УДК 622.273.24: 622.031.4

Ю.В.ГРОМОВ, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, DAV886@mail.ru*
Д.Н.ДЕМЁХИН, *младший научный сотрудник, demehin2009@ramblel.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

Yu.V.GROMOV, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, DAV886@mail.ru*
D.N.DEMEKHIN, *junior research assistant, demehin2009@ramblel.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ВОПРОСЫ ОТРАБОТКИ СВИТЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТЕ ЭЛЕГЕСТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

Рассмотрены вопросы разработки свиты пластов, выполнен прогноз параметров зон влияния первоочередной выемки мощного пласта «Улуг» на вышележащую толщу. С учетом геологических условий залегания пластов и прочностных свойств пород месторождения даны рекомендации по рациональному способу отработки пласта «Улуг» и управлению кровлей в очистных забоя и креплению подготовительных выработок на подработанных пластах.

Ключевые слова: свита пластов, геологические условия, подработка, прогноз, зоны влияния, рекомендации.

ASPECTS OF COAL STRATA MINING AT THE MINE OF THE ELEGEST DEPOSIT (THE REPUBLIC OF TYVA)

The Article considers the aspects concerning the mining of coal strata, prediction of the influence zones parameters of the primary extraction of thick seam "Ulug" on the overlying stratum. With due account of geological conditions of the seams occurrence and strength properties of rocks the recommendations are given on rational methods of the seam "Ulug" mining and on roof control in production faces as well as on support of development workings at the undermined seams.

Key words: strata, geological conditions, undermining, prediction, zones of influence, recommendations.

К числу промышленных относятся четыре угольные пласта Элегестского месторождения, из которых самым нижним является пласт 2.2 «Улуг» мощностью 4,0-12,3 м (преимущественно 7-9 м). Выше его примерно на 200 м находится пласт 4.9 мощностью 0,71-1,77 м. Пласт 6.7 мощностью 0,7-1,2 м залегает выше пласта 4.9 на расстоянии 150 м. Самый верхний пласт 6.11 мощностью 0,84-2,27 м расположен на расстоянии 20-25 м выше пласта 6.7. Таким образом, расстояние от пласта 2.2 до вышележащих пластов составляет 200 м (пласт 4.9), 350 м (пласт 6.7) и 370-375 м (пласт 6.11). Все пласты свиты представлены коксующимися углями марки «Ж» с преобладающей зональностью 10-15 %.

Промышленные запасы основного угольного пласта 2.2 составляют 70-80 % всех запасов на разведанной площади месторождения. Максимальная глубина его залегания достигает 850 м.

Природные факторы, влияющие на оценку сложности геологического строения шахт-

ного поля, сводятся к следующим: простая структура; пологое падение (менее 18°) на преобладающей части площади месторождения; отсутствие тектонических разломов; выдержанность мощности и строения пласта «Улуг»; в границах шахтного поля тектонические разрывы с амплитудой более мощности пласта маловероятны*

Углевмещающие породы месторождения представлены в основном песчаниками и алевролитами, иногда – конгломератами и гравелитами. В пределах шахтного поля они характеризуются значительной прочностью и повышенными значениями показателей упругих свойств.

По данным лабораторных испытаний образцов прочность песчаника, гравелита и конгломерата при сжатии в сухом состоянии изменяется от 480 до 2190 кг/см^2 (среднее значение около 1250 кг/см^2); на растяжение – от 40 до 990 кг/см^2 (среднее значение 140 кг/см^2); среднее значение прочности алевролитов в сухом состоянии при сжатии составляет 780 кг/см^2, при растяжении – 140 кг/см^2 В водонасыщенном состоянии прочность образцов пород как при сжатии, так и при растяжении снижается в 1,4-1,6 раза. Средние значения влажности пород в естественном состоянии составляют 0,33-0,35 %, а максимальные значения – около 2 %. По данным геологической разведки вмещающие породы характеризуются следующим образом.

Непосредственная кровля, представленная песчаниками и алевролитами, мощностью от 0,4-0,7 до 2-3 м распространена на всех пластах примерно на 45-50 % от их общей площади. Алевролиты наиболее распространены на пластах 4.9, 6.7 и частично 6.11.

Основная кровля сложена песчаниками-гравелитами, песчаниками-конгломератами, собственно песчаниками и алевролитами. Песчаники-гравелиты и песчаники-конгломераты распространены только на пласте 2.2 «Улуг», где занимают около 90 % площади месторождения, а на остальной ее части – собственно песчаники. На этом пласте мощность основной кровли изменяется от 3,4-4,8 м до 7-10 м и на отдельных участках достигает 15 м. На вышележащих пластах основная кровля состоит из песчаников и алевролитов, мощность которых на всех пластах изменяется от 3-4 м до 7 м, на некоторых пластах увеличивается до 10-13 м. Доля пластов с такой мощностью основной кровли составляет 50-55 % их общей площади.

Непосредственная почва пластов представлена алевролитами и песчаниками. Песчаники более развиты в почве пласта 2.2 «Улуг», где также отмечаются конгломераты. Мощность непосредственной почвы составляет в среднем 2,2-3,5 м. Породы почвы не склонны к пучению.

Пласты 2.2 «Улуг» и 4.9 отнесены к склонным по горным ударам с глубины 150 м, а пласты 6.7 и 6.11 не опасны по горным ударам.

По характеру обрушения и проявлений первичных и вторичных осадок породы основной кровли пластов оцениваются как среднеобрушающиеся, трудно- и весьма труднообрушающиеся. Последние особенно характерны для кровли пласта 2.2 «Улуг». Ожидаемые предельные пролеты обрушения основной кровли по данным детальной разведки месторождения составляют: для кровли, представленной алевролитом, от 28,7 до 90,6 м (в среднем 65 м), для песчаников от 34,7 до 109,6 м (в среднем 75 м). При таких пролетах первичного обрушения можно ожидать, что периодические обрушения пород основной кровли будут происходить с зависанием ее в выработанном пространстве на 20-25 м. В результате таких зависаний в очистном забое будет развиваться интенсивный отжим угля, особенно при вынимаемой мощности 3 м и более, в том числе в забое подсечного слоя у почвы пласта при его отработке сразу на полную мощность.

Для обеспечения проектной мощности строящейся шахты 13,5 млн т угля в год предусматривается первоочередная опережающая отработка нижележащего пласта 2.2 «Улуг» средней мощностью 8,2 м. При этом будут подработаны вышележащие пласты, очистные работы на которых преду-

* Материалы к технико-экономическому обоснованию постоянных кондиций (А.Е.Вертель; ЗАО «Енисейская промышленная компания», 2009).

сматриваются через 20-25 лет после их подработки. С учетом гидрогеологических условий месторождения рассматривается восходящий порядок отработки выемочных столбов в каждом блоке шахты, с тем, чтобы основной приток воды оставался в выработанном пространстве. Очевидно, что подготовка и отработка выемочных столбов по схеме снизу вверх весьма значительно увеличит затраты и срок освоения проектной мощности шахты.

Пласт «Улуг», учитывая его мощность, может отрабатываться двумя наклонными слоями или сразу на полную мощность с выпуском угля из подкровельной толщи в подсечный слой у почвы пласта. Каждый из этих способов отработки имеет свои достоинства и недостатки.

Основным негативным моментом для применения системы разработки с выпуском угля в данных условиях является высокая прочность пород кровли и как следствие ее труднообрушаемость, т.е. склонность к зависанию в выработанном пространстве на большом расстоянии (20-25 м) от забоя в подсечном слое. Как показывает практика применения данной технологии, в результате зависаний кровли даже при достаточной для выпуска кусковатости угля, образующегося при разрушении угля подкровельной толщи вслед за передвижкой крепи подсечного слоя, до 50 % ее запасов будет оставаться в выработанном пространстве. Для обеспечения эффективности применения данного способа в условиях пласта 2.2 «Улуг», учитывая прочностные характеристики кровли, потребуется ее принудительное разупрочнение. Однако в настоящее время еще нет приемлемого решения этой проблемы. Вместе с тем, при зависаниях кровли на больших площадях, как свидетельствует практика, будет интенсивно развиваться отжим угля в забое (до 3-5 м), разрушение подкровельной угольной толщи впереди секций крепи и образование куполов, что приведет к неуправляемому процессу выпуска угля и в целом к аварийному состоянию лавы в подсечном слое.

Основной недостаток слоевой разработки пласта связан с увеличением объема работ и затрат на проходку подготовительных выработок в каждом слое. Вопросы управления кровлей в лавах с труднообрушающимися породами в настоящее время успешно решаются с помощью как зарубежных, так и отечественных крепей, имеющих достаточный уровень удельного сопротивления для работы в таких условиях [1]. Эксплуатационные потери угля по мощности пласта при толщине межслоевой пачки порядка 0,8 м не превысят 10 %.

Для решения вопроса о возможности первоочередной отработки пласта 2.2 «Улуг» без негативных последствий для вышележащих пластов свиты необходимо выполнить прогноз зон влияния очистных работ на подрабатываемую толщу. Регламентированная в § 188 «Правил технической эксплуатации...» [3] минимальная мощность междупластья, при которой допускается подработка пластов с обрушением кровли, распространяется только на пласты тонкие и средней мощности (до 3,5 м). Величина междупластья в этом случае должна составлять не менее 6-кратной мощности подрабатывающего пласта. Поскольку пласт «Улуг» является мощным, воспользоваться этими рекомендациями в данном случае не представляется возможным, поэтому необходимо рассмотреть и проанализировать известные результаты ранее выполненных исследований [2, 4].

Образующееся в результате отработки пласта выработанное пространство в области его влияния приводит к изменению напряженного состояния вмещающих пород и сопровождается их деформациями. При отработке пластов с обрушением кровли эти деформации и разрушения проявляются в виде зон обрушения, трещинообразования, плавного прогиба и так называемой активной зоны. Определение высоты различных зон влияния на подрабатываемую толщу, приведенное в работах профессора В.Д.Слесарева, в большинстве случаев согласуется с данными практики, с учетом особенностей ведения работ в различных горно-геологических условиях. Высóты зон влияния находятся в определенном отношении друг к другу и могут

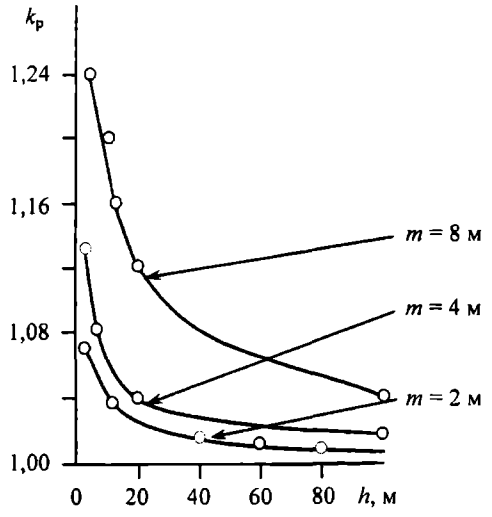


Рис.1. Зависимость коэффициента разрыхления пород кровли $k_р$ от расстояния до пласта h при различной вынимаемой мощности пласта m

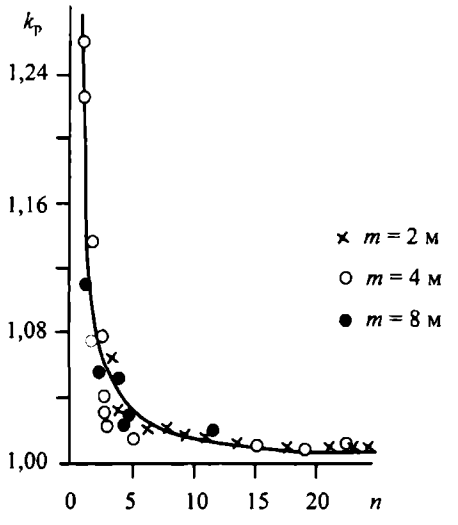


Рис.2. Зависимость коэффициента разрыхления пород кровли $k_р$ от кратности подработки n при выемке пластов различной мощности

быть выражены через высоту зоны обрушения пород h_o: зона трещинообразования – $1{,}5h_o$; зона плавного прогиба – $2h_o$; активная зона – $3h_o$.

Увеличение вынимаемой мощности пласта, как известно, вызывает увеличение высоты зоны обрушения пород кровли, в результате чего возрастает коэффициент их разрыхления, т.е. объем породы увеличивается. В работе [4] на основе обобщения многочисленных отечественных и зарубежных источников приведены значения коэффициентов разрыхления пород кровли при выемке пластов мощностью до 1; 1-2 и 2-3 м. Эти данные свидетельствуют, что с увеличением вынимаемой мощности в данном диапазоне пластов коэффициент разрыхления обрушающихся пород $k_р$ возрастает от 1,15 до 1,40. При одной и той же мощности пласта коэффициент разрыхления возрастает с увеличением крепости пород кровли. Исключением является так называемое обрушение пород «доской».

Как продолжение исследований по вопросу влияния вынимаемой мощности пласта на подрабатываемую толщу, в работе [2] представлены результаты экспериментов, полученных на однотипных моделях из эквивалентных материалов при выемке пластов мощностью 2, 4 и 8 м. По данным этих экспериментов были вычислены усредненные значения коэффициентов увеличения объема (остаточного разрыхления) пород после их подработки для всей покрывающей толщи (рис.1), а также для отдельных участков толщи в зависимости от кратности ее подработки (рис.2).

Полученные данные отражают только качественную картину изменения коэффициента разрыхления $k_р$ в зависимости от мощности подрабатывающего пласта, однако они свидетельствуют, что по мере удаления от пласта влияние вынимаемой мощности на величину коэффициента разрыхления уменьшается. При одинаковой кратности подработки разница в величинах $k_р$ оказывается незначительной (рис.2). Основное увеличение объема обрушенных пород происходит за счет толщи, залегающей над пластом, равной 3-5-кратной его мощности. В связи с возрастанием коэффициента разрыхления $k_р$ при увеличении вынимаемой мощности m, при прочих равных условиях, самоподбучивание вышележащих подработанных пород происходит при меньшей кратности их подработки n.

Мощность обрушившейся в выработанном пространстве толщи h, при которой порода, увеличиваясь в объеме, заполняет пространство, которое ранее занимали пласт

угля и массив обрушившейся кровли, определяется по известному выражению $h_o = m/k_p - 1$.

Ниже приведены результаты расчетов высоты зоны обрушения h_o и ее кратности n относительно вынимаемой мощности пласта m:

m, м	1	2	3	4	6	8
k_p	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
h_o, м	5	6,7	7,5	10	15	20
n	5	3,4	2,5	2,5	2,5	2,5

Расчеты высоты зоны обрушения h_o для пластов мощностью $m > 3$ м выполнены без учета возможного увеличения k_p с увеличением вынимаемой мощности пласта. В случае обрушения прочных пород «доской» следует ориентироваться на величину $k_p \le 1,2$. В этом случае кратность подработки n, которой ограничивается высота зоны обрушения h_o, не превысит 5-кратную мощность пласта.

Таким образом, при максимальной мощности пласта «Улуг», равной 12 м, и при $k_p = 1,2$ максимальная высота зоны обрушения h_o не превысит 60 м, при этом высота зоны трещинообразования будет достигать $1,5 \times h_o = 90$ м. Эти две зоны (обрушения и трещин) образуют зону разрушительного влияния h_p выработанного пространства. Высота ее обычно лежит в пределах $1,375h_o < h_p < 1,75h_o$ [4], т.е. в данных условиях h_p не превысит $1,75 \times 60 = 105$ м. Высота этой зоны имеет важное практическое значение с точки зрения подрабатываемости пластов и фактически определяет возможность или невозможность их эффективной разработки.

Представленные расчеты позволяют судить о том, что с увеличением вынимаемой мощности пласта общая высота зоны обрушения пород h_o в выработанном пространстве лавы возрастает, но кратность ее n относительно вынимаемой мощности m, т.е. отношение h/m, даже несколько снижается или, по крайней мере, она не возрастает. Следует учесть, что с течением времени при уплотнении обрушенных пород может происходить постепенное увеличение высоты зоны трещинообразования и зоны плавного прогиба пород кровли, но не высоты зоны их беспорядочного обрушения.

По данным инструментальных наблюдений в шахтных условиях фактическая высота зоны беспорядочного обрушения пород $h_{б.о}$ обычно не превышает 1,5-2-кратной мощности пласта независимо от ее величины [2]. Прогноз всей высоты зоны обрушения выполнен с некоторым запасом, исходя из 5-кратной мощности пласта. В рассматриваемых условиях при $h_o = 60$ м высота зоны прогиба пород кровли без разрыва составит $2h_o = 120$ м, а высота активной зоны $3h_o = 180$ м.

Таким образом, на основании обобщения и анализа накопленного опыта подработки пластов и выполненных исследований по этому вопросу применительно к условиям отработки свиты пластов на проектируемой шахте Элегестского месторождения (Республика Тува), можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Первоочередная отработка мощного пласта «Улуг» не окажет вредного влияния на отработку вышележащих пластов свиты и не скажется негативно на уровне эксплуатационных потерь угля при их отработке.

2. Разработка пласта 2.2 «Улуг» сразу на полную мощность с выпуском угля без проведения мероприятий по разупрочнению пород кровли угля будет сопровождаться высокими эксплуатационными потерями его запасов в подкровельной толще.

3. При разработке пласта 2.2 «Улуг» наклонными слоями зона разрушительного влияния подработки уменьшится на 15-20 % по сравнению с выемкой пласта сразу на полную мощность, вследствие уменьшения высоты обрушения пород кровли. При этом отработку нижнего слоя следует начинать только после того, как закончится процесс сдвижения под влиянием выемки верхнего слоя, с тем, чтобы деформации подрабатываемой толщи пород не являлись следствием сдвижения пород, вызванного влиянием отработки обоих слоев.

4. При выемке подработанных пластов в краевых частях мульды сдвижения в очистных и подготовительных выработках может усиливаться отжим угля и увеличивать-

ся нарушенность кровли вывалами. В этих условиях, возможно, потребуется применение дополнительных мер по обеспечению устойчивости кровли и забоя.

5. Для управления кровлей в лавах подработанных пластов могут применяться механизированные крепи с теми же силовыми параметрами, что и для одиночных пластов.

6. Для подготовительных выработок на подработанных пластах без ограничения могут использоваться анкерные крепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Громов Ю.В.* О несущей способности крепи для лав при слоевой выемке мощного пласта на шахте Элегестского месторождения // Горная геомеханики и маркшейдерское дело; ВНИМИ. СПб, 2009. С.166-170.

2. *Громов Ю.В.* Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов / Ю.В.Громов, Ю.Н.Бычков, В.П.Кругликов. М.: Недра, 1985. 239 с.

3. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. М.: Недра, 1976. 303 с.

4. *Слесарев В.Д.* Разработка свиты пластов. М.: Углетехиздат, 1948. 184 с.

REFERENCES

1. *Gromov Yu.V.* On bearing capacity of the support for longwalls in layer extraction of thick seam at the coal mine of the Elegest deposit // Mining Geomechanics and Mine Surveying; VNIMI. Saint Petersburg, 2009. P.166-170.

2. *Gromov Yu.V., Bychkov Yu.N., Kruglicov V.P.* Rock pressure control in the mining of thick flat-lying seams. Moscow: Nedra, 1985. 239 p.

3. Regulations of technical exploitation of coal and shale mines. Moscow: Nedra, 1976. 303 p.

4. *Slesarev V.D.* Strata mining. Moscow: Ugletechizdat, 1948. 184 p.