

член-корр. НАН Украины А.И. Волошин,  
канд. техн. наук О.В. Рябцев, м.н.с С.Ю. Процак,  
вед. инж. И.Ю. Аля-Брудзинский

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСТЕЙ РАССЛОЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИХ МЕТАН, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ**

Наведено загальні відомості про механізм виникнення порожнин розшарування, а також результати досліджень напружено-деформованого стану вміщуючих порід навколо виїмкової шпрегу при відпрацюванні лави, на підставі яких обґрунтовано параметри порожнин розшарування, що містять метан, і розроблені рекомендації для буріння експериментальних свердловин в умовах шахти «Західно-Донбаська» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

## **RATIONALE PARAMETER BUNDLE CAVITIES CONTAINING METHANE, AND THEIR EFFECT ON IMPROVING THE EFFICIENCY DEGASSING**

Provides general information about the mechanism of separation of the cavities, as well as research results of the stress-strain state of the country rocks in the vicinity of roadway excavation when mining lava on which parameters are justified by the interlayer cavities of the bundle, containing methane, and developed recommendations for drilling pilot holes in the mine "Zapadno-Donbasskaya" PC "DTEK Pavlogradugol".

В настоящее время одним из главных факторов, сдерживающих увеличение нагрузки на очистные забои угледобывающих шахт Украины, является газовый фактор. Средняя эффективность подземной скважинной дегазации составляет порядка 0,2 – 0,3. Основным мероприятием по снижению выделения метана в горные выработки шахт является дегазация угольных пластов и коллекторов природных скоплений свободного газа. Сегодня для снижения газовыделения и для получения в качестве попутного продукта газа-энергоносителя в процессе ведения очистных работ используют технологии дегазации скважинами, пробуренными с поверхности или из подземных выработок [1 – 3]. Одним из решающих условий эффективности этих технологий является правильный выбор направления бурения скважин – они должны попадать в зоны повышенной газоотдачи. К таким зонам относятся полости расслоения (пустоты Вебера и трещины расслоения), формирующиеся при сдвигении слоистого газонасыщенного углепородного массива, находящегося в зоне влияния очистных работ [4, 5].

Факты расслоения пород кровли выработок известны горнякам издавна, и были установлены экспериментально опытами М. Фойоля в 1886 г. [6]. В дальнейшем разработка методов и методик определения условий и параметров механизма их возникновения, динамики развития не получили должного развития. Исключение составляют работы [5 – 7], в которых рассмотрены некоторые качественные закономерности указанных процессов.

Механизм формирования полостей расслоения в породном массиве определяется качественными и количественными показателями напряженно-деформированного состояния подработанной толщи слоистых пород и

динамикой его изменения во времени и пространстве. Поэтому к определяющим процессам формирования и развития полостей расслоения горнотехническим параметрам и факторам относятся те, которые характеризуют сдвигание слоистого разномодульного горного массива. Однако необходимо учитывать, что процесс образования полостей расслоения имеет характерные особенности, адекватные специфическим условиям ведения горных работ, другими словами является имманентной характеристикой конкретного добычного участка, взаимоувязанной со всем комплексом горнотехнических факторов, производственных условий и временем.

Поскольку формирование во времени и пространстве полостей расслоения в подработанной надугольной толще находится в тесной взаимосвязи с характером и интенсивностью сдвижения 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 [4, 5].

Движущийся очистной забой вызывает не только изменение напряженно-деформированного состояния (НДС), но и раскрытие природных трещин, образование новой трещиноватости, расслоение горных пород, разделение их на пачки, а также разломы и обрушения. Вследствие указанных явлений покрывающая толща позади очистного забоя становится не сплошной, а раздельной средой, и никакими допущениями нельзя ее представить в виде сплошной среды.

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 геомеханические процессы стабилизируются.

Знание закономерностей протекания геомеханических процессов при сдвижении пород делает возможным разработку технологических и технических мероприятий, которые направлены на повышение технологичности и степени безопасности ведения горных работ. Однако особенности геомеханики породного массива в зоне влияния очистных работ и закономерности динамики развития полостей расслоения раскрыты недостаточно.

Большинство исследователей считают [4 – 8], что основными причинами поступления метана в выработанное пространство и непосредственно в очистные выработки являются: 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 и разделение пород по напластованию в зоне изгиба с образованием полостей и трещин расслоения.

Полости расслоения, если они появляются непосредственно над или под газовым коллектором, аккумулируют выделяющийся метан и служат каналами, по которым газ под давлением свободно перетекает [3 – 5].

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что по мере подвигания лавы в полостях происходят колебания давления газа как в результате выделения новых объемов газа, так и вследствие изменения их размеров при опускании или обрушении слоев пород. 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, слагающих массив, а также технологические параметры ведения горных работ.

Приняв модель области сдвигения массива горных пород и методологию расчета напряженно-деформированного состояния пород на основе [4], были выполнены прогнозные расчеты динамики формирования полостей расслоения при отработке 870 лавы пласта  $c_8^H$  ПСП «Шахта «Западно-Донбасская» ПАО «Павлоградуголь».

Впервые для практических целей методом определения закономерностей распределения нормальных нагрузок установлены поперечные размеры так называемой «активной» полости расслоения вдоль выемочного столба 870 лавы пласта  $c_8^H$  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.

Повышение эффективности дегазации выработанного пространства осуществляется при использовании следующих технологических мероприятий: возведения 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 предусматривается протяжка труб, которые на штреке соединяются в систему вакуум-насоса. Это позволит эффективно дегазировать выработанное пространство лавы на всем протяжении отработки выемочного столба.

Методом послойных опусканий для горно-геологических условий отработки 870 лавы пласта  $c_8^H$  установлены параметры полости расслоения между алевролитом и песчаником, включающие длину полости в горизонтальной проекции и высоту полости в вертикальной проекции. В условиях Сква. №1369П длина полости расслоения составит 27,0 м при высоте 180,0 мм, а для условий Сква. №6311 длина полости составит до 50,0 м при высоте 440,0 мм.

Реализация практических рекомендаций была осуществлена на основании разработанной и утвержденной в установленном порядке «Программы и методики проведения экспериментального бурения на участке 870 лавы». Согласно этой «Программы и методики...» было пробурено семь экспериментальных скважин, параметры которых уточнялись в зависимости от изменения горно-геологической и горнотехнической ситуации в лаве.

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

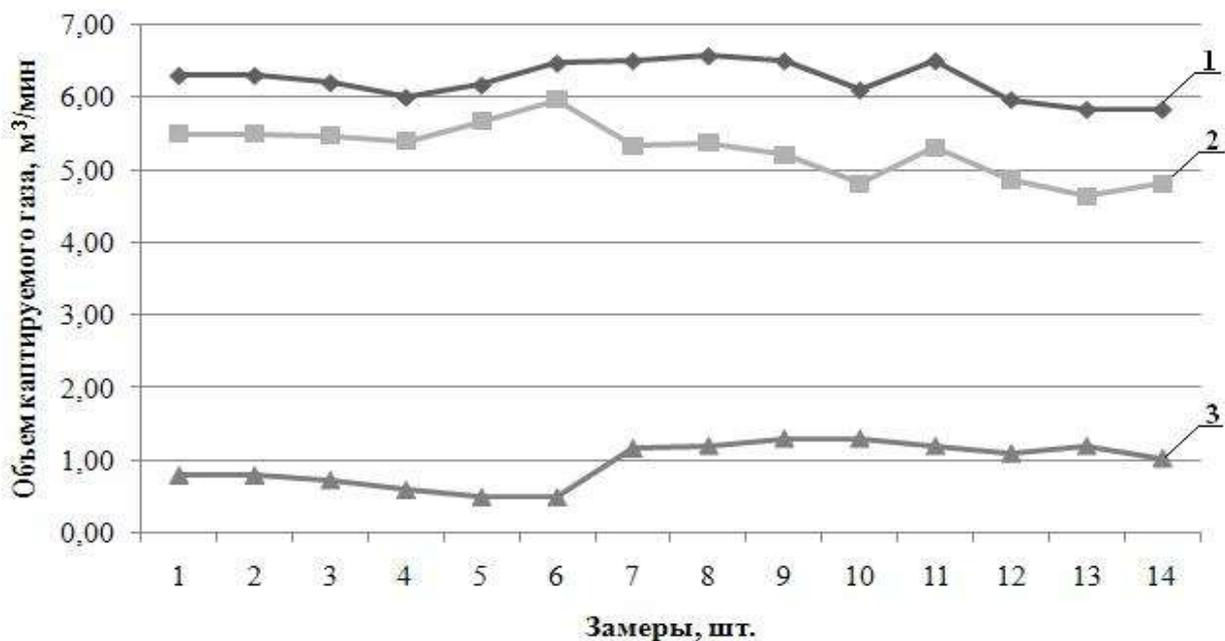
➤ для условий Сква. №1369П длина скважины, пробуренной к ближней границе полости расслоения, должна составлять 21,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости  $66,4^0$ , длина скважины, пробуренной к дальней границе полости, должна составлять 28,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости  $42,2^0$  и угле разворота оборудования к продольной оси штока  $73,3^0$  при установке оборудования на расстоянии 12,4 м от плоскости очистного забоя в сторону выработанного пространства;

➤ для условий Сква. №6311 длина скважины, пробуренной к ближней границе этой полости расслоения, должна составлять 24,1 м при угле подъема к горизонтальной плоскости  $40,3^0$ , длина скважины, пробуренной к дальней границе полости, должна составлять 35,2 м при угле подъема к горизонтальной плоскости  $25,5^0$  и угле разворота оборудования к продольной оси штока  $65,9^0$  при установке оборудования на расстоянии 20,2 м от плоскости забоя лавы в сторону выработанного пространства.

Экспериментальная скважина №1 была пробурена по следующим параметрам: угол разворота  $30^0$ , угол подъема  $30^0$ , длина скважины 32 м. После окончания бурения концентрация газа метана в скважине составляла 80 %. Скважина, подключенная к вакуум-насосу через магистральный трубопровод, проработала 7 дней, концентрация газа составляла от 80 % до 25 %.

Экспериментальные скважины № 2 – 7 были пробурены по следующим параметрам: угол разворота  $140^0$ , угол подъема  $45^0$ , длина скважины 29 м. После бурения данных скважин из них пошел газ под давлением, что говорит о вскрытии полости расслоения, в которой находится газ метан, и справедливости принятого для определения параметров полостей расслоения подхода.

На протяжении всего эксперимента выполнялись замеры содержания метана в воздушной струе лавы, на исходящей воздушной струе добычного участка и участковом дегазационном трубопроводе, который подключен к вакуум-насосной станции. Замеры, которые проводились после бурения экспериментальных скважин, позволили оценить изменение эффективности дегазации по мере их вывода из эксплуатации. Эти данные представлены на рис. 1.



1 – суммарный объем каптируемого газа; 2 – объем газа из экспериментальных скважин; 3 – объем газа из скважин, пробуренных по нормативной методике

Рис. 1 – Данные для оценки эффективности экспериментальных дегазационных скважин

Как видно на рис. 1, бурение экспериментальных скважин заметно увеличило эффективность дегазации. Помимо вышеприведенных результатов экспериментов также производились замеры концентрации метана в исходящей струе лавы и участка, относительная метанообильность по отношению к суточной добыче лавы, газовыделение на участке и лаве, концентрация метана на вакуум насосной станции. По результатам проведенных исследований установлено, что проведение дегазации с использованием рекомендаций по параметрам бурения скважин позволило увеличить эффективность дегазации, а именно: уменьшить концентрацию газа в воздушной струе лавы с 0,54 % до 0,27 % или на 50 %, уменьшить относительную метанообильность с 16,31 м<sup>3</sup>/т.с.д. до 14,53 м<sup>3</sup>/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 до 25 %.

**Выводы.** Использование Технологии [4] позволило двумя методами, взаимодополняющими друг друга, осуществить расчет параметров полостей

расслоения вдоль движущегося забоя лавы. Благодаря учету Технологией большого количества определяющих факторов и условий ведения горных работ, были выявлены закономерности деформирования пород кровли во времени и в пространстве для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий и определены параметры полостей расслоения между литологическими разностями на контактах напластований, их протяженность и изменение геометрических размеров по мере отработки лавы.

На этом основании был разработан комплекс практических рекомендаций по параметрам бурения дегазационных скважин: угол разворота, угол подъема и длина.

Результаты бурения дегазационных скважин по данным рекомендациям показали, что эффективность дегазации по различным показателям улучшилась на 11 % - 50 %, что при необходимости обеспечивало возможность увеличения нагрузки на очистной забой по газовому фактору до 25 %.

Поскольку горно-геологические условия шахт Западного Донбасса одни из самых сложных на шахтах Украины, то это еще в большей мере констатирует высокую степень точности и надежности полученных рекомендаций относительно формирования полостей расслоения, содержащих метан. Учитывая актуальность повышения эффективности дегазации для увеличения уровня добычи угля на газовых шахтах, будет целесообразным использование Технологии [4] для корректировки параметров бурения дегазационных скважин для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий и факторов ведения горных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукинов В. В. Роль природных катализаторов в процессе образования метана угольным веществом / В.В. Лукинов, В.А. Гончаренко, Д.А. Суворов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 76. – С. 21 – 25.
2. Бокий Б.В. Требования к технологии дегазации углепородного массива для повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на лаву / Б. В. Бокий, К. К. Софийский, Е.Г. Барадудин, В.А. Нечитайло, В.Г. Золотин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 76. – С. 35 – 44.
3. Янко С. В. Перспективы освоения глубоко залегающих угольных месторождений / С. В. Янко, Б. А. Трошенькин // Уголь Украины. – 2010, № 10. – С. 3 – 11.
4. Булат А. Ф. Методология определения рациональных технологических параметров ведения горных работ / А. Ф. Булат, А. И. Волошин, О. В. Рябцев, А. В. Савостьянов // Уголь Украины. – 2010, № 10. – С. 15 – 18.
5. Волошин А. И. О механизме формирования полостей расслоения, содержащих метан / А. И. Волошин, О. В. Рябцев, А. И. Коваль // Уголь Украины. – 2011, № 1. – С. 46 – 50.
6. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 576 с.
7. Кузнецов Т. Н., Будько И. Н., Васильев Ю. И. Моделирование проявлений горного давления. – Л.: Недра, 1968. – 374 с.
8. Софийский К. К. Перспективы применения пневмогидродинамического воздействия через поверхностные дегазационные скважины на углепородный массив для интенсификации газовыделения // Форум горняков – 2009. Материалы междунар. конф. «Подземные катастрофы: модели, прогноз, предотвращение». – Д.: Национальный горный университет, 2009. – С. 61 – 69.

Доктор техн. наук С. П. Минеев,  
канд. техн. наук А. А. Прусова,  
канд. техн. наук М. Г. Корнилов  
(ИГТМ НАН УКРАИНЫ)

## **ОЦЕНКА ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ МЕТАНА В МИКРОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

Встановлено залежність для визначення коефіцієнту твердотільної дифузії метану у привибійній зоні вугільного пласта на великій глибині з урахуванням конформаційного механізму деформування мікроструктури вугілля середнього ступеня метаморфізму, швидкості ведення гірничих робіт та відстані від вибою до максимуму опорного тиску.

## **ESTIMATION OF SOLID-STATE DIFFUSION COEFFICIENT OF METHANE IN THE MICROPOROUS STRUCTURE OF COAL SEAM**

The dependence for determining the solid-state diffusion coefficient of methane in the face zone of the coal seam at a large depth, taking into account the conformational mechanism of deformation of the microstructure of coal of average degree of metamorphism depending on the speed of mining operations and the distance from breast to the bearing pressure maximum.

В настоящее время, как известно [1, 2], неоспоримым фактом является то, что при оценке безопасных условий ведения горных работ на выбросоопасных угольных пластах необходимо выполнять расчеты всех типов диффузии метана, имеющих место в структуре угольного пласта, а не их осредненного показателя, как часто делают в процессе проведения этих расчетов. Одним из таких типов диффузии является твердотельная диффузия, которая имеет место в межпористой структуре угольного пласта. При вычислении этой диффузии важным моментом является учет конформационного механизма деформирования микроструктуры угля, приводящий к изменению коэффициента твердотельной диффузии. Однако проведенные к настоящему времени расчеты не учитывают этого важного механизма, обуславливающего процесс диффузии метана в угольном пласте. Вследствие чего может теряться информация о моменте зарождения опасной ситуации при газодинамическом проявлении горного давления. В связи с этим, в работе была сделана попытка ликвидировать данный пробел в указанной расчетной схеме твердотельной диффузии метана в призабойной зоне угольного пласта.

Согласно конформационному механизму релаксации, при изменении давления в угле происходят конформационные перестройки в алифатической бахроме, обуславливающие изменение межслоевых расстояний в молекулярной структуре угля. Данные перестройки, в свою очередь, приводят к изменению коэффициента твердотельной диффузии метана, который можно рассчитать по модели Пейса-Дейтинера [1], наиболее полно связывающей параметры молекулярной структуры вещества с его диффузионной способностью: