

УДК 622.838.5

ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ШИРИНЫ ЦЕЛИКОВ МЕЖДУ ШТРЕКОМ И ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

¹Смычник А.Д., ²Прушак В.Я., ³Дакуко С.Н., ³Кислов Н.В., ³Уразов Д.Н.

ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь

*ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
г. Солигорск, Беларусь**Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь*

Введение

При бесцеликовых технологиях отработки пластов полезных ископаемых лавами и управления кровлей полным обрушением применяются различные варианты охраны участковых подготовительных выработок, расположенных со стороны выработанного пространства, основанные на применении бутовых и литых полос из быстротвердеющих материалов, органной крепи, костров и других искусственных сооружений [1, 2]. Вместе с тем, до настоящего времени широкое распространение имеют способы охраны штреков целиками полезного ископаемого. Основные требования, предъявленные к целикам, заключаются в обеспечении устойчивости подготовительной выработки в зоне влияния очистных работ и саморазрушения целика в выработанном пространстве после выполнения функций по охране выработки.

Несущая способность целиков зависит от конкретного сочетания геологических и горно-технических факторов [3, 4]: физико-механических свойств слагающих целик слоев (для пластовых залежей), срока службы целика, формы целика и его строения, глубины горных работ, размеров отработанных площадей. Калийные и угольные пласты сложены в большинстве случаев слоями (пачками), которые отличаются физико-механическими свойствами. Так, между силвинитовыми слоями расположены прослой глины и галита, что при определенном соотношении их мощности может существенно влиять на несущую способность целика.

Методика исследований

При рассмотрении известных методик расчета напряжений в целике и его ширины необходимо рассматривать несколько ситуаций, при которых целик будет испытывать максимальные величины нагрузок. Для предложенной технологической схемы отработки калийного пласта на участках шахтных полей с ограниченными размерами [5] основными периодами существования целика являются [6]:

1) период нахождения целика в зоне влияния опорного давления лавы, отрабатывающей участок панели до разворота (рис. 1, а);

2) период в зоне влияния статического опорного давления, формирующейся у краевой части целика (рис. 1, б);

3) период в зоне влияния опорного давления после разворота лавы (рис. 2).

Наибольшее отрицательное влияние (наибольшую нагрузку) целик будет испытывать в сечении А–А (рис. 2), где суммируются величины статического и динамического опорных давлений (ситуация 3).

Задачи расчета целиков заключаются в следующем:

1) расчет несущей способности целиков с учетом и без учета фактора времени;

2) определение нагрузки, действующей на целик;

3) обоснование коэффициента запаса прочности целика.

Расчетами нагрузок и необходимой ширины целиков занимались М.М. Протодяконов, Ф.П. Бублик, Г.А. Иванов, А.А. Борисов и др. [3, 4, 6–8].

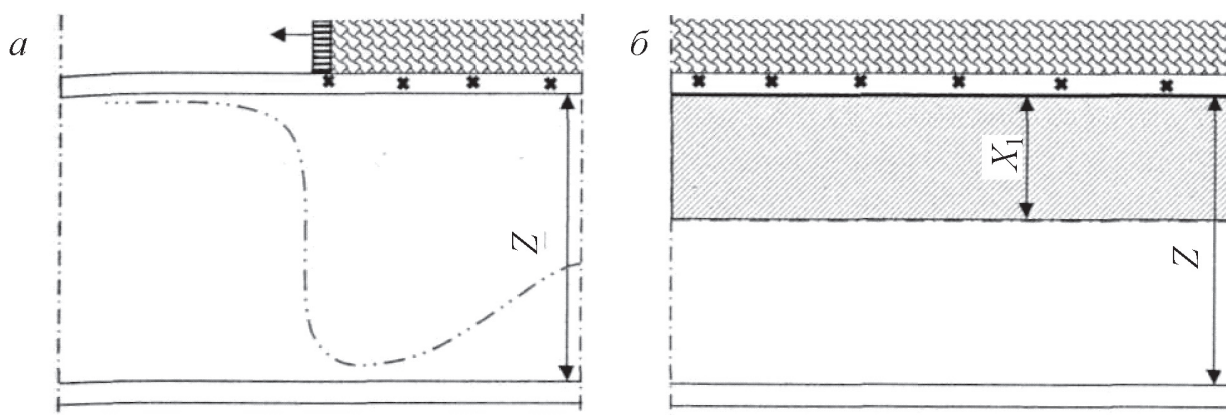


Рис. 1. Расположение зон опорного давления относительно краевых частей массива полезного ископаемого: а — динамического (впереди лавы); б — статического (у неподвижной краевой части массива); X_1 — ширина зоны опорного давления; Z — ширина целика: - - - - граница зоны статического опорного давления над краевой частью массива; - · - · - граница зоны динамического бокового опорного давления лавы

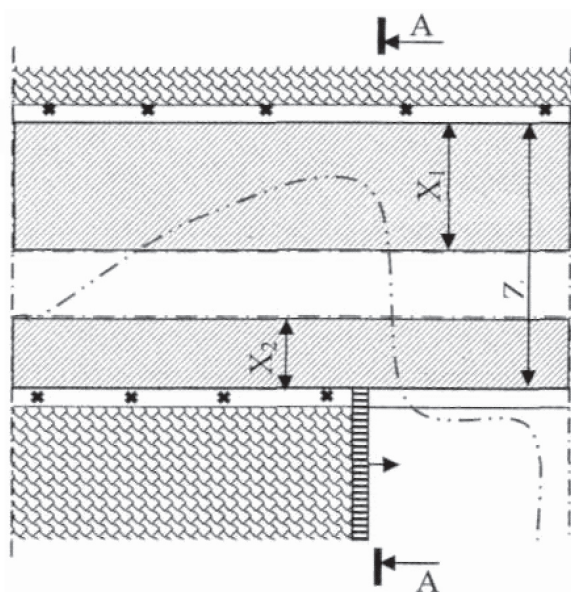


Рис. 2. Расположение зон опорного давления относительно краевых частей массива полезного ископаемого после разворота лавы:

X_1 (X_2) — ширина зоны опорного давления;
 Z — ширина целика

Впервые решение задачи расчета нагрузок на околострековые целики было предложено М.М. Протодяконовым [6], который принял допущение о распределении опорного давления по закону прямой линии. Для определения ширины целика была предложена формула, которая использовалась долгое время для решения практических задач. Недостатком методики, предложенной М.М. Протодяконовым, является то, что она не учитывает совместности перемещения блоков (слоев), влияние времени и действительные

распределения статического опорного давления по ширине целика, что в ряде случаев отрицательно сказывается на результатах расчетов.

Согласно методу Ф.П. Бублика с соавторами [7], расчет нагрузки P , МН/м, на единицу длины целика, исходя из предложенной расчетной схемы, выполняется по формуле

$$P = \left[b g \rho H + \frac{1}{2} g \rho H^2 (\operatorname{ctg} \psi + \operatorname{ctg} \psi') \right] 10^{-6}, \quad (1)$$

где b — ширина целика, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; ρ — плотность породы в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м; ψ и ψ' — углы полных сдвижений пород кровли.

Принятая в источниках [6, 7] расчетная схема вполне удовлетворительно раскрывает сущность нагружения целика породами кровли. Однако ей присущи недостатки, заключающиеся в использовании при выводе формулы (1) равных шагов обрушения для всех почек покрывающей толщи, что имеет место в редких случаях, исключены действия изгибающих моментов от консолей блоков кровли над краевыми частями целика и пригрузки на них от смежных с ними блоков.

В основу расчета нагрузок на целик и его ширины по методике ВНИМИ [3] положено условие, что весь целик находится в предельно-напряженном состоянии. При этом максимум опорного давления находится в центре целика или расположен над его краевыми частями.

Предельная ширина ленточного целика — ширина, при которой весь целик переходит в предельно-напряженное состояние. Этот параметр определяется перекрытием зон необратимых

деформаций и зависит с одной стороны от величины нагрузки, приходящейся на целик, с другой — от показателя прочности целика, например $\sigma_{\text{куб}}$ (прочность породы на сжатие, МПа).

Расчетная схема представлена на рис. 3. Предельную ширину целика определяют исходя из оценки предельного размера $2L_{\text{П}}$ целика:

$$2L_{\text{П}} = \alpha 2x_0, \quad (2)$$

где $2x_0$ — общий пролет выработки, разделенной целиком; α — множитель, значения которого определяют по графику (рис. 4, [3]) в функции от D :

$$D = \frac{k_0 x_0}{g \rho H h}, \quad (3)$$

где $k_0 = 1,3\sigma_{\text{куб}}$ ($\sigma_{\text{куб}}$ — прочность породы на сжатие, МПа); ρ — плотность пород в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м; h — вынимаемая мощность, м.

Параметр τ :

$$\tau = (1 - \alpha) \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}. \quad (4)$$

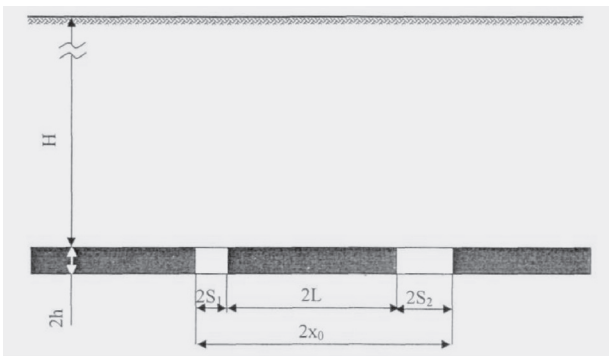


Рис. 3. Расчетная схема ВНИИИ:

h — вынимаемая мощность; $2S_1$ и $2S_2$ — ширина выработок; L — ширина целика

Расчет проводится с использованием метода последовательных приближений. На первом этапе в выражении для τ полагается, что $\alpha = 0$ и по графику (рис. 4) находится значение α , которое используется на втором этапе. Процесс повторяется, пока два последующих значения α не будут практически совпадать. После этого используется формула (2), определяющая размер целика.

Метод расчета нагрузок на целик для охраны штрека, расположенного со стороны выработанного пространства, был усовершенствован в 2003 году и представлен в работе [4]. Сущность методики состоит в том, что зона опорного давления распространяется вглубь массива примерно на расстояние $2l_0$. Однако заметное влияние опорного давления на краевую часть массива не превышает

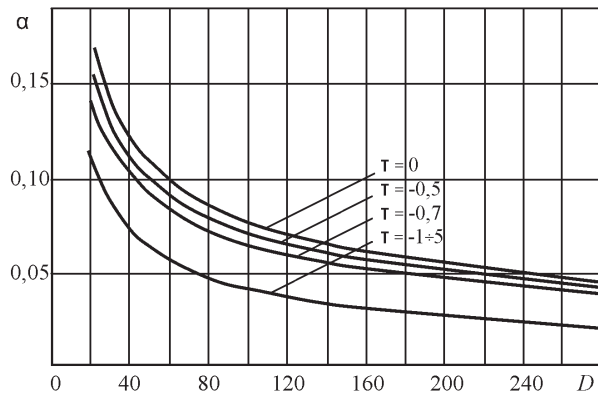


Рис. 4. График для выбора значения множителя α в зависимости от D и τ

величины l_0 . В связи с этим при многоштрековой подготовке выемочных столбов следует рассчитывать лишь крайние целики, непосредственно примыкающие к выработанному пространству, а ширину междуштрековых целиков принимать равной 4–6 м.

Расчетная нагрузка на единицу длины такого целика P_1 , МН/м, равна

$$P_1 = \left[\frac{1}{2} g \rho H (2b + B + l_0 + H \operatorname{tg} \omega) \right] 10^{-6}, \quad (5)$$

где b — ширина целика, м; B — ширина выработки, м; ρ — плотность пород в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м.

При системах разработки с управлением кровлей полным обрушением породы кровли обрушаются с шагом l_0 (рис. 5), образуя поверхность излома, параллельную линии забоя и наклоненную от нормали к напластованию пород в сторону выработанного пространства под углом ω . Величина этого угла при первых обрушениях непосредственной и основной кровель составляет 30–35°.

Нижние слои кровли определенной мощности обрушаются и падают на почву (породы непосредственной кровли) с отрывом от массива, не участвуя в нагружении целика. Вышележащие слои основной кровли разламываются на блоки, которые, опускаясь, взаимодействуют друг с другом. По результатам шахтных наблюдений в лавах установлено, что с массивом, лежащим выше целика, имеет контакт только один крайний (последний обрушившийся) блок, а остальные ранее обрушенные блоки ложатся на породы непосредственной кровли. Породные блоки, которые примыкают к массиву или целику, поворачиваются и одной стороной ложатся на почву, а другой опираются на массив [4, 6]. Таким образом, часть своего веса блок передает на целик, а часть — на обрушенные породы (почву).

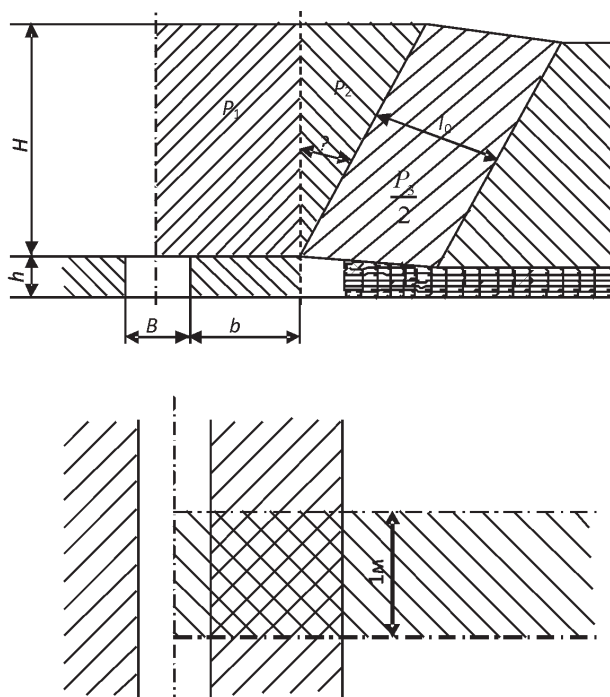


Рис. 5. Расчетная схема для определения нагрузки на целик по методике ВНИМИ [4]

Исследованиями А.А. Борисова [6] установлено, что межстолбовой целик образуется в результате двухстадийного нагружения. В начале при выемке первого столба происходит деформирование краевой части массива (кривая 2, рис. 6, б), причем эта часть будет в последующем включена в ширину целика. При выемке второго столба происходит вторичное деформирование, но теперь уже другой краевой части образованного целика (кривая 3, рис. 6, б). В результате после

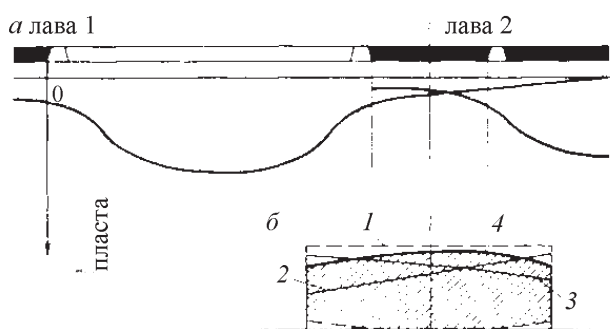


Рис. 6. Схема взаимодействия целика с вмещающими породами при управлении кровлей полным обрушением по А.А. Борисову:

а — последовательность нагружения в разрезе по падению; б — характер формирования деформаций целика; 1 — до начала деформирования; 2 — после воздействия опорного давления лавы 1; 3 — то же от лавы 2; 4 — результирующая

того как целик подвергся влияниям волн боковых опорных давлений лавы 1 и 2, его деформирование происходит по некоторой результирующей кривой (кривая 4, рис. 6, б). При выемке второго столба происходит наиболее интенсивное разрушение краевой части целика, расположенной со стороны выработки.

Следует отметить, что в рекомендуемой технологической схеме [5] мы имеем дело с аналогичной ситуацией в случае охраны повторно используемого штрека целиком полезного ископаемого, разделяющим выработанное пространство лавы, работавшей до разворота, и сохраняемый для повторного использования штрек. Исследования А.А. Борисова показали, что расчеты целиков рассматриваемого типа должны проводиться для двух случаев нагружения: на длительное действие нагрузки в зоне, расположенной позади максимума опорного давления; на кратковременное действие нагрузки, создаваемой динамическим опорным давлением лавы.

Окончательно следует принимать большую из двух полученных величин ширины целика либо разрабатывать методику для определения результирующей — при сложении статического опорного давления над краевой частью целика со стороны выработанного пространства и динамического опорного давления впереди забоя лавы, отработывающей столб с другой бороны от целика (рис. 6).

Характер нагружения целика зависит от его ширины. При достаточно большой ширине целик в средней части нагружается равномерно с опорным давлением $q = grH$. Краевые зоны при этом в зависимости от величин их деформаций могут быть нагружены опорным давлением в пределах от 0 до q_{max} . С уменьшением ширины целика в средней его части начинается перекрытие опорных давлений и они складываются (рис. 7, а), а нагрузка в его средней части возрастает. Если $b < 2b_{кр}$ (рис. 7, б), то q_{max} обеих краевых зон совмещаются и нагрузка в средней части целика резко возрастает.

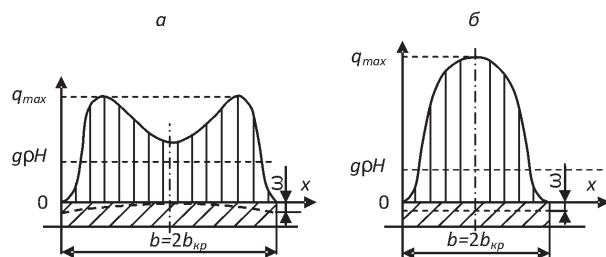


Рис. 7. Схема нагружения целика при различной его ширине

При соблюдении условия устойчивости краевых зон целика расчет его ширины предлагается вести методом последовательных приближений, начиная с минимальной ширины. В работе [3] ширину целика рекомендуется определять из выражения

$$b = \frac{\xi n}{(1 - \mu_{пл}^2) \left(1 - 2\pi\mu \frac{A_0 + B_0}{1000} \right) \sigma_{пч.сж.}} \frac{P}{}, \quad (6)$$

где ξ — коэффициент ползучести при сжатии ($1,2 \div 2,0$); n — коэффициент запаса деформаций целика ($2 \div 4$); $\mu_{пл}$ и μ — коэффициенты Пуассона породы в целике и кровле; A_0 и B_0 — табличные значения коэффициентов, зависящие от соотношения размеров целика и коэффициентов Пуассона [3]; $\sigma_{пч.сж.}$ — предел прочности основной кровли на сжатие, МПа; P — суммарная нагрузка на единицу длины d целика, МН/м.

В монографии А.А. Борисова приводится также упрощенная формула для случая, когда $h/b = 0,1$, чему соответствует $A_0 + B_0 = 50$. Тогда при $\mu_{пл} = \mu = 0,3$ выражение (6) принимает вид

$$b = 1,22\xi n \frac{P}{\sigma_{пч.сж.}}. \quad (7)$$

При минимизации потерь полезного ископаемого в целиках их ширина варьируется в интервале от 1 до 5 м. Целик с такой шириной относится по рассматриваемой методике [6] к третьему типу ($b < b_{кр}$). Механизм взаимодействия целика с породами покрывающей толщи заключается в следующем. Действию суммарного изгибающего момента кровли M_l противостоят консольные пачки, в основании которых залегают слои-мосты. В большинстве случаев на такой целик действует не полная толща пород до поверхности (особенно на больших глубинах разработки), а лишь пачка слоев, мощность которой определяется положением того слоя-моста, у которого прогиб над целиком меньше величины сжатия целика.

Предполагается, что

$$\sum_1^n M_i = P_{пр.} l_{пр.}, \quad (8)$$

где $P_{пр.}$ и $l_{пр.}$ — приведенные сила и пролет.

Приведенный пролет $l_{пр.}$ находят из геометрических соотношений вылетов консолей, образованных слоями-мостами [6].

Реакция R целика создает момент, действующий в противоположном направлении моменту $\sum M_i$ покрывающей толщи, и характеризуется зависимостью [6]

$$R = \frac{\lambda_{ц.пр.} P_{пр.} l_{пр.}^3}{3E_{пр.} I_{пр.} + \lambda_{ц.пр.} l_{пр.}^3}, \quad (9)$$

где $\lambda_{ц.}$ — жесткость целика; $E_{пр.}$ и $I_{пр.}$ — приведенные модуль упругости и момент инерции действующей части зависающих над целиком пород.

При малой ширине целик работает по закону линейного сжатия, поэтому

$$b = \frac{nR}{\sigma_{пч.сж.}} = \frac{n\lambda_{ц.пр.} P_{пр.} l_{пр.}^3}{\sigma_{пч.сж.} (3E_{пр.} I_{пр.} + \lambda_{ц.пр.} l_{пр.}^3)}, \quad (10)$$

где $n = 1,3-1,5$ — запас прочности целика с небольшим сроком службы.

Эта методика достаточно полно отражает напряженно-деформированное состояние целика, однако не учитывает влияние опорного давления лавы после формирования целика при отработке смежного столба.

Принимая во внимание то обстоятельство, что возникновение зон опорного давления происходит возле неподвижных и перемещающихся краевых частей массива полезного ископаемого, допустимым при решении практических задач является суммирование напряжений, установленных для зон статического и динамического опорного давления.

После сложения напряжений схема нагружения искомого целика будет выглядеть следующим образом (рис. 8). Максимальные напряжения целик будет испытывать в сечении А-А на расстоянии X_{max} , которое равняется расстоянию от забоя лавы до максимума опорного давления q , формирующегося у неподвижной границы очистных работ.

До начала влияния опорного давления лавы со стороны ранее отработанного столба будет сформирована зона статического опорного давления над краевой частью целика (рис. 2).

Отметим, что в соответствии с данными, приведенными в работе [8], вокруг выработок 2 и 3 (рис. 8) образуются зоны нарушенности 4. Исходя из предложенных гипотез и исследований зон эксплуатационной трещиноватости, возникающей при подготовительных и очистных работах, зона максимальных напряжений будет иметь форму сектора 5 (рис. 8). Причем нагрузка на целик будет уменьшаться в направлении подвигания лавы.

Проведенный анализ известных методик и способов расчета предельной ширины целика показал, что методика [3] позволяет получить результаты, наиболее близкие к фактическим в условиях отработки участка по рекомендуемой схеме [5]. Результаты расчета представлены на рис. 9.

Результаты вычислений для получения более достоверных выводов о рекомендуемой ширине искомого целика целесообразно сравнивать со статистическими данными, представленными на рис. 10, где пунктирной линией обозначены

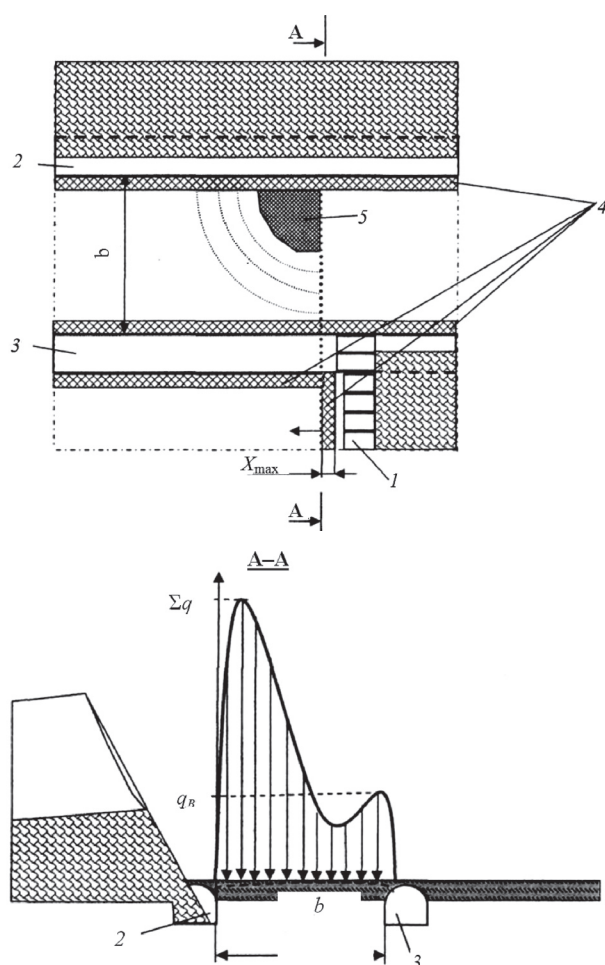


Рис. 8. Схема формирования нагрузок на целик:
1 — лава; 2 — конвейерный штрек ранее отработанного столба; 3 — конвейерный штрек обрабатываемого столба; 4 — зоны эксплуатационной трещиноватости, возникающие в окрестностях выработок; 5 — зона максимальных напряжений, действующих на целик

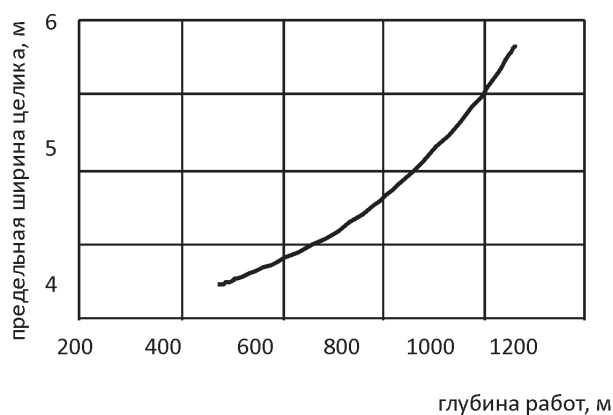


Рис. 9. Зависимость предельной ширины целика от глубины горных работ для условий отработки IV сильвинитового слоя Третьего калийного пласта

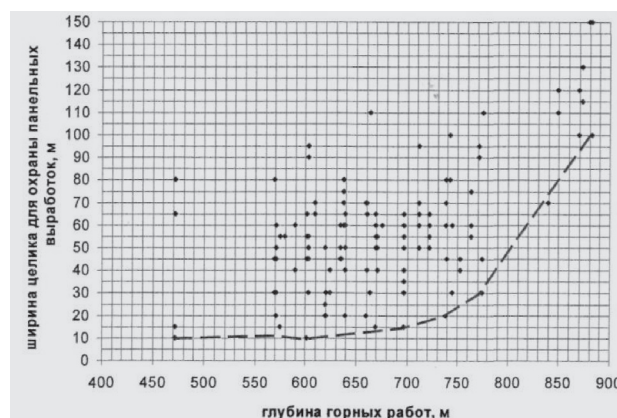


Рис. 10. Фактические значения ширины целиков, оставляемых для охраны панельных выработок в пределах шахтных полей РУП «ПО «Беларуськалий»» (пунктирной линией обозначены минимальные значения)

минимальные размеры целиков, оставленных для охраны выработок, используемых при отработке смежных столбов. Такое сравнение целесообразно проводить для исследуемых условий разработки, т.к. это обеспечивает определение коэффициента корректировки результатов расчета по рассмотренным ранее методикам и учитывает неоднократное воздействие опорного давления лавы на состояние целика. Например, для методики расчета, представленной в работе [3], коэффициент корректировки составляет 3,9–10,0 и более при глубинах разработки 500–1000 м. Заметим, что эти коэффициенты являются минимальными.

К числу факторов, оказывающих существенное влияние на выбор расположения участковых подготовительных выработок относительно краевых частей горного массива, относятся параметры зон повышенной нарушенности пород непосредственной кровли трещинами эксплуатационного происхождения [11]. Если этот фактор не учитывать, то могут существенно увеличиться затраты на ремонтно-восстановительные работы в выработках и снизится безопасность труда. Особое значение приобретает расположение зон с повышенной нарушенностью пород кровли, когда в качестве основной крепи подготовительных выработок используется анкерная крепь, не предназначенная для применения в сильнотрещиноватых неустойчивых породах.

Проведенные исследования показали, что в окрестности участковой подготовительной выработки в общем случае следует различать три характерные области повышенной трещиноватости.

Область А (рис. 11) непосредственно прилегает к подготовительной выработке 2, погашенной

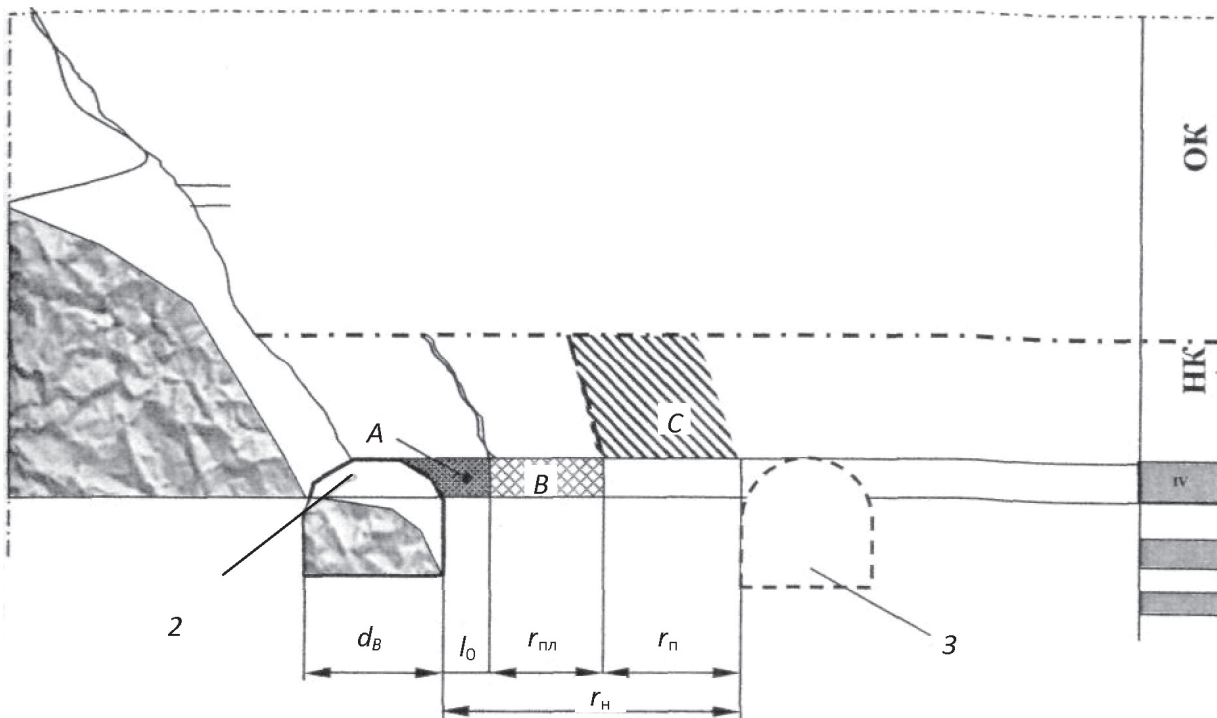


Рис. 11. Расчетная схема для определения места расположения присечной выработки

при отработке столба до разворота лавы. Размеры этой области зависят, главным образом, от способа проведения выработки и физико-механических свойств вмещающих пород. Максимальная ширина зоны нарушенных пород наблюдается при буровзрывном способе проведения выработок, минимальная — при комбайновом. По данным шахтных исследований [10–12], выполненных для широкого диапазона изменения горно-геологических условий, глубина распространения области A в массив (l_0 , рис. 11) обычно не превышает 0,3–0,5 м. Породы непосредственной кровли, расположенные в пределах области A , как правило, неустойчивы и обрушаются при их обнажении.

После проведения выработки активизируется процесс образования зон повышенной трещиноватости в массиве вмещающих пород за пределами области A . Этот процесс начинается с наиболее слабого элемента, которым в большинстве случаев является пласт полезного ископаемого.

Переход участков пласта в предельное состояние и разрушение происходят последовательно с распространением зоны запредельного состояния вглубь массива. Разрушенный пласт в пределах области B (рис. 11) сохраняет остаточную несущую способность и, благодаря этому, создает силы отпора, препятствующие увеличению области запредельного состояния. Таким образом, по

мере разрушения пласта полезного ископаемого величина бокового давления уменьшается вследствие перераспределения нагрузок на большую площадь, что, в конечном итоге, приводит к прекращению процесса трещинообразования в пласте. Затуханию процесса разрушения пласта способствует также его защемление опускающимися породами кровли.

На момент прекращения процесса разрушения пласта полезного ископаемого максимум опорного давления будет расположен вблизи границы зоны неупругих деформаций в пласте со стороны нетронутого массива.

При величинах напряжений в зоне опорного давления, превышающих прочности пород непосредственной кровли на одноосное сжатие, и относительно небольших силах бокового отпора возможно разрушение пород кровли на удалении от выработанного пространства, превышающем глубину $l_{пл}$ распространения в массив зоны запредельного состояния в пласте полезного ископаемого. Разрушение пород непосредственной кровли происходит последовательно от элемента к элементу по схеме: разрушение — перераспределение напряжений — разрушение. По мере распространения области C запредельного состояния пород непосредственной кровли вглубь массива интенсивность процесса разрушения уменьшается,

что связано с увеличением сил бокового отпора и снижением концентрации напряжений в зоне опорного давления.

Образование зоны неупругих деформаций в породах непосредственной кровли наиболее вероятно при залегании выше нее труднообрушающихся пород, склонных к значительным зависаниям при их обнажении. В этом случае не происходит защемления пород непосредственной кровли над зоной разрушенного пласта. Поэтому величины бокового отпора характеризуются минимальными значениями.

Резкой активизации процесса перехода непосредственной кровли в предельное состояние способствуют разломы слагающих ее породных слоев над границей зоны запредельного состояния пласта от изгиба или скола.

Выводы

1. Известные методы оценки и расчета предельной ширины целика не могут непосредственно без корректировки использоваться при отработке калийных пластов на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий». Расчетные и фактические величины отличаются друг от друга в 3,2 раза и

более для глубин разработки 500–1000 м. При расчете предельной ширины целика наиболее близкие результаты позволяет получить методика ВНИМИ [3].

2. Для выбора места расположения присечной выработки, проводимой вслед за подвиганием лавы, отрабатывающей столб до разворота, целесообразно использование метода расчета ширины зон эксплуатационной трещиноватости, основанного на проведении присечного штрека за пределами зоны эксплуатационной трещиноватости, формирующейся вследствие влияния на массив горных пород подготовительных и очистных работ. По результатам расчета ширина целика между проводимой выработкой и выработанным пространством составляет 1,6–2,4 м для диапазона глубин разработки 500–1000 м. Ширина зоны эксплуатационной трещиноватости в окрестности присечной выработки, поддерживаемой на границе с выработанным пространством в условиях отработки Третьего калийного пласта, изменяется от 1,0–1,5 м на глубинах разработки 500–600 м до 3,0–5,3 м на глубинах разработки более 800 м.

Литература

1. Бурчаков, А.С. Процессы подземных горных работ / А.С. Бурчаков, Н.К. Гриноко, Л.И. Очерняк. — М.: Недра, 1982.
2. Бахтин, А.Ф. Бесцеликовые схемы подготовки и отработки пологих пластов / А.Ф. Бахтин, Ю.К. Батманов, Н.К. Таратута // Уголь. — 1982. — № 7. — С. 27–31.
3. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля: метод. указания ВНИМИ. — Л., 1973.
4. Методическое руководство по выбору геометрических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. — СПб. — 2003. — С. 28–52.
5. Зубов, В.П. Способ подземной разработки пластов на участках с ограниченными размерами: пат. 2282720 РФ, МПК7 Е 21 С 41/20 / В.П. Зубов, Д.В. Уразов; заявл. 18.04.05; опубл. 15.09.06 // Бюлл. № 9. — 2006.
6. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. — М.: Недра, 1980. — 360 с.
7. Бублик, Ф.П. К вопросу определения нагрузки на предохранительные и барьерные целики / Ф.П. Бублик, Г.А. Иванов, А.В. Плахов // Уголь. — 1974. — № 2. — С. 3–5.
8. Зубов, В.П. Методические рекомендации по предотвращению вывалов пород из кровли в лавах, отрабатываемых на больших глубинах в условиях шихт Восточного района Донбасса: метод. рекомендации / В.П. Зубов, С.С. Андрушкевич, А.А. Иванов. — Шахты, 1986. — С. 21–26.
9. Зубов, В.П. Метод оценки параметров областей с повышенной нарушенностью пород кровли над краевыми частями угольного массива / В.П. Зубов, Г.И. Козовой, А.Б. Соколов // Горное оборудование, переработка минерального сырья, новые технологии, экология: сб. докладов III Междунар. конф., Л.: СППГИ(ТУ), 1998. — С. 44–50.
10. Сребный, М.А. Выбор места расположения присечной выработки при труднообрушаемых породах кровли / М.А. Сребный, Н.М. Чельцова, Н.Е. Костомаров // Уголь. — 1982. — № 9. — С. 17–19.
11. Чельцова, Н.М. Опыт охраны выемочных штреков в условиях труднообрушаемых кровель / Н.М. Чельцова // Уголь. — 1986. — № 7. — С. 15–17.
12. Арбашев, К.А. Поддержание выработок при отработке мощных пологих пластов / К.А. Арбашев // Уголь. — 1983. — № 9. — С. 27–29.