

Висновки. Регіональні скиди Західного Донбасу консидементаційний Богданівський та постсидементаційний Повздовжній по різному впливають на перерозподіл газів у вугільних пластах. Консидементаційний скид суттєво впливає на перерозподіл газів. Але цей вплив неоднозначний. Вздовж скиду на відносно невеликих відстанях концентруються, як зони з підвищеними значеннями газоносності, так і зниженими. Постсидементаційний скид не має суттєвого впливу на перерозподіл газів. Аномальні значення газоносності з ним не пов'язані.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ершов В.З., Добринецкий С.И., Дубик З.Г. Консидементационные тектонические разрывы в Западном Донбассе. // Геологический журнал. – 1973. – Т.33. - №6. – С. 29-41.
2. Нагорный Ю.Н., Глазова А.М. Об особенностях формирования разрывов Западного Донбасса/ Научный вестник НГУ.-2005.-С.46-48.

УДК 622.831.27

д.т.н., проф. И.В. Антипов,
асп. Нагорная Е.Д.

НОВАЯ ВЫСОКОТОЧНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШАГА ПЕРВИЧНОЙ ПОСАДКИ КРОВЛИ

Проаналізовано підходи до вирішення проблеми управління станом гірничого масиву в очисних вибоях. Представлено новий підхід до математичного моделювання та високоточного розрахунку шагу первинної посадки основної покрівлі в очисних вибоях. Наведено результати досліджень щодо прогнозування шагу первинної посадки основної покрівлі в 6-й західній лаві пласта 4 ПАТ "Шахта ім. О.Ф.Засядька".

NEW HIGH-PRECISION MATHEMATICAL MODEL OF THE FIRST ROOF CAVING

Approaches to a problem solution of longwall massif control are analyzed. The new approach to mathematical modeling and high-precision calculation is presented. Results of forecasting researches to a step of the first roof caving step in the 6th western longwall of 4 bed of A.F.Zasjadko mine are resulted.

В 1878 г. швейцарский геомеханик А.Гейм опубликовал первую научную гипотезу о силах, действующих в нетронутом горном массиве. Согласно его гипотезе горное давление формируется под тяжестью толщи пород. Давление в нетронутом массиве действует по всем направлениям гидростатически и по абсолютной величине. Гипотеза А.Гейма о напряжениях в ненарушенном массиве на протяжении прошедшего столетия не была опровергнута и находит отражение в трудах специалистов в области горной геомеханики.

В 1908-1912 г.г. М.М.Протоdjаконов разработал и проверил на практике новую теорию горного давления [1]. Согласно его представлениям вся вышележащая толща не может давить на крепь, т.к. форма свода определена в условиях собственного равновесия. Крепь испытывает давление пород, обрушившихся в пределах свода, исходя из площади параболы и объемной

массы породы, при этом высота свода и давление на крепь не зависят от глубины разработки. Гипотеза М.М.Протодьяконова была актуальной для глубины разработки 150-200 м.

С увеличением глубины разработки гипотеза свода потеряла актуальность. Значительным достижением в развитии теории горного давления явилась разработка в 1925 г. А.Н.Динником новой гипотезы о напряженном состоянии нетронутого массива пород, которая отличается от гипотезы А.Гейма тем, что горизонтальные и вертикальные напряжения не равны.

В 1925-1938 г.г. накапливались опытные данные о проявлениях горного давления при подземной добыче полезных ископаемых. Факторы, влияющие на проявление горного давления в очистных забоях, были разделены на две группы:

1) естественные – глубина разработки, мощность и угол падения пласта, физические свойства угля, пород кровли и почвы, водообильность, геологические нарушения;

2) искусственные – длина очистного забоя, скорость подвигания, длина выемочного столба, способ управления кровлей, характеристики крепи, направление линии забоя по отношению к кливажу, способ ведения очистных работ (комбайн, струг).

На основе опытного изучения влияния этих факторов разрабатывались практические рекомендации по управлению горным давлением.

В 1938 году В.Д.Слесарев выдвинул теорию эквивалентных пролетов, так называемую "гипотезу балок" [2]. Автор обосновал форму и параметры кривой давления, то есть свода обрушения пород, развил представление о предельном пролете устойчивого обнажения массива. Гипотеза В.Д.Слесарева об эквивалентных пролетах содержит ошибочные утверждения о том, что для всякой выработки ограниченного контура в плане можно найти эквивалентную выработку бесконечно большой длины, кровля которой будет находиться в тех же условиях равновесия, что и у кровли данной выработки [3].

Многие исследователи, не обладая достоверной информацией о напряженном состоянии горного массива, использовали положения теории упругости и механики сплошной среды и решали задачу о величине и характере распределения напряжений во вмещающих породах, пытались объяснить закономерности механизма разгрузки начальных напряжений вблизи поверхности обнажения.

Первые аналитические исследования характера распределения напряжений в горном массиве под влиянием горных работ выполнили Р.Феннер в 1938 г. и А.Лабасс в 1946-1947 г.г., которые разработали математическую теорию, отражающую процессы деформирования пород вблизи поверхностей обнажения.

В 1974 г. А.В.Савостьянов представил теоретические основы управления состоянием массива горных пород [4]. Разработанная им теория сдвижения слоистого массива позволяет осуществлять математическое моделирование состояния горных пород в зависимости от природных, технологических и

временных факторов для выбора рациональных технологических параметров добычи угля. Выполнив анализ основных механических свойств осадочных горных пород, и произведя физическое моделирование на эквивалентных и оптико-поляризационных материалах, он установил закономерности сдвижения слоистого массива. Для моделирования слоистых пород, использовались законы сопротивления материалов, которые рассматривались в виде балок-полосок, лежащих на податливом основании.

В результате анализа влияния природных, технологических и временных факторов на состояние массива горных пород установлено, что эпюры нагрузок, формирующиеся вокруг очистных и подготовительных выработок, состоят из нескольких зон опорного давления. То есть, прослеживается тенденция увеличения числа зон разгрузки-концентрации напряжений, количество которых возрастает с возрастанием прочности пород и упругих деформаций. В работах, опубликованных после 2006 г., А.В.Савостьянов перешел от прямолинейных зависимостей, описывающих углы сдвижения и разрушения пород, к эллиптическим зонам разгрузки-концентрации напряжений, формирующихся вокруг очистного и выработанного пространства.

Перечислим некоторые научные школы, которые занимались проблемами управления горным давлением в очистных забоях, результаты которых использованы авторами данной статьи. Это – А.Ф.Булат [5], С.Н.Комиссаров [6], Г.Н.Кузнецов [7], К.В.Руппенейт [8], П.М.Цимбаревич [9], И.Л.Черняк [10], Л.Д.Шевяков [11], Е.И.Шемякин [12], и др.

В 60-70-е годы прошлого века А.А.Борисовым были предложены численные методы для расчета предельного пролета пород кровли пласта над выработанным пространством очистного забоя [13]. Его монография, которая вышла в 1964 году так и называлась "Расчеты горного давления в лавах пологих пластов" [14].

В 80-90-е годы прошлого века и в начале XXI века А.Д.Алексеев и В.Н.Ревва, базируясь на результатах полученных А.А.Борисовым, применили теорию трещин для описания состояния горного массива [15]. При этом они впервые использовали энергетический критерий, а именно, предположение А.Гриффитса [16] с учетом поправок Г.Р.Ирвина [17] и Е.Орована [18]. Главная научная заслуга школы А.Д.Алексеева заключается в том, что была доказана возможность замены величины поверхностной энергии на эффективную поверхностную энергию, включающую собственно поверхностную энергию, энергию пластической деформации (основные затраты энергии) и др. Более того, был разработан новый способ определения эффективной поверхностной энергии при объемном сжатии.

Н.И.Лобков – один из представителей научной школы А.Д.Алексеева – предложил усовершенствованный метод расчета шага первичной и вторичных посадок основной кровли [19-22]. Он развил представления А.В.Савостьянова [4] о слоистой структуре породного массива и впервые установил аналитическую зависимость шага посадки кровли, которая дает максимальную ошибку в поле исходных данных 9%, что было подтверждено на практике.

Однако при расчетах по формулам Н.И.Лобкова максимальная ошибка 9% обуславливает ошибку ± 18 метров при шаге первичной посадки основной кровли 200 м. Практика угледобычи нуждается в более точном предсказании шага первичной посадки основной кровли.

Поэтому актуальными являются исследования направленные на установление шага первичной посадки основной кровли в лаве с высокой точностью, приемлемой для практического применения.

Авторами статьи были собраны и проанализированы данные о горно-геологических и горно-технических условиях отработки 42 очистных забоев на пластах m_3 , l_1 и l_4 ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько" с 1995 г. до настоящего времени.

Анализ горно-геологических и горно-технических факторов отработки пластов m_3 , l_1 и l_4 ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько" показал, что в кровле пластов содержатся мощные слои пород. В частности над пластом l_1 залегает песчаник крепостью $f = 9$ и мощностью до 25-30 м. Опыт работы лав в подобных условиях показал, что управление горным давлением полным обрушением может привести к вывалам пород в призабойное пространство во время первичной посадки основной кровли и потере угледобычи.

В результате проведенных исследований с помощью метода группового учета аргументов (МГУА) [23] установлена зависимость (модель) шага первичной посадки кровли от комплекса технологических, горно-геологических факторов и физико-механических характеристик вмещающих пород.

Полученная модель шага первичной посадки кровли включает один параметр (L_{np}) и девять факторов (v , m , l_d , m_o , σ_{po} , σ_{co} , m_n , σ_{pn} , σ_{cn}). В общем виде математическая модель представляется как функция нескольких переменных, причем, для каждого фактора (переменной) установлена область допустимых значений, обусловленная ограничениями в области исходных данных:

$$L_{np} = f(v, m, l_d, m_o, \sigma_{po}, \sigma_{co}, m_n, \sigma_{pn}, \sigma_{cn}),$$

где, L_{np} – шаг первичной посадки кровли, м; v – средняя скорость подвигания очистного забоя до первичной посадки кровли, $v=1,5-4,5$ м/сут.; m – средняя вынимаемая мощность пласта до первичной посадки кровли, $m=0,8-2,25$ м; l_d – средняя длина лавы до первичной посадки кровли, $l_d=180-315$ м; m_o – средняя мощность основной кровли до первичной посадки, $m_o=2,7-30$ м; σ_{po} – среднее значение предела прочности на растяжение основной кровли, $\sigma_{po}=7,5-14,5$ МПа; σ_{co} – среднее значений предела прочности на сжатие основной кровли, $\sigma_{co}=87-116$ МПа; m_n – средняя мощность непосредственной кровли до первичной посадки, $m_n=1,8-19,7$ м; σ_{pn} – среднее значение предела прочности на растяжение непосредственной кровли, $\sigma_{pn}=5,2-6$ МПа; σ_{cn} – среднее значение предела прочности на сжатие непосредственной кровли, $\sigma_{cn}=45-70$ МПа.

Для проверки установленной зависимости на практике была выбрана 6-я западная лава пласта l_4 ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько".

До первичной посадки кровли мощность пласта (m), длина лавы (l_l), мощности основной (m_o) и непосредственной кровли (m_n), а также физико-механические характеристики вмещающих пород (σ_{po} , σ_{co} , σ_{pn} , σ_{cn}) изменяются незначительно. Поэтому скорость подвигания лавы (v) является основным фактором влияющим на параметр (L_{np}).

Для условий отработки 6-й западной лавы пласта l_4 получена зависимость шага первичной посадки кровли (L_{np}) от скорости подвигания лавы (v):

$$L_{np} = 1,2428 \cdot \cos v - 0,1176 \cdot v - 2,776 \cdot \cos v - 0,1621 \cdot \cos 2v + \\ + 7,8425 \cdot \ln v - 80,3612 \cdot \sin v - 0,22 \cdot \cos v \cdot \sin v + \frac{0,00003 \cdot v}{\cos v \cdot \sin v} - \\ - \frac{0,0002}{\cos 2v + 1} + \frac{0,2447 \cdot \cos v + 0,0063}{v^2} + \frac{1,3093 \cdot \cos v \cdot \sin v + 0,1042}{v} - \\ - \frac{0,514 \cdot \ln^2 v - 0,044 \cdot \ln v \cdot \sin v + 1,4128}{\ln^2 v \cdot \sin v} + 241,9051$$

Моделирование вариантов шага первичной посадки кровли с помощью установленной зависимости позволило получить значения параметра (L_{np}) от влияющего фактора (v) для условий отработки 6-й западной лавы пл. l_4 (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость шага первичной посадки кровли (L_{np}) от скорости подвигания (v) 6-й западной лавы пл. l_4 ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько"

L_{np} , м	v , м/сут.
135,1	2,4
155,1	2,6
176,7	2,8
192,0	3,0
248,3	3,2
239,7	3,4
245,3	3,6
250,5	3,8
257,0	4,0

19 января 2012 г. был подписан акт между Институтом физики горных процессов НАН Украины и ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько", в котором зафиксированы прогнозируемые значения величины шага первичной посадки основной кровли при отработке 6-й западной лавы пл. l_4 (табл. 1).

27 февраля 2012 г. сейсмоакустическими приборами и визуальными наблюдениями были зафиксированы признаки первичной посадки кровли в 6-й западной лаве пл. l_4 .

2 марта 2012 г. между Институтом физики горных процессов НАН Украины и ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько" был подписан акт, согласно которого фактическая скорость подвигания 6-й западной лавы пл. l_4 до первичной посадки составила 3,2 м/сут. Фактический шаг первичной посадки при отработке 6-й западной лавы пласта l_4 по данным сейсмоакустических наблюдений составил 247,5 м, а прогнозное значение составляло 248,3 м (табл. 1). Ошибка прогноза составила 0,3%, что соответствует 0,8 м, т.е. ширине одной стружки и приемлемо для практического использования.

Таким образом, аналитические исследования обрушения основной кровли по результатам работы 42 очистных забоев ПАО "Шахта им. А.Ф.Засядько" позволили установить некоторые закономерности сдвижения пород. На основе установленных закономерностей была получена математическая модель шага первичной посадки основной кровли, учитывающая технологические и горно-геологические факторы работы лавы.

Установленная зависимость отличается тем, что позволяет моделировать шаг первичной посадки основной кровли до начала работы лавы и позволяет определить, как изменится шаг первичной посадки кровли при изменении скорости подвигания лавы. Заранее вычисленный шаг первичной посадки кровли позволяет заблаговременно осуществить технологические мероприятия, которые значительно уменьшат или позволят исключить неблагоприятные последствия первичного обрушения основной кровли. Этим обуславливается уменьшение простоев лавы, повышение угледобычи, снижение себестоимости угля и повышение безопасности работ.

Внедрение разработанного в Институте физики горных процессов НАН Украины метода прогнозирования шага первичного обрушения основной кровли в очистном забое позволило спрогнозировать и снизить отрицательное влияние последствий первичной посадки кровли в 6-й западной лаве пласта l_4 , сократить потери рабочего времени, увеличить объем добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протодюконов М.М. Трещиноватость горных пород и массивов [Текст] / М.М.Протодюконов, С.В.Чирков // М.: Недра, 1964. – 67 с.
2. Слесарев В. Д. Вопросы управления кровлей [Текст] / В. Д. Слесарев // М.: ОНТИНКТП, 1935. – 130 с.
3. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна [Текст] / В.Д.Слесарев // М.: Углетехиздат, 1952. – 380 с.
4. Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / А.В.Савостьянов, В.Г.Ключков. – К.: УМК ВО, 1992. – 276 с.
5. Булат А.Ф. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов [Текст] / А.Ф.Булат, А.Т.Курносов // К.: Наукова думка, 1987. – 197 с.
6. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок [Текст] / С.Н.Комиссаров // М.: Недра, 1983. – 237 с.
7. Кузнецов Г.Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок [Текст] / Г.Н.Кузнецов // Л.: ВНИМИ, 1950.
8. Руппeneйт К.В. Давление и смещение горных пород в лавых полого-падающих пластов [Текст] / К.В.Руппeneйт // М.: Углетехиздат, 1957. – 228 с.
9. Цимбаревич П.М. Механика горных пород [Текст] / П.М.Цимбаревич // М.: Углетехиздат, 1948. – 184 с.
10. Черняк И.Л. Периодические проявления горного давления при разработке угольных пластов [Текст] / И.Л.Черняк // М.: МГИ, 1992. – 69 с.
11. Шевяков Л.Д. Разработка месторождений полезных ископаемых [Текст] / Л.Д.Шевяков // Л., 1928.
12. Шемякин Е.И. Введение в теорию упругости / Е.И.Шемякин // М.: МГУ, 1993. – 95 с.

13. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. – М. : Недра, 1980. – 360 с.
14. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов [Текст] / А.А.Борисов // М: "Недра", 1964. – 278 с.
15. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений [Текст] / А.Д.Алексеев, В.Н.Ревва, Н.А.Рязанцев // К.: Наукова думка, 1989. – 166 с.
16. Griffiths A. The phenomenon of rupture and flow in solids. Trans, Roy.Phil. Soc., 1920, A. V. 220 p. 150-160.
17. Irwin G. R. Linear fracture mechanics, fracture transitions and fracture control // Engineering fracture mechanics. 1968. - Vol. 1, № 2. - P. 241—257.
18. Orowen E. Dislocations in details. New York: AJME, 1954.
19. Лобков Н.И. Определение разрушающих напряжений при первичной посадке кровли [Текст] / Н.И.Лобков, А.И.Сергиенко, Е.Н.Халимендигов // Донецьк: ДонНТУ, Вісті Донецького гірничого інституту, № 2, 2008. – С. 79-86.
20. Лобков Н.И. Определение разрушающих напряжений и предельного пролета кровли в очистных забоях [Текст] / Н.И.Лобков, А.И.Сергиенко, Е.Н.Халимендигов // "Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках", XVIII Международная научная школа: Крым, Алушта, 2008, С. 199-201.
21. Антипов И.В. Геомеханическое обоснование характера обрушения кровли в очистных забоях [Текст] / И.В.Антипов, Н.И.Лобков / Межвед. сб. научн. тр. "Геотехническая механика". – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, вып. 93. – 2011. – С. 38-45.
22. Антипов И.В. Формирование разрушающих напряжений в изгибающихся породных слоях [Текст] / И.В.Антипов, Н.И.Лобков / Межвед. сб. научн. тр. "Геотехническая механика". – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, вып. 96. – 2011. – С. 172-176.
23. Антипов И.В. Моделирование производственных процессов методом группового учета аргументов [Текст] / И.В.Антипов, А.Н.Шкуматов // Проблемы экологии.- Общегосударственный научно-технический журнал, № 1, 2000. – С. 5-9

УДК 551.352:552.14

доктор геол. наук, В.А. Баранов

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕСЧАНИКОВ С ПАЛЕОГЛУБИНОЙ ДЛЯ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНБАССА

Представлені результати вивчення зміни структури пісковиків Донбасу на різних стадіях катагенезу. Встановлено загальне зменшення і вирівнювання розмірів уламкових зерен пісковиків з палеоглибиною. Встановлено збільшення кількості циклів для пісковиків з палеоглибиною. Значення дисперсій розмірів уламкових зерен мінімальне для умов пізнього катагенезу.

CHANGE OF STRUCTURE OF SANDSTONES WITH PALEODEPTH FOR DEPOSITS OF DONBASS

The results of study of change of structure of Donbass sandstones on different stages of katagenesis are represented. Common diminishment and smoothing of sizes of fragmental corns of sandstones with a paleodepth is set. The increase of amount of cycles for sandstones with a paleodepth is set. Values of dispersions of sizes of fragmental corns is minimum for the terms of late katagenesis.

Повышенный интерес политиков, промышленников, ученых к «газовой» теме в последнее время, отражает кризис в получении дешевых энергоресурсов вообще и природного газа, в частности. В странах, имеющих угольные бассейны, развивается попутная добыча и утилизация угольного и шахтного метана, который, фактически, ничем от природного не отличается. Но кроме этого, достаточно много публикаций о биолитовом газе, именуемом устаревшим термином – сланцевый газ; о центральнобассейновом газе,