Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 1, 1960 г.

О РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОД ВОДОЕМАМИ

Ю. Н. Нисковский

Одной из сложных задач в горном деле является разработка месторождений под водоемами и крупными водоносными горизонтами. Производство горных работ под водоемами изучено недостаточно. Вследствие этого в одних случаях теряется много угля в предохранительных и барьерных целиках, а в других — неправильная разработка приводит к прорывам воды, вызывающим нарушение работ и несчастные случаи с людьми. Так, например, Горное бюро США приводит семь случаев катастрофического затопления шахт в Пенсильвании, главным образом, в результате неправильной отработки барьерных целиков. В то же время, по данным этого бюро [7], при правильном выборе системы разработки, способов отработки целиков и управления кровлей можно было извлечь до 35% запасов, потерянных в барьерных целиках, т. е 250 млн. *т* антрацита. Это позволило бы продлить работу шахт на 5 лет.

В Советском Союзе в различных бассейнах под водоемами сосредоточены значительные запасы угля. В Кузбассе (трест Ленинуголь), например, под логами, руслом и поймой р. Иня законсервировано около 500 млн. *т* По предварительным данным [8], можно полагать, что при правильном выборе системы разработки и управления кровлей можно извлечь до 80% этих запасов.

В Печорском угольном бассейне только на действующих шахтах в целиках под водоемами сосредоточено свыше 50 млн. *т* вскрытых запасов угля. В результате проведенных комбинатом Воркутуголь комплексных исследований и промышленных испытаний уже в настоящее время извлечено около 7 млн. *т* под водотоками и доказана возможность выемки до 17 млн. *т* вскрытых запасов угля, что дает экономию порядка 67,5 млн. руб. и позволяет продлить сроки службы отдельных шахт на 4—6 лет.

В комбинате Приморскуголь запасы под водоемами достигают до 40 млн. *т* угля. Работы шахт № 6—6-бис Артемовского и «Капитальная» Таврического буроугольных месторождений уже подошли к запасам, оставляемым под водоемами, связанными с Тихим океаном. Шахтой «Капитальная» в пределах действующих этажей оставлен целик под бухтой Тихой, площадь которой составляет около 5 *км*^{2}. В результате этого срок службы этажа и шахты снижается и чаще приходится

производить углубку стволов, что приводит к увеличению удельного объема капитальных затрат.

Для шахты № 6—6-бис, запасы которой близки к отработке (обеспечивают срок службы 3—4 года), возник вопрос о прирезке соседних участков, расположенных у северо-восточной границы шахтного поля и находящихся в отдельных местах на отметках, близких к уровню моря (0,5—2 *м*). Вследствие этого одна их часть заболочена и покрыта озерами и речками, а другая — во время интенсивных ливней заливается. Отработка пластов угля на этих участках приведет к опусканию дневной поверхности ниже уровня моря и образованию связанных с морем поверхностных водоемов, из которых вода может проникнуть в подземные выработки. В связи с этим предусматривается оставление целиков до отметки 200 *м* со вскрытыми запасами в них около 12 млн. *т* лучшей части рабочих пластов.

Все это показывает, что в условиях угольной промышленности Советского Союза успешное разрешение проблемы выемки угольных месторождений под водоемами имеет большое народнохозяйственное значение, так как оно позволит продлить сроки службы действующих шахт или увеличить их производственную мощность и тем сократит капиталовложения на строительство новых шахт.

Опыт ведения горных работ под водоемами в Советском Союзе в основном ограничивается разработкой пластов под логами, балками, речками и озерами (в Донбассе, Кузбассе, Подмосковье, Воркуте, Приморском крае).

В Японии и Канаде (штат Новая Шотландия и др.) накоплен значительный опыт выемки угольных пластов под дном морей и океанов. В Японии добыча угля под морским дном производится на 22 шахтах, достигая 6700 тыс. *т*, что в 1954 г. составляло 15,6 % общей добычи в стране. В Канаде около 6 млн. *т* угля ежегодно добывается на угольных месторождениях штата Новая Шотландия, находящихся под дном Атлантического океана.

Отработку угля под морем разрешалось производить на глубине не менее 55 *м* от дна моря. Система разработки на малых глубинах камерная с шириной камер 5 *м*. На глубинах, начиная со 100 *м*, применяется система разработки лавами с частичным и полным обрушением пород. На участках, где дно моря покрыто илом мощностью всего от 0,5 до 1 *м*, при выемке пластов угля мощностью 0,9—2,5 *м* с обрушением увеличенные притоки наблюдались лишь вначале, непосредственно после обрушения, а по истечении некоторого времени выработки становились сухими, что объясняется заиливанием трещин.

В Советском Союзе также накоплен значительный опыт работ под водными объектами. М. В. Коротковым установлено, что при подработке водоемов Донецкого, Кузнецкого и Челябинского бассейнов можно не опасаться прорывов воды в шахту при $H \geqslant 75\ m$ (H — глубина разработки, m — вынимаемая мощность пласта), если даже коренные породы обнажены.

Для прудов Подмосковного бассейна при наличии глинистых покровных отложений З. И. Поляк минимальной глубиной работ считает 25 *м*.

Комбинатом Воркутуголь проведен безопасный опыт подработки водоемов и р. Воркуты и установлено следующее: 1) область увеличенной водопроницаемости пород над выработанным пространством распространяется на высоту до 30-кратной мощности пласта; 2) подземная выемка угля под р. Воркутой и аналогичным ей водоемом может произ-

водиться на глубине, начиная с 40-кратной мощности пласта, если мощность глинистых наносов не менее 10 *м*.

Опыт ведения горных работ под водоемами имеется также и на шахтах г. Артема комбината Приморскуголь, где известно около 20 случаев подработки речек на малых глубинах при $H = (10—44)$ *т*.

Анализируя случаи разработки угольных месторождений под водоемами, можно прийти к заключению, что нельзя точно установить ни минимальной глубины работ, ни минимального отношения глубины разработки к мощности пласта, гарантирующих безопасность ведения горных работ. Эти величины различны для разных бассейнов и, по-видимому, зависят от: 1) горногеологических условий (мощности и физико-механической характеристики коренных пород кровли; вынимаемой мощности пласта; наличия и мощности глинистых покровных отложений — наносов); 2) условий эксплуатации (системы разработки, метода управления кровлей); 3) характера подрабатываемого водоема.

Характерные случаи подработки водоемов на минимальных глубинах, где не наблюдалось прорыва воды в горные выработки, приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, в большинстве случаев состав покрывающих пород примерно одинаков. Несколько отличается Донецкий бассейн, где отсутствовали наносы и минимальная кратность подработки значительно выше, чем в Кузнецком, Печорском и Приморском угольных бассейнах. Из наблюдений за сдвижением пород по шахтам комбината Воркутуголь известно, что трещины, как правило, затухают в наносах, не достигая земной поверхности. Открытые трещины, выходящие на поверхность и возникающие в областях растяжений, почти всегда имеют ограниченное распространение в глубину (в шурфах такие трещины прослеживались всего лишь на 1,5—2 *м* с поверхности и затем полностью исчезали). Увеличенная минимальная глубина разработки в Японии и Канаде, по-видимому, связана с повышенной опасностью подрабатываемого объекта (дна моря), так как здесь в основном вопрос связан не столько с возможностью проникновения воды, сколько с принятым коэффициентом безопасности работ.

Практика разработки угольных пластов под водоемами (см. табл. 1) показывает, что возможность выемки угля под водными объектами на малых глубинах зависит не только от мощности покровных глинистых отложений (наносов), но также в значительной степени и от метода управления кровлей. Так, например, выемка камерами без нарушения вышележащей толщи и развития зоны обрушения и трещиноватости возможна и при малых мощностях покрывающих пород и даже при отсутствии наносов. При работах с обрушением зона образования трещин в покрывающих породах значительно возрастает и при отсутствии наносов вода может прорваться в шахту. Следовательно, необходима повышенная кратность подработки. При отсутствии наносов и выемке с полным обрушением кратность подработки возросла для Кузбасса с 6,2 до 17, для Воркуты с 12 до 20 (см. табл. 1 и 2). Известное влияние управления кровлей можно заметить по Донбассу, где при полном обрушении кровли кратность выемки выше, чем при частичной закладке примерно в 1,5 раза (39 вместо 26).

Таким образом, возможность подработки водоемов на малых глубинах определяется по-видимому, не столько системой разработки (развитием очистных и подготовительных работ), сколько методом поддержания вышележащей толщи и управлением кровлей.

Таблица 1

Бассейн (месторождение), подрабатываемый объект	Шахта, пласт	Глубина разработки, *м*	Мощность пласта, *м*	Угол падения пласта, град.	$\frac{H}{m}$	Мощность и характер наносов, *м*	Состав коренных пород, %	Управление кровлей
Донбасс, р. Бражная . .	№ 43, Подремовск	26	1	8	26	—	Песчаники — 65, глинистые сланцы — 35	Частичная закладка (сплошная система)
Кузбасс, р. Калешка .	№ 5—7, пласт X	25	4	15	6,2	Глинистые отложения до 10 *м*	Песчаники — 80, аргиллит — 20	Поддержание на целиках (камеры)
Печорский бассейн, ручей Поворотный . .	№ 17, Мощный	48	3,9	20	12	Суглинки и гравийногалечниковые отложения до 30 *м*	Преобладают песчаники	Полное обрушение (длинные столбы, два слоя)
Приморский край, Артемовское месторождение, р. Озерные ключи	№ 3, пласт II	35	2,5	10	14	Глина, суглинок с галечником до 10 *м*	Аргиллит — 55, алевролит — 35, песчаники — 10	Поддержание на целиках камеры)
Япония, месторождение Убе, дно моря . . .	Мотояма Нисиокинояма, Оха	40	1,6	2—4	25	Глинистые галечниковые отложения	Песчаники — 30, глинистый сланец — 40, песчанистый сланец — 30	То же
Канада, Сидней, дно моря	Принцесса (Хабэ)	60	1,6	18	35	Ил до 1,5 *м*, суглинки, галечник до 8 *м*	Глинистый сланец — 80, песчаники в виде линз — 20	„ „

Таблица 2

Бассейн, шахта, подрабатываемый объект	Мощность наносов, м	Глубина разработки, м	Мощность пласта, м	Угол падения пласта, град.	$\frac{H}{m}$	Состав коренных пород, %	Управление кровлей	Примечание
Кузбасс „Пионерка", пласт II от водоотлива . .	0	20	1,2	5	17	Песчаники — 30, глинистый песчаник — 70	Полное обрушение, длинные столбы	На поверхности образовались трещины, вода поступила в шахту
Донбасс, „1МОСПИНО", пласт h_3, балка Вербовая	1	47	1,2	22	39	Сланец—63, песчаники — 37	Полное обрушение, сплошная система	То же
Воркута, № 6, пласт Тройной — обводненная депрессия в рельефе коренных пород	0	52	2,6	26	20	Преобладают песчаники	Полное обрушение, длинные столбы	Приток воды достигал 60 $м^3/час$, затем снизился до 3 $м^3/час$ за счет разбухания коренных пород

Изложенное выше вызывает необходимость разделить способы управления кровлей для работ под водоемами на три группы.

1. Методы работ, обеспечивающие отсутствие нарушений вышележащих толщ пород и их водопроницаемость. К этой группе относятся системы разработок, основанные на поддержании кровли целиками: камерные и выемка шнеко-буровыми машинами и др.

2. Методы работ с частичным нарушением вышележащей толщи при управлении кровлей с полной закладкой выработанного пространства.

3. Методы работ, приводящие к нарушению покрывающей толщи пород и повышению водопроницаемости, при управлении кровлей полным и частичным обрушением.

Как известно, в работах с обрушением принято выделять зоны обрушения, трещинообразования, плавного прогиба и активную зону [1]. Водоем, оказавшийся в зоне трещинообразования, не вызовет затопления, но приток воды в горные выработки может резко возрасти. В этих случаях важно знать распространение зон обрушения и трещинообразования. В зоне плавного прогиба и активной зоне фильтрационные свойства пород не изменяются. Высоту зоны обрушения принято определять по формуле

$$H_0 = \frac{m}{K-1}, \qquad (1)$$

где K — коэффициент разрыхления.

Для определения возможности выемки подрабатываемых пластов В. Д. Слесарев ввел понятие «зоны разрушительного влияния», которая включает зону обрушения и активную часть зоны трещинообразования. Высоту этой зоны он рекомендует определять по формуле

$$H_{\text{р}} = (1{,}375 - 1{,}75)\frac{m}{K-1}, \qquad (2)$$

выведенной из условий отсутствия в последующем пласте значительных нарушений, препятствующих нормальному ведению очистных работ и проходке подготовительных выработок. Совершенно очевидно, что при разработке сближенных пластов допустимо не только появление открытых трещин, но даже некоторое смещение почвы пласта [1]. Такие нарушения абсолютно не допустимы при подработке водоемов, поэтому здесь необходимо учитывать не только активную часть зоны трещиноватости, но и всю зону распространения трещин.

Практика подработки водоемов и опыты, проведенные на моделях, показывают, что предельная высота зоны распространения трещин при работах с полным обрушением значительно превышает высоту зоны разрушительного влияния $H_{\text{р}}$. В связи с этим связывать зону безопасной глубины при подработке водоемов с зоной разрушительного влияния, определенной по формуле (2), как это делает А. П. Филиппов [8], нельзя. Если высоту зоны обрушения H_0 с некоторой точностью можно вычислить по формуле (1), то определение предельной высоты зоны распространения трещин пока не представляется возможным.

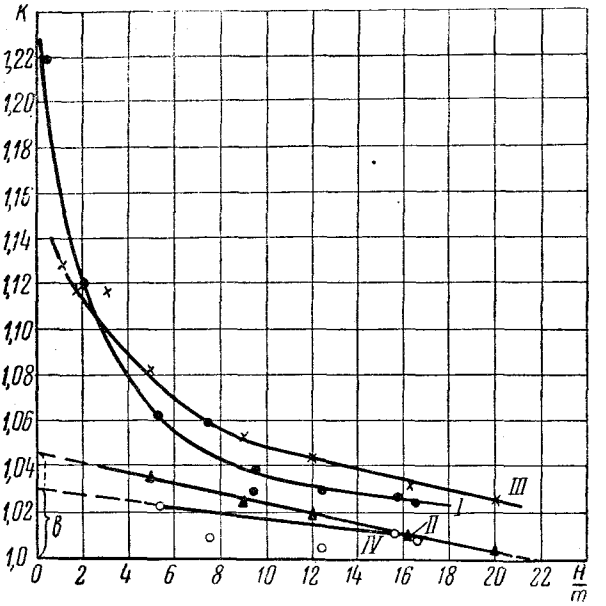
Говоря о зоне трещиноватости, необходимо отметить, что по мере удаления от зоны обрушения, согласно представлению Г. Н. Кузнецова [4], пласты пород, прогибаясь, обрушаются связной массой (блоками). Размер блоков зависит от мощности и прочности прогибающихся пластов. При дальнейшем удалении прогиб пород приобретает все более плавный характер, трещиноватость становится менее интенсивной и, наконец, совершенно затухает, сменяясь зоной прогиба. Можно полагать, что величина зоны трещиноватости и плавного прогиба будет зависеть главным образом от мощности разрабатываемого пласта, физико-механических свойств породных слоев и коэффициента увеличения объема пород K. Как известно, наибольшее значение K (1,3—1,5) будет в зоне обрушения, где его называют коэффициентом разрыхления, и наименьшее в зоне плавного прогиба (1,004—1,002).

Увеличение объема пород в зоне обрушения происходит за счет разрыхления обрушающихся породных слоев, в зоне же трещиноватости — главным образом за счет расслаивания отдельных породных слоев по плоскости напластования, а также за счет развития вертикальных трещин разлома.

Если о развитии трещиноватости и имеются, как указано выше, незначительные сведения и теоретические предпосылки, то о фильтрации через искусственно образованные трещины данные практически отсутствуют. Для установления безопасной глубины разработки под мощными водоемами необходимо выяснить: изменение с глубиной интенсивности и направления искусственной трещиноватости, возникшей при разработке пластов; фильтрационную способность этих трещин; влияние напора, залегающего над месторождением водоема, влияние глинистого и илистого покрова на фильтрационную способность воды по трещинам.

В предлагаемой статье рассмотрено лишь развитие трещиноватости, определенной установлением характера изменения объема пород с глубиной, и размера трещин. Для исследования этого вопроса были

проведены опыты на моделях из эквивалентных материалов, имитирующих хрупкие слоистые (песчаники, средней крепости аргиллиты) и относительно пластичные породы (влажные глинистые сланцы, плотные глины). Как показали исследования (см. рисунок), с удалением от кровли пласта уменьшаются как средние коэффициенты увеличения объема пород, отнесенные к отдельным участкам зоны трещиноватости от 1,066 до 1,027 (кривая *I*), так и дифференцированные коэффициенты от 1,024 до 1,008 (кривая *II*). Величины K в зоне трещиноватости как для хрупких (кривые *I*, *II*), так и для пластичных пород (кривые *III*, *IV*), после определения числовых значений изменяются по закону, близкому к прямой линии, уравнение которой может быть представлено в виде



Зависимость коэффициента увеличения объема пород от кратности разработки: *I*, *II* — для хрупких пород; *III*, *IV* — для относительно пластичных пород

$$K = b - a\frac{H}{m}, \qquad (3)$$

где a и b — коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств пород.

Для модели, имитирующей хрупкие материалы (кривые *I*, *II*), $a = 0{,}0011$; $b = 1{,}032$; K в зоне плавного прогиба равен 1,002. Для пластичных пород (кривые *III*, *IV*) $a = 0{,}0018$; $b = 1{,}046$; $K = 1{,}004$. Вынимаемая мощность пласта в обоих случаях 2,5 *м*.

Таким образом, если известны физико-механические свойства пород, то после определения на модели числовых значений a, b и K можно определить предельное значение высоты зоны трещиноватости, т. е. глубину условного перехода в зону плавного прогиба по формуле (3), представив ее в следующем виде:

$$H_{тр} = \frac{(b - K)\,m}{a}. \qquad (4)$$

Граница условного перехода зоны трещиноватости в зону плавного прогиба для хрупких пород, по нашему определению, $H = (28—30)\ m$. Для относительно пластичных пород $H = (18—23)\ m$.

Рассматривая вопрос искусственной трещиноватости, образующейся при сдвижении пород, можно полагать, что вертикальные трещины разлома, зависящие в основном от кратности разработки и физико-механических свойств пород, в известной степени являются показателем изменения коэффициента фильтрации. Определение числовых значений коэффициента фильтрации приближенно может быть выполнено на моделях из эквивалентных материалов, что позволит при подработке водоемов заранее определять возможные притоки воды в шахту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слесарев В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1952.
2. Бокий Б. В. К вопросу разработки каменноугольных месторождений под карстами. Материалы карстовой конференции, М.—Л., 1935.
3. Авершин С. Г. Горные работы под сооружениями и водоемами. Углетехиздат, 1954.
4. Кузнецов Г. Н. Взаимодействие боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля. Сб. ВНИМИ, 1953, т. XXVII.
5. Коротков М. В. Выемка угля под сооружениями в Донбассе. Углетехиздат, 1953
6. Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. Госэнергоиздат, 1951.
7. Барьерные целики в антрацитовом районе Пенсильвании. ЦИТИ, Углетехиздат, 1957.
8. Филиппов А. П. Опыт подработки водных объектов в Кузбассе. Кемерово, 1957.