запаса несущей способности целика.

4. 3. Влияние температуры и влажности на прочность мерзлых коренных пород

4. 3. 1. Горные породы в зоне многолетней мерзлоты имеют естественную отрицательную температуру и определенную влажность.

Порода	Глубина работ Н, м
	Анадырское
Уголь пласта "Основного	50
Уголь пласта "Слоистого П".	70
Аргиллит, почва пласта "Основного" . .	50
Аргиллит, кровля пласта "Основного" . .	50
Песчаник аркозовый белый, кровля пласта "Слоистого П"	70
	Аркагалинское
Уголь пласта "Первого"	60
Уголь пласта "Второго"	120
	Месторождение
Уголь пласта "Первого"	40
Песчаник мелкозернистый, основная кровля пласта "Первого"	25
Алевролит, переслаивание с аргиллитом; непосредственная кровля пласта "Первого"	37
Песчаник мелкозернистый, нижний слой непосредственной кровли пласта "Первого"	41
	Сангарское
Уголь пласта "Логового"	32
Уголь пласта "Сложного".	20
	Галимовское
Уголь пласта "Крайнего"	40

Температура массива t, °C	Влажность W, %	Кубиковая прочность на сжатие R_c, кгс/см^2	Прочность на растяжение R_p, кгс/см^2
м е с т о р о ж д е н и е			
-3,0	18,5	80	11,6
-2,2	18,5	30	4,5
-3,0	11,3	8	6,1
-3,0	13	13	10
-2,2	7,6	40	14
м е с т о р о ж д е н и е			
-1,0	-	62	4,5
-1,4	-	78	10,0
Д ж е б а р и к и - Х а я			
-2,5	8,6	80	12,5
-5,7	-	45	6,5
-3,0	-	70	10
-3,0	-	95	9,5
м е с т о р о ж д е н и е			
-0,5	-	16	3
-0,2	-	12	2
м е с т о р о ж д е н и е			
-0,3	-	100	11, 4

С увеличением глубины от земной поверхности естественная температура массива горных пород повышается. Кроме того, при ведении горных работ от присутствия людей и действия механизмов также происходит повышение температуры пород, окружающих выработки, а вследствие теплообмена с воздушной струей наблюдаются сезонные колебания их температуры.

4. 3. 2. В результате испытаний горных пород, весьма отличающихся по прочности (от 150 до 2000 кгс/см^2), было установлено, что породы, имеющие небольшую прочность на сжатие (150–350 кгс/см^2) при положительной температуре, а также породы, отличающиеся значительной пористостью (8–12%) и трещиноватостью (слабый песчаник, сланец, уголь), при замораживании увеличивают свою прочность на 15–45%. В то же время прочность таких пород, как диабаз, крепкий песчаник, известняк и мрамор при замораживании уменьшается на 20–40%.

4. 3. 3. При повышении температуры от отрицательной до положительной прочность угля снижается (рис. 3), причем основное уменьшение прочности происходит при повышении температуры от –6 до –2°С. При изменении температуры ниже –6 и выше –2°С прочность угля практически не изменяется.

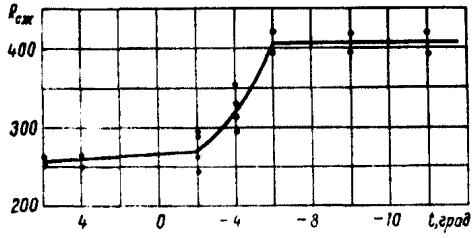


Рис. 3. Влияние температуры на прочность образцов угля

4. 3. 4. Прочность угля на сжатие R_t при изменении его температуры от 0 до –6°С необходимо определять по следующей формуле:

$$R_t = \frac{R_м}{1 + \left(\frac{R_м}{R_1} - 1\right)\frac{t_м - t}{t}}, \quad (7)$$

где $R_м$ и R_1 – значения прочности угля соответственно при температуре –6°С и при положительной температуре, кгс/см^2; $t_м = -6°С$; t – фактическая температура пород, °С.

4. 3. 5. Изменение влажности мерзлого угля в диапазоне 0,2–9% практически не влияет на его прочность при сжатии.

5. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕЛИКОВ

Несущая способность целика $P_н$ зависит, главным образом, от таких факторов, как прочность его материала, площадь поперечного сечения, соотношение между высотой и шириной. В общем виде она определяется из выражения:

$$P_н = R_c S k_ф, \quad (8)$$

где R_c – кубиковая прочность на сжатие материала целика, тс/м^2; S – площадь поперечного сечения целика, м^2; $k_ф$ – коэффициент формы.

5. 1. Определение коэффициента формы

5. 1. 1. Коэффициент формы $k_ф$ характеризует изменение прочности целика в зависимости от соотношения между его шириной b и высотой h. Исследованиями ВНИМИ установлено, что для мерзлых углей характер изменения $k_ф$ в интервале $0,25 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 4$ подчиняется следующей зависимости:

$$k_ф = 0,75 + 0,25 \frac{b}{h} \cdot \qquad (9)$$

5. 1. 2. При наличии в пласте угля ледяных прослоев значение $k_ф$ необходимо вычислять по следующей формуле:

$$k_ф = 0,9 + 0,1 \frac{b}{h} \cdot \qquad (10)$$

На основании исследований Ф. П. Бублика /4/, а также М. Борецкого и А. Кидибинского /9/ считаем допустимым пользоваться выражениями (9) и (10) для целиков с отношением $\frac{b}{h}$ от 0,25 до 10–12.

5. 2. Выбор коэффициента запаса прочности

5. 2. 1. Устойчивые размеры целиков определяют исходя из предположения, что действующая на них нагрузка $P_ф$ уравновешивается несущей способностью $P_н$ с некоторым коэффициентом запаса n, т. е.

$$P_ф = \frac{P_н}{n} \cdot \qquad (11)$$

5. 2. 2. Значение коэффициента запаса прочности целика принимают в зависимости от степени достоверности данных по прочностным характеристикам горных пород, слагающих целик, точности расчетной схемы и других факторов. В общем случае коэффициент запаса прочности подсчитывают по формуле:

$$n = n_1 n_2 n_3 \dots n_n , \qquad (12)$$

где $n_1, n_2, n_3 \dots n_n$ – коэффициенты, учитывающие отдельные факторы, в частности, n_1 – разброс показателей прочностных свойств угля, n_2 – изменение прочности угля под влиянием температуры, n_3 – масштабный фактор. Согласно исследованиям ВНИМИ, для угольных пластов в зоне многолетней мерзлоть следует принимать $n_1 = 1,3$. Поскольку температура горных пород может изменяться от естественной отрицательной (–2÷ –8) до положительной, то значение n_2 необходимо выбирать дифференцированно. Например, при температуре пород –2°С

и выше его следует принимать равным 1, а при температурах пород от −2 до −6°С и ниже его значения выбирают от 1 до 1,8–2 методом линейной интерполяции. Если в расчетах используют прочностные характеристики, полученные при натурных испытаниях, то можно принять $m_3 = 1$.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ

Согласно исследованиям, существенное влияние на прочность мерзлых углей оказывают ледяные прослои. Поэтому определять размеры целиков необходимо с учетом эффекта снижения прочности угля при наличии в нем ледяных прослоев.

6. 1. Междукамерные целики

6. 1. 1. В случае, когда в пласте угля ледяные прослои отсутствуют, ширину целика определяют из следующего уравнения:

$$(A + b)(l + d)\gamma h_н = \frac{R_\tau}{m}(b - q)(l - q)\left(0{,}75 + 0{,}25\ \frac{b-q}{h}\right), \qquad (13)$$

где A – ширина камеры, м; b – ширина целика, м; q – поправка, учитывающая влияние на целик взрывных работ, м; h – высота целика, м; d – ширина сбойки, м; R_τ – длительная прочность материала целика, которая рассчитывается в зависимости от срока его службы по формуле

$$R_\tau = R_\infty + \frac{R_c - R_\infty}{(\tau + 1)^{1-\alpha}}, \qquad (14)$$

где R_∞ – предел длительной прочности на сжатие угля данного пласта, тс/м^2; R_c – прочность угля на сжатие при условно-мгновенном нагружении, тс/м^2; τ – срок службы целика, сут; α – эмпирический коэффициент (по данным Ж. С. Ержанова /10/ для горных пород $\alpha = 0{,}7$). Остальные обозначения в формуле (13) те же, что указывались ранее. Значение R_∞ для мерзлых пород, согласно исследованиям /11/, принимается равным $0{,}5R_c$

6. 1. 2. Если в пластах угля имеются ледяные прослои, то ширину целика необходимо определять из уравнения:

$$(A + b)(l + d)\gamma h_н = \frac{R_\tau}{m}(b - q)(l - q)\left(0{,}9 + 0{,}1\ \frac{b-q}{h}\right). \qquad (15)$$

В этом случае при определении величины R_τ в формулу (14) необходимо подставлять значение прочности, вычисленное по формуле (5), если ледяные прослои расположены параллельно напластованию, или по формуле (6) – в случае залегания их под углом к напластованию.

6. 1. 3. Примеры расчета ширины междукамерных целиков.

Пример 1

Исходные данные: ширина камеры A = 18 м; объемный вес пород кровли γ = 2,5 т/м^3; мощность пород непосредственной кровли $h_н$ = 3 м; длина целика l = 100 м; высота целика h равна мощности пласта m = 2,2 м; ширина рассечки d = 3 м; температура горных пород t = -0,5°C; кубиковая прочность угля по данным натурных испытаний R_c = 120 тс/м^2; срок службы целика τ = 10 сут (условия примерно соответствуют Сангарскому месторождению). Так как температура угля t = -0,5°C, то, согласно исследованиям (см. п. 4. 3. 4), температурную поправку к значению прочности можно принять равной 1.

Коэффициент запаса прочности n, определенный по формуле (12) для этих условий будет равен 1,3. Определяем длительную прочность угля (тс/м^2) по формуле (14):

$$R_\tau = 60 + \frac{120 - 60}{(10 + 1)^{0,3}} = 90.$$

Подставим исходные данные в уравнение (13) и решаем его относительно b :

$$(18 + b)(100 + 3)\, 2,5 \cdot 3 = \frac{90}{1,3}(b - 0,6)(100 - 0,6)(0,75 + 0,25\frac{b - 0,6}{2,2});$$

$$b^2 + 5,1b - 22,4 = 0;$$

$$b = 2,82 \approx 3 \text{ м}.$$

Пример 2

Исходные данные: ширина камеры A = 10 м; объемный вес пород кровли γ = 2,5 т/м^3; мощность пород непосредственной кровли $h_н$ = 10 м; длина целика l = 25 м; высота целика h равна мощности пласта m = 3 м; ширина сбойки d = 3 м; кубиковая прочность угля по данным натурных испытаний R_c = 800 тс/м^2, срок службы целика τ = 10 сут; температура пород t = -4,7°C; n = 3. Определяем длительную прочность угля (тс/м^2) по формуле (14):

$$R_\tau = 400 + \frac{800 - 400}{(10 + 1)^{0,3}} = 600.$$

Подставляем исходные данные в уравнение (13) и решаем его относительно ширины целика b :

$$(10 + b)(25 + 3)(2,5 \cdot 10) = \frac{600}{3}(b - 0,6)(25 - 0,6)(0,75 + 0,25\frac{b - 0,6}{3});\ b^2 + 6,4b - 23,2 = 0;\quad b = 2,5 \text{ м}.$$

Пример 3

Исходные данные принимаем те же, что и в примере 2, только на контактах пласта с кровлей и почвой расположены согласно с залеганием пласта ледяные прослои мощностью соответственно 8 и 7 см; температура пород $t = -4,7^{\circ}C$.

Определяем прочность угля (тс/м^2) с учетом влияния ледяных прослоев по формуле (5):

$$R_c = \frac{3,0}{\frac{0,15}{24} + \frac{3 - 0,15}{80}} = 714.$$

Находим длительную прочность угля (тс/м^2) согласно выражению (14).

$$R = 357 + \frac{714 - 357}{(10 + 1)^{0,3}} = 530 \text{ тс/м}^2.$$

Подставляем исходные и вычисленные данные в уравнение (15) и находим значение b :

$$(10 + b)(25 + 3)\ 2,5 \cdot 10 = 530 \frac{1}{3}(b - 0,6)(25 - 0,6)(0,9 + 0,12 \frac{b - 0,6}{3});$$

$$b^2 + 17,3 - 53 = 0; \quad b = 2,7 \text{ м}.$$

Пример 4

Исходные данные: ширина камеры $A = 8$ м; объемный вес пород кровли $\gamma = 2,5$ т/м^3; мощность пород непосредственной кровли $h_н = 5$ м; длина целика $l = 30$ м; мощность пласта $h = 3,2$ м; ширина сбойки $d = 3$ м; температура пород $t = -3^{\circ}C$; мощность ледяных прослоев 0,1 м. Ледяные прослои залегают под углом к напластованию $\omega = 45^{\circ}$. При таком расположении прослоев прочность угля равна сцеплению льда с материалом целика (см. п. 4. 2. 5), т. е.

$$R_c = C = 200 \text{ тс/м}^2.$$

Определяем длительную прочность угля (тс/м^2) по формуле (14):

$$R_т = 100 + \frac{200 - 100}{(10 + 1)^{0,3}} = 148 \text{ тс/м}^2.$$

Подставим исходные и вычисленные данные в уравнение (15) и находим значение b:

$$(8 + b)(30 + 3) \cdot 2,5 \cdot 5 = \frac{148}{3}(b - 0,6)(30 - 0,6)(0,9 + 0,1 \frac{b - 0,6}{3,2});$$

$$b^2 + 9,08 - 46,7 = 0; \quad b = 3,5 \text{ м}.$$

6. 2. Междублоковые (барьерные) целики

6. 2. 1. Ширину междублоковых (барьерных) целиков без ледяных прослоев необходимо определять из следующего уравнения:

$$(B + H\,tg\alpha)(d+l)\gamma H = R_c\,(B-q)(l-q)\left(0{,}75 + 0{,}25\frac{B-q}{h}\right) \quad (16)$$

6. 2. 2. При наличии в пласте угля ледяных прослоев ширину целика необходимо определять из уравнения:

$$(B + H\,tg\alpha)(d+l)\gamma H = R_c\,(B-q)(l-q)\left(0{,}9 + 0{,}1\frac{B-q}{h}\right). \quad (17)$$

В формулах (16) и (17) исходя из особенностей работы широких целиков, у которых $\frac{b}{h} > 12$, необходимо принимать коэффициент n равным единице, а кубиковую прочность R_c – при условно-мгновенном нагружении.

6. 2. 3. Примеры расчета ширины междублоковых (барьерных) целиков.

Пример 1

Исходные данные: вынимаемая мощность пласта $m = h = 4$ м; глубина работ $H = 150$ м; угол между плоскостью забоя и плоскостью, проходящей через верхнюю кромку пласта и точку проекции начала плоского дна мульды, $\alpha = (90 - \varphi) = 22^\circ$; ширина сбойки $d = 3$ м; кубиковая прочность угля на сжатие $R_c = 500$ тс/см^2; объемный вес пород $\gamma = 2{,}5$ т/м^3; длина целика $l = 80$ м; температура горных пород $t = -1{,}8^\circ$С.

Подставим исходные данные в уравнение (16) и найдем значение B:

$$(B + 150\ 0{,}4)(80 + 3)\ 2{,}5\ 150 = 500\ (0{,}75 + 0{,}25\frac{B - 0{,}6}{4})\ x$$

$$x\ (B - 0{,}6)(80 - 0{,}6);$$

$$B^2 - 1{,}62B - 756{,}8 = 0; \qquad B \approx 28\ м.$$

Пример 2

Исходные данные: вынимаемая мощность пласта $m = h = 3{,}5$ м; глубина работ $H = 60$ м; угол $\alpha = 22^\circ$; ширина сбойки $d = 3$ м; кубиковая прочность угля на сжатие $R_c = 800$ тс/м^2; объемный вес пород $\gamma = 2{,}5$ т/м^3; длина целика $l = 25$ м; температура пород $t = -4{,}7^\circ$С.

Подставив исходные данные в уравнение (16), найдем величину B:

$$(B+60\cdot0,4)(25+3)\,2,5\cdot60 = 800\,(0,75+0,25\frac{B-0,6}{3,5})\times$$
$$\times\,(B-0,6)(25-0,6);$$

$$B^2+7B-86=0; \quad B=6,5\ м.$$

Пример 3

Исходные данные те же, но в угольном пласте на различном расстоянии от почвы параллельно напластованию расположены ледяные прослои суммарной мощностью 0,1 м.

Определяем прочность угля ($тс/м^2$) с учетом влияния ледяных прослоев согласно зависимости (5):

$$R_c = \frac{3,5}{\frac{0,1}{240}+\frac{3,4}{800}} = 750.$$

Подставив исходные данные в уравнение (17), находим значение B:

$$(B+60\cdot0,4)(25+3)\,2,5\cdot60 = 750\,(0,9+0,1\,\frac{B-0,6}{3,5})\times$$
$$\times\,(B-0,6)(25-0,6);$$
$$B^2+21B-202=0; \qquad B\approx7\ м.$$

6. 3. Целики для охраны подготовительных выработок

6. 3. 1. Если в пласте угля отсутствуют ледяные прослои, ширину целиков определяют из уравнения:

$$(B+0,5D+0,5\cdot H\cdot tg\alpha)\gamma H = \frac{R_\tau}{n}(0,75+0,25\,\frac{B-q}{h_1})(B-q), \qquad (18)$$

где h_1 – высота выработки, м.

6. 3. 2. Если в пласте угля расположены ледяные прослои, ширину целиков следует определять из уравнения:

$$(B+0,5D+0,5\cdot H\,tg\alpha)\gamma H = \frac{R_\tau}{n}(0,9+0,1\,\frac{B-q}{h_1})(B-q). \qquad (19)$$

6. 3. 3. Примеры определения размеров целиков, оставляемых для охраны подготовительных выработок.

Пример 1

Исходные данные: мощность пласта m = 4 м; глубина работ H = 150 м; угол α = 22°; ширина выработки D = 3,5 м; высота выработки h_1 = 2,5 м; кубиковая прочность угля R_c = 60 кгс/см^2; температура пород t = –2,2°C; объемный вес пород γ = 2,5 т/м^3;

срок службы целиков τ = 5 лет = 1825 сут. При температуре пород $-2,2^{\circ}C$, согласно (7), коэффициент, учитывающий влияние температуры, равен 1. Тогда коэффициент запаса прочности w, рассчитанный по формуле (12), равен 1,3.

Определим длительную прочность угля ($тс/см^2$):

$$R_{\tau} = 300 + \frac{600 - 300}{(1825 + 1)^{0,3}} = 330.$$

Подставим исходные данные в уравнение (18) и вычислим значение B:

$$(B + 0,5 \cdot 3,5 + 0,5 \cdot 150 \cdot 0,4)\ 2,5 \cdot 150 = \frac{330}{1,3}\left(0,75 + 0,25\frac{B - 0,6}{2,5}\right) \times$$

$$\times (B - 0,6);$$

$$B^2 - 8,5B - 474 = 0; \quad B \approx 27 \text{ м}.$$

Пример 2

Исходные данные: мощность пласта m = 2,2 м; глубина работ H = 150 м; угол α = 22°; ширина выработки D = 3,0 м; высота выработки h_1 = 2,2 м; кубиковая прочность угля R_c = = 30 $кгс/см^2$; температура пород t = $-0,5^{\circ}C$; объемный вес пород γ = 2,5 $т/м^3$; срок службы целиков τ = 5 лет; коэффициент запаса прочности целика w = 1,3.

Определим длительную прочность угля ($тс/см^2$):

$$R_{\tau} = 150 + \frac{300 - 150}{(1825 + 1)^{0,3}} = 170.$$

Подставив исходные и вычисленные данные в уравнение (18), найдем значение B:

$$(B + 0,5 \cdot 3 + 0,5 \cdot 150 \cdot 0,4)\ 2,5 \cdot 150 = \frac{170}{1,3}\left(0,75 + 0,25\frac{B - 0,6}{2,2}\right) \times$$

$$\times (B - 0,6);$$

$$B^2 - 20,5B - 827 = 0; \quad B \approx 40 \text{ м}.$$

Пример 3

Исходные данные: мощность пласта m = 3,5 м; глубина работ H = 60 м; угол α = 22°; ширина выработки D = 3 м; кубиковая прочность угля R_c = 800 $тс/м^2$; объемный вес пород γ = 2,5 $т/м^3$; срок службы целика τ = 5 лет; высота выработки h_1 = 2,5 м; температура пород t $-3,5^{\circ}C$.

Определим длительную прочность угля ($тс/м^2$):

$$R_{\tau} = 400 + \frac{800 - 400}{(1825 + 1)^{0,3}} = 440.$$

Подставим исходные данные в уравнение (18) и решим его относительно B:

$$(B + 0,5 \cdot 3,0 + 0,5 \cdot 60 \cdot 0,4)\ 2,5 \cdot 60 = \frac{440}{3}\left(0,75 + 0,25\frac{B - 0,6}{2,5}\right) \times$$

$$\times\ (B - 0,6);$$

$$B^2 - 9,3B - 142 = 0; \quad B \approx 17 \text{ м}.$$

Пример 4

Исходные данные те же, что в примере 3, но в пласте угля горизонтально расположены ледяные прослои общей мощностью 0,1 м.

Определим прочность угля (тс/м^2) с учетом влияния ледяных прослоев по формуле (5):

$$R_c = \frac{3,5}{\frac{0,1}{240} + \frac{3,4}{800}} = 750.$$

Определим длительную прочность угля (тс/м^2):

$$R_\tau = 375 + \frac{750 - 375}{(1825 + 1)^{0,3}} = 415.$$

Подставим исходные данные в уравнение (19) и найдем величину B:

$$(B + 0,5 \cdot 3 + 0,5 \cdot 60 \cdot 0,4)\ 2,5 \cdot 60 = \frac{415}{3}\left(0,9 + 0,1\ \frac{B - 0,6}{2,5}\right) \times$$

$$\times\ (B - 0,6);$$

$$B^2 - 5B - 314,5 = 0; \quad B \approx 20 \text{ м}.$$

Приведенные примеры являются иллюстрацией определения размеров угольных целиков различного назначения. Пользуясь данной методикой, можно рассчитать их размеры применительно к конкретным условиям разработки угольных пластов в многолетней мерзлоте и в переходной зоне на действующих и проектируемых горизонтах, где глубина горных работ не превышает 150–200 м. При переходе горных работ на подмерзлотные горизонты ориентировочная оценка размеров целиков, очевидно, может быть выполнена по общепринятым методикам с привязкой к конкретным данным по прочности угольного массива и с последующим уточнением этих размеров на основании опыта и всестороннего изучения характера нагружения и деформирования целиков в подмерзлотной зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевяков Л. Д. О расчете прочных размеров и деформаций опорных целиков. – "Изв. АН СССР ОТН". 1941, № 7-9.

2. Слесарев В. Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения. М., Углетехиздат, 1948.

3. Ильштейн А. М., Либерман Ю. М., Мельников Е. А. и др. Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. М., "Наука", 1964.

4. Методические указания по определению несущей способности целиков. Л., 1972. (ВНИМИ).

5. Скуба В. Н. Совершенствование разработки угольных месторождений области многолетней мерзлоты. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1974.

6. Бублик Ф. П., Розенбаум М. А. Способы управления горным давлением при разработке угольных пластов в различных геокриологических зонах шахт Севера (Материалы Всесоюзного научно-технического совещания). М., 1977 (ИГД им. А. А. Скочинского).

7. Модестов Ю. А. Исследование свободного обрушения кровли и работы междукамерных целиков при разработке пластов пологого падения короткими очистными забоями. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1964. (ЛГИ).

8. Жук В. Г. Изучение условий и пути совершенствования разработки Аркагалинского угольного месторождения в зоне вечной мерзлоты. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1970. (ЛГИ).

9. Borecki M., Kidybinski A. Coal strength and bearing capacity of coal pillars. Proceedings of the 2-nd Congress of the Int. Society for Rock Mechanics, Beograd, No 3-21.

10. Ержанов Ж. С. Теория ползучести горных пород и ее приложение. Алма-Ата, "Наука", 1966.

11. Тютюнник П. М. Прочность и устойчивость замороженных горных пород. М., "Недра", 1965.

12. Бублик Ф. П., Иванов Г. А., Плахов А. В. К вопросу определения нагрузки на предохранительные и барьерные целики. – "Уголь", 1974, № 2.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ВВЕДЕНИЕ 3

2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЦЕЛИКОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ РАЗМЕРОВ 3

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЦЕЛИКИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. 6

4. ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД 8

4. 1. Общие положения. 8
4. 2. Влияние ледяных прослоев на прочность многолетнемерзлых горных пород при сжатии. 8
4. 3. Влияние температуры и влажности на прочность мерзлых коренных пород. 9

5. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕЛИКОВ. 12

5. 1. Определение коэффициента формы 13
5. 2. Выбор коэффициента запаса прочности 13

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ 14

6. 1. Междукамерные целики 14
6. 2. Междублоковые (барьерные) целики 17
6. 3. Целики для охраны подготовительных выработок. 18

ЛИТЕРАТУРА 21

Составители

кандидаты техн. наук М. А. РОЗЕНБАУМ, Ю. В. ГРОМОВ

Редактор В. Д. Вакуленко
Технический редактор С. В. Иванова
Корректор И. И. Мороз

Подписано к печати 6/XI-1979 г. М-25834
Формат бумаги 60x90/16. Объем 1,375 п. л. Тираж 200
Печатный цех ВНИМИ Бесплатно. Заказ 51.

УДК 622.831.246:622.838.53:551.345

Методические указания по определению размеров целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты. Л., 1979, 23 с. (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).

МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ, ЦЕЛИКИ, НАГРУЗКА, ЛЕДЯНЫЕ ПРОСЛОИ, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Приведены расчетные схемы и формулы для определения нагрузок и несущей способности целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты. Показаны примеры определения размеров целиков и приведены данные о прочностных свойствах многолетнемерзлых углей и пород для основных, разрабатываемых в настоящее время, угольных месторождений Якутии и Магаданской области

Ил. 3, табл. 1, библиогр. 12.

gost.e-ecolog.ru