

Член-корр. НАН Украины А. И. Волошин,
канд. техн. наук О. В. Рябцев,
канд. техн. наук Ю. Н. Игнатович,
м.н.с. С. Ю. Процак,
инж. И. Ю. Аля - Брудзинский
(ИГТМ НАН Украины)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ СКВАЖИННОЙ
ДЕГАЗАЦИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ,
ОСНОВАННЫХ НА УЧЕТЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОЛОСТЕЙ РАССЛОЕНИЯ**

Наведено загальні дані про механізм створення порожнин розшарування та основні особливості зрушення шаруватого гірського масиву, що визначають механізм формування та динаміку розвитку порожнин розшарування, а також результати буріння експериментальних свердловин в умовах шахти «Західно-Донбаська» ВАТ «Павлоградвугілля».

**INCREASE OF EFFICIENCY OF THE UNDERGROUND DOWNHOLE
DEGASSING BY THE USE OF RECOMMENDATIONS, BASED ON THE
ACCOUNT OF CONFORMITIES TO THE LAW OF FORMING OF
CAVITIES OF STRATIFICATION**

We give general information about the mechanism of creation of cavities bundles and the main features shift layered mountains that define the formation mechanism and dynamics of cavities bundles, and the results of drilling pilot holes in mine «Zapadno-Donbasskaya» public corporation «Pavlogradugol».

В настоящее время одним из основных факторов, сдерживающих увеличение нагрузки на очистные забои угледобывающих шахт Украины, является газовый фактор. Средняя эффективность подземной скважинной дегазации, которая осуществляется на базе нормативного отраслевого документа, основывающегося на обработке статистических данных наблюдений, составляет порядка 0,2 – 0,3. Сегодня не разработано более эффективного метода для снижения газовыделения и для получения попутного продукта (газа - энергоносителя) в процессе ведения горных работ, чем дегазации скважинами, пробуренными с поверхности или из подземных выработок [1]. Одним из решающих условий эффективности этих технологий является правильный выбор направления бурения скважин – они должны попадать в зоны повышенной газоотдачи. К таким зонам относятся и полости расслоения (пустоты Вебера и трещины расслоения), формирующиеся при сдвигении слоистого газонасыщенного угленосного массива, находящегося в зоне влияния очистных работ [2 – 6].

Факты расслоения пород кровли выработок известны горнякам издавна и были установлены экспериментально еще опытами М. Фойоля в 1886 г. [6], однако в дальнейшем разработка методов и методик определения условий и параметров механизма их возникновения, динамики их развития, перемещений и закрытий не получили должного развития. Исключение составляют работы [5, 6, 7], в которых рассмотрены некоторые качественные закономерности этих процессов. Причиной этого положения явилось, в первую очередь, отсутствие

надежных и достоверных методов расчета количественных показателей этих процессов, позволяющих осуществлять комплексный учет всего многообразия природных и технологических условий и факторов, определяющих процесс сдвигения слоистого разномодульного горного массива, находящегося в зоне влияния очистных работ и доведенных до инженерных методик.

Поскольку формирование во времени и пространстве полостей расслоения в подработанной надугольной толще находится в тесной взаимосвязи с характером и интенсивностью сдвигения пород над забоем лавы и позади него, эффективность скважинной дегазации, количественные и технологические параметры дегазационных систем должны определяться с учетом закономерностей геомеханических процессов в углеродном массиве.

Движущийся очистной забой вызывает не просто изменения напряженно-деформированного состояния (НДС), как это нередко полагают. В общем случае в значительных объемах горного массива вокруг движущегося забоя и на протяженных участках выработки возникает не только область динамики НДС, но при этом происходят также процессы раскрытия природных трещин, образования новой трещиноватости, расслоения горных пород, разделения на пачки, их разломы и обрушения. Такой участок условно называется областью влияния забоя. Вследствие указанных явлений покрывающая толща позади очистного забоя становится не сплошной, а отдельной средой, и никакими допущениями нельзя ее превратить в сплошную среду.

По мере удаления очистного забоя, когда участок протяженной выработки оказывается за пределами области влияния забоя, в окружающих этот участок породах происходит затухание деформаций ползучести, а при дальнейшем удалении забоя механические процессы могут стабилизироваться.

Основными, систематически проявляющимися механическими процессами, являются процессы: деформаций, разрушений кровли, опорного давления, рассеивания напряжений под краевыми зонами, восстановления деформаций сжатия в породах подстилающей толщи. Знание законов этих процессов предопределяет возможность разработки технологических и технических мероприятий, направленных на повышение степени и уровня безопасности, экономической эффективности и экологической чистоты горных работ. Следовательно, их познание имеет первостепенное значение. Геомеханические процессы в подработанном горном массиве к настоящему времени исследованы достаточно полно применительно к многочисленным технологическим аспектам ведения горных работ. Однако, особенности геомеханики породного массива, обуславливающие процесс его сдвигения в зоне влияния очистных работ и определяющие закономерности образования и динамики развития полостей расслоения раскрыты недостаточно, хотя в таких работах, как [5, 7, 8, 9], и подошли вплотную к их открытию.

Большинство исследователей считают, что основными причинами поступления метана в выработанное пространство и непосредственно в очистные выработки являются [2, 3, 4]:

– десорбция метана угольным веществом в результате разгрузки;

- перераспределение газового давления;
- трещинообразование в зоне изгиба пород с разрывом сплошности и последующее изменение фильтрационных свойств углепородного массива;
- разделение пород по напластованию в зоне изгиба с образованием пустот Вебера и трещин расслоения.

Полости расслоения (пустоты Вебера и трещины расслоения), если они появляются непосредственно над или под газовым коллектором, аккумулируют выделяющийся метан и служат каналами, по которым газ под давлением свободно перетекает [3, 4]. Перепад давления газа в полости на разных ее концах может быть значительным и предопределяется:

- количеством выделяющегося газа;
- скоростью выделения газа из вновьобнажаемых поверхностей коллектора и временем затухания газовыделения;
- размерами полости;
- сопротивлением возможных путей передвижения газа (трещин, сообщающихся пустот, скважин);
- закрытием полости из-за опускания слоев уплотнения пород над выработанным пространством во времени.

Суммируя, можно заключить, что по мере подвигания лавы в полостях происходят колебания давления газа как в результате изменения размеров полостей и выделения новых объемов газа, так и вследствие уменьшения размеров при опускании или обрушении слоев. Следует учитывать, что полость центральной части лавы (пустота Вебера) закрывается с образованием полостей по контуру выработки, остаточными явлениями которых считаются трещины расслоения. Наличие и поведение полостей во многом определяет характер газовыделения и зависит от физико-механических свойств слоев и технологических параметров угледобычи. Газ при обрушении покрывающего слоя под высоким давлением вытесняется из центра к границам полости. В этом случае наблюдаются пиковые газовыделения и возможно загазирование выработок добычного участка.

В случае отсутствия прямых поступлений метана в полости за счет увеличения ее объема при подвигании лавы создается разрежение и газ может засасываться. Это подтверждается случаями подсоса воздуха из выработки в скважину.

Прогноз образования полостей при сдвигении пород вокруг очистной выработки следует производить, принимая во внимание физико-механические свойства слоев, слагающего массив, а также технологические факторы.

Таким образом, особенности сдвигения горных пород при подземной разработке могут быть сформулированы следующим образом [10 – 11]:

- развитие сдвигения подработанной толщи происходит в виде последовательного изгиба тонких плит, нежестко защемленных по контуру выработки с подвижками слоев пород относительно друг друга;
- основным видом нарушения сплошности горного массива является расслоение его по контактам напластования;
- в случае образования вертикальных трещин характер изгиба слоев породы сохраняется;

- по контактам напластования пород, различных по литологическому составу, силы сцепления малы, и ими можно пренебречь;
- при подработке слоев пород имеет место свободное опускание их, при надработке – свободное поднятие;
- максимальное опускание каждого слоя породы определяется вынимаемой мощностью пласта и способом управления кровлей;
- границей опорной зоны над выработанным пространством является геометрическое место точек перегиба осей слоев;
- с течением времени происходит расширение опорной зоны и уменьшение массы зависающих над массивом пород;
- максимальная нагрузка над выработанным пространством для однородной по составу надугольной толщи не превышает собственной массы пород и эта нагрузка изменяется от забоя к оси выработки по линейному закону;
- каждый слой породы можно представить в виде балки-полоски, нагруженной неравномерной нагрузкой, имеющей характерные точки, расположение которых зависит от природных и горнотехнических факторов.

Исходя из вышеизложенного, в качестве модели области сдвижения может быть принят пакет не жестко защемленных балок-полосок, которые нагружены неравномерно распределенной нормальной нагрузкой от массы подработанных пород. Параметры эпюр нагрузок устанавливаются для каждого слоя по характерным точкам, местоположение которых зависит от природных факторов и технологических параметров.

Для реализации модели используются две расчетные схемы. Первая отражает слои породы с защемлением, характерным для основной кровли и вышележащей толщи. Вторая имитирует непосредственную кровлю, представляющую собой не жестко защемленную консоль.

При принятой модели области сдвижения толщи в результате ее подработки для расчета напряженно-деформированного состояния пород заданного слоя необходимо установить параметры эпюры нормальных нагрузок от подработанной массы пород в зависимости от горно-геологических и временных факторов, а также от технологических параметров ведения горных работ. При этом в качестве граничного условия принимается величина свободного опускания слоя породы, которая зависит от вынимаемой мощности пласта m_e и принимается $(0,6 - 0,8) m_e$.

Приняв модель области сдвижения массива горных пород и методологию расчета напряженно-деформированного состояния пород на основе [12], были выполнены прогнозные расчеты динамики формирования полостей расслоения (пустот Вебера) при отработке 870 лавы пласта c_8'' ПСП «Шахта «Западно-Донбасская» ОАО «Павлоградуголь» для использования этих знаний с целью бурения дегазационных скважин и повышения эффективности дегазации.

Впервые для практических целей установлены поперечные размеры «активной» полости расслоения вдоль выемочного столба 870 лавы пласта c_8'' ПСП «Шахта «Западно-Донбасская». Под термином «активная» полость расслоения

понимается та часть полости, которая продолжительный период времени не закрывается. Параметры «активной» полости расслоения при прочих равных условиях зависят от суточной скорости подвигания очистного забоя лавы, длины лавы, условий расположения выемочного столба лавы (примыкания к старым работам), литологического состава вмещающих пород, прежде всего нормальной мощности и физико-механических свойств слоев пород.

Для эффективной дегазации выработанного пространства необходимо осуществление следующих мероприятий: возведение вдоль бровки 870 сборного штрека охранной конструкции опорно-изолирующего характера, которая бы препятствовала оттоку газа на штрек по всей его длине. В данной конструкции с шагом 30 – 50 м должна предусматриваться протяжка труб, которые на штреке соединяются в систему вакуум-насоса. Это позволит эффективно дегазировать выработанное пространство лавы на всем протяжении отработки выемочного столба.

Для эффективной работы дегазационных скважин необходимо их бурить непосредственно за забоем лавы. Данные по направленности скважин при условии их нормального расположения по отношению к продольной оси 870 сборного штрека на примере суточной скорости подвигания очистного забоя 4, 6 и 8 м/сут приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры для направления бурения скважин

V, м/сут	T, сут	Поперечная протяженность "активной" полости расслоения, м								
		скв. №1369П			скв. №1383П			скв. №6311		
		Расстояние от плоскости забоя лавы, м	Расстояние по горизонтали до середины «активной» полости, м	Расстояние по вертикали до середины «активной» полости, м	Расстояние от плоскости забоя лавы, м	Расстояние по горизонтали до середины «активной» полости, м	Расстояние по вертикали до середины «активной» полости, м	Расстояние от плоскости забоя лавы, м	Расстояние по горизонтали до середины «активной» полости, м	Расстояние по вертикали до середины «активной» полости, м
4	0	6,4	11,4	1,22	6,1	12,4	1,42	6,8	13,4	1,73
	25		9,35			8,9			10	
	50		8,7			7,6			9,1	
	75		7,95			7			8,4	
6	0	7,1	11,65	1,22	6,90	13,4	1,42	7,6	14,4	1,73
	25		10,1			9,2			10,55	
	50		9,3			7,7			9,35	
	75		8,55			-			8,55	
8	0	7,4	12,85	1,22	7,65	14,2	1,42	7,8	16,0	1,73
	25		11,7			10,75			11,8	
	50		10,35			8,75			10,45	

Методом послойного опускания слоев пород для горно-геологических условий скв. №1369П и скв. №6311 установлены параметры полости расслоения между алевролитом и песчаником, включающие длину полости в горизонталь-

ной проекции и высоту полости в вертикальной проекции. Установлено, что в условиях скв. №1369П длина полости расслоения составит 27,0 м при максимальной высоте 180,0 мм; для условий скв. №6311 длина полости составит до 50,0 м при высоте 440,0 мм.

На основании разработанного оригинального алгоритма выполнен практический расчет параметров бурения дегазационных скважин, позволяющих охватить сектор эффективного бурения с целью извлечения газа метана из полостей расслоения, для исследованных горно-геологических условий скв. №1369П и скв. №6311. В результате расчета установлено:

– для условий скв. № 1369П параметры для бурения дегазационных скважин – их длина и угол подъема к горизонтальной плоскости при угле разворота бурового оборудования к продольной оси штока $\delta=45^\circ$. Для охвата сектора эффективного бурения длина скважины, пробуренной к ближней границе этого сектора, должна составлять 21,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости $66,4^\circ$, длина скважины, пробуренной к дальней границе сектора, должна составлять 28,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости $42,2^\circ$ и угле разворота оборудования к продольной оси штока $73,3^\circ$ и установке оборудования на расстоянии 12,4 м от плоскости очистного забоя в сторону выработанного пространства;

– для условий скв. №6311 параметры для бурения дегазационных скважин – их длина и угол подъема к горизонтальной плоскости при угле разворота бурового оборудования к продольной оси штока $\delta=45^\circ$. Для охвата сектора эффективного бурения длина скважины, пробуренной к ближней границе этого сектора, должна составлять 24,1 м при угле подъема к горизонтальной плоскости $40,3^\circ$, длина скважины, пробуренной к дальней границе сектора, должна составлять 35,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости $25,5^\circ$ и угле разворота оборудования к продольной оси штока $65,9^\circ$ и установке оборудования на расстоянии 20,2 м от плоскости забоя лавы в сторону выработанного пространства;

– разработана и утверждена в установленном порядке «Программа и методика проведения экспериментального бурения на участке 870 лавы».

При изменении горно-геологических и горнотехнических условий параметры бурения уточняются в соответствии с разработанным алгоритмом.

Согласно разработанной «Программе и методике...» было пробурено семь экспериментальных скважин, параметры которых уточнялись в зависимости от горно-геологической и горнотехнической ситуации в лаве.

Экспериментальная скважина №1 была пробурена по следующим параметрам: угол разворота 30° , угол подъема 30° , длина скважины 32 м. После окончания бурения концентрация газа метана в скважине составляла 80 %. Скважина, подключенная к вакуум-наосу через магистральный трубопровод, проработала 7 дней, концентрация газа при этом составляла от 80 до 25 %.

Экспериментальные скважины № 2 – 7 были пробурены по следующим параметрам: угол разворота 140° , угол подъема 45° , длина скважины 29 м. После бурения данных скважин из них пошел газ под давлением, что говорит о вскры-

тии полости расслоения, в которой находится газ метан. Это позволило увеличить эффективность дегазации: уменьшить концентрацию газа в воздушной струе лавы с 0,54 % до 0,27 % или на 50 %, уменьшить относительную метанобильность с 16,31 м³/т.с.д. до 14,53 м³/т.с.д. или на 11 %, уменьшить концентрацию газа на исходящей воздушной струе участка с 0,72 % до 0,59 % или на 18 %, что позволяет при необходимости увеличить нагрузку на очистной забой.

Использование полостей и трещин расслоения для извлечения шахтного метана при добыче угля и, в частности, при отработке лав позволяет улучшить следующие технико-экономические показатели работы выемочных участков:

- достигаются значительные дебиты дегазационных скважин;
- расстояние между скважинами увеличивается до 80 – 100 м;
- срок службы скважин составляет от 2 – 3 месяцев до нескольких лет;
- каптируемый газ высокого качества;
- снижается вероятность суффлярных выделений газа;
- предотвращаются пиковые газовыделения на выемочном участке;
- потенциальные объемы метана в полостях-ловушках, формируемых при ведении горных работ и не питающих выработки газом, извлекаются;
- производительность очистных забоев в условиях неизменных параметров вентиляции повышается на 30 – 70 %, а себестоимость угля по шахте (с учетом затрат на дегазационные работы) снижается на 2 – 3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф. Опыт и перспективы промышленной добычи шахтного метана в Украине / А. Ф. Булат, Ю. И. Кияшко, Л. И. Гажемон // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2004. – Вып. № 48. – С. 67 – 75.
2. Четвертаков В. В. О целесообразности использования пустот Вебера и трещин расслоения для извлечения шахтного газа / В. В. Четвертаков // Сб. науч. тр. НГА Украины: № 7. Том 3. Разработка месторождений полезных ископаемых. Маркшейдерия и геология. Геоинформационные технологии в горном деле и геологии. – Днепропетровск: РИК НГУ Украины, 1999. – С. 36 – 39.
3. Савенко Л. В. О полостях вблизи спутников / Л. В. Савенко // Уголь Украины, 1958. – С. 22 – 26.
4. Савенко Л. В. О дегазации спутников угольных пластов / Л. В. Савенко // Дегазация угольных пластов. – М. : Госгортехиздат, 1961. – С. 285 – 291.
5. Слесарев В. Д. Вопросы управления кровлей / В. Д. Слесарев. – М. : ОНТИНКТП, 1935. – 130 с.
6. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. – М. : Недра, 1980. – 360 с.
7. Кузнецов Т. Н. Моделирование проявлений горного давления / Т. Н. Кузнецов, И. Н. Будько, Ю. И. Васильев. – Л. : Недра, 1968. – 279 с.
8. Борисов А. А. Основные закономерности механических процессов в литосфере (в шахтных и естественных полостях) / А. А. Борисов // Уголь. – 1989. – № 12. – С. 10 – 16.
9. Шашенко А. М. Геомеханические процессы в породных массивах / А. М. Шашенко, Т. Майхерчик, Е. А. Сдвижкова. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
10. К вопросу о факторах и условиях, определяющих механизм формирования и динамику развития полостей расслоения при сдвигении горного массива в зоне влияния очистных работ / А. И. Волошин., О. В. Рябцев, Ю. Н. Игнатович, С. Ю. Процак // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. № 69. – С. 263 – 277.
11. Шашенко А. Н. Механика горных пород. / А. Н. Шашенко, В. П. Пустовойтенко. – К : Новий друк, 2004. – 400 с.
12. Савостьянов А. В. Управление состоянием массива горных пород / А. В. Савостьянов, В. Г. Клочков. – К. : УМК ВО, 1992. – 276 с.