

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
МЕТАНОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛОСТЕЙ И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН
НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ**

Наведені результати досліджень по визначенню закономірностей взаємовпливу джерел газу в шаруватому масиві порід, оцінці умов формування метановміщуючих порожнин і виявленню основних причин нестабільності газовиділення в гірничі виробки вугільних шахт.

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF FORMING CONTAINING
METHANE VOIDS AND IDENTIFICATION OF CAUSES OF INSTABILITY
GAS EMISSION IN MINE WORKINGS**

The results of researches to determine regularity the mutual influence of gas sources in a stratified rock massif and estimation to conditions of forming of containing methane voids and identify underlying causes of instability gas emission in the mine workings of coal mines.

На высокопроизводительных шахтах Донбасса разработку угольных пластов ведут, как правило, столбовыми системами с управлением кровлей полным обрушением. Загазирование лав и вентиляционных штреков на шахтах, опасных по газу, происходит, в основном, при наличии больших объемов выработанных пространств по всей длине выемочных столбов и интенсивной отработке очистных забоев. Наиболее опасными являются трудноуправляемые колебания содержания метана в горных выработках, вызванные посадками основной кровли, технологическими процессами в лаве, недостаточной эффективностью дегазационных мероприятий, суфлярами, нарушениями вентиляционного режима регуляторами расхода воздуха и сложными фильтрационными процессами при разрушении породного массива [1, 2]. Вследствие этого, в горных выработках по пути движения вентиляционной струи происходят скачки содержания метана, нарушающие установившийся газовый режим добычных участков. Методы борьбы с газом часто недостаточно эффективны, поскольку они не учитывают реальное геомеханическое состояние газонасыщенных пород участка, их трещиноватость и способность десорбировать метан [3]. Поэтому весьма важной предпосылкой для повышения безопасности горных работ является решение проблем, связанных с определением условий формирования метаносодержащих полостей в породном массиве, оценкой его способности к дегазации и выявлением основных причин нестабильного характера газовыделения в горные выработки.

Как известно, при ведении горных работ над выработками выемочного участка под действием высоких напряжений формируется нарушенная зона, в которой происходят сложные взаимозависимые геомеханические и газодинамические процессы (сдвигения, разгрузки, расслоения, дегазации газонасыщенных пород и другие), обуславливающие интенсивность поступления газа на добыч-

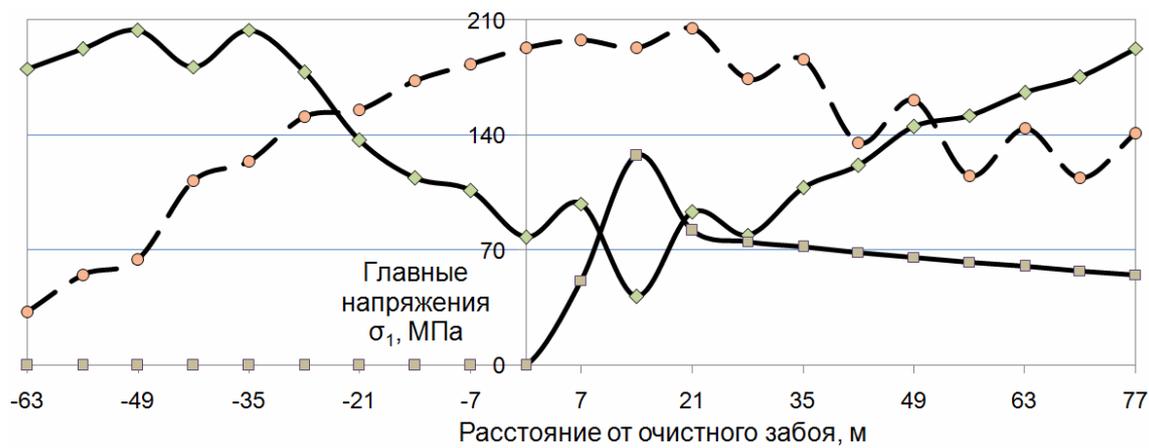
ной участок. Чаще всего в зону обрушения попадают несколько источников выделения метана, основными из которых, как правило, являются пористые песчаники и угольные пропластки [4, 5]. Зоны разрушенных пород над выработанными пространствами и выработками являются потенциальными метаносодержащими полостями, формирование которых определяется горным давлением и зависит от горно-геологических и горнотехнических параметров.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние нарушенного горными работами породного массива и взаимодействие двух источников выделения газа (пористых песчаников) на примере горно-геологических условий пласта m_3 опасной по газу угольной шахты им. А.Ф. Засядько. Два мощных пласта газонасыщенного песчаника находятся в основной кровле угольного пласта: первый шестиметровый слой песчаника на расстоянии ≈ 18 м от пласта, а второй тридцатиметровый слой – на расстоянии ≈ 50 м. Вынимаемая мощность угольного пласта 1,6-2,0 м, глубина разработки 1300 м. Моделирование включало определение напряженно-деформированного состояния породного массива и анализ зон неупругих деформаций по длине выемочного столба, в которых наиболее интенсивно происходят деформационные и фильтрационные процессы. Физико-механические свойства модели задавались по геологическим данным с учетом коэффициентов структурного ослабления и длительной прочности. Использована деформационная упругопластическая модель с учетом разупрочнения пород за пределом прочности. Расчеты проведены на вычислительном комплексе ИГТМ НАН Украины «ГЕО-РС (v.5.0.)».

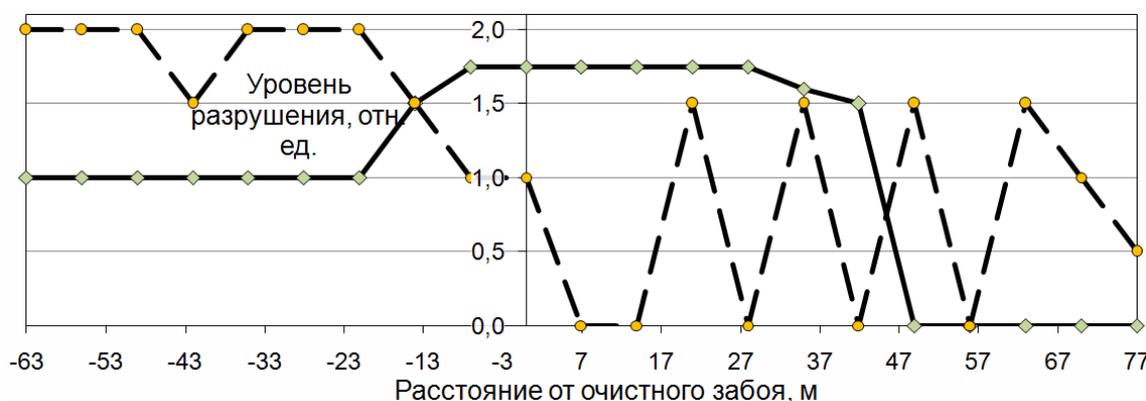
Параметры зоны опорного давления определены по напряженному состоянию угольного пласта впереди лавы. Как показано на рис. 1, а, зона динамического опорного давления распространяется на расстояние до 70 м и более впереди очистного забоя и имеет максимальные значения напряжений (до 130 МПа, коэффициент концентрации напряжений $k=2,3$) на расстоянии 9-21 м.

Несмотря на то, что исходные условия для двух слоев газонасыщенных песчаников основной кровли в зоне опорного давления сходны, их напряженное состояние и степень разрушения по длине выемочного столба существенно отличаются (рис. 1). По мере подвигания очистного забоя прочные слои песчаника взаимодействуют друг с другом в противофазе (рис. 1, а). Если нижний слой впереди очистного забоя еще не разрушен, то он воспринимает основную нагрузку консоли основной кровли, и, наоборот, при разрушении первого слоя песчаника нагрузка передается на вышележащий слой. Верхний более мощный слой песчаника впереди лавы разрушается циклично и до уровня плюс 21 м напряжения в нем возрастают до 205 МПа ($k=3,7$). В зоне максимума опорного давления и на уровне лавы (от нуля до минус 14 м) основную нагрузку несет тридцатиметровый слой песчаника, так как ближний шестиметровый слой песчаника уже частично разрушен, при этом максимальные главные напряжения в нем наблюдаются на уровне плюс 7 м от линии очистного забоя и составляют 98 МПа ($k=1,8$). То есть, впереди очистного забоя в зоне повышенного горного давления коэффициент концентрации максимальных главных напряжений достигает $1,8 \div 3,7$, вследствие чего за счет смыкания трещин и пор проницаемость

породного массива снижается.



а)



б)

- угольный пласт m_3 ;
- ◆— первый от угольного пласта слой песчаника основной кровли;
- второй от угольного пласта слой песчаника основной кровли;

Рис. 1 – Характер разрушения и взаимодействия газонасыщенных слоев песчаника основной кровли по поперечному сечению выемочного столба: а – значения максимальных главных напряжений; б – разрушения газонасыщенных слоев песчаника основной кровли.

В выработанном пространстве на расстоянии $\approx 20-40$ м за очистным забоем происходит дальнейшее оседание верхнего слоя песчаника, при этом он опускается на нижележащие породы и уплотняет нижний слой песчаника, а восстановленная нагрузка передается на вышележащие породы. Напряжения в первом слое песчаника возрастают, во втором – падают (рис. 1, а).

На рис. 1, б, представлены графики, на которых степень разрушения массива упорядочена по степени раскрытия трещин. Нулевому значению соответствует упругая деформация (газ находится только в порах), единице – неупругая деформация в области неравнокомпонентного сжатия (газ находится в порах и системах микротрещин), двум – разрыв сплошности в зоне растяжения (газ свободно перемещается по системам магистральных трещин). С точки зрения

анализа фильтрационных процессов наиболее влиятельные зоны открытых трещин (разрывов сплошности), так как по ним происходит движение метана, а главными движущими силами его фильтрации в массиве является давление свободного газа, содержащегося в крупных порах, трещинах, местах геологических нарушений закрытого типа, и изменяющееся напряженное состояние газоносного массива. Как показано на рис. 1, б, зоны открытых трещин расположены над выработанным пространством и, частично, в газонасыщенном песчанике основной кровли впереди очистного забоя. Развитие трещин в первом слое песчаника начинается на расстоянии от забоя 35-50 м впереди лавы. Во втором слое песчаника на расстоянии 50-70 м начинают распространяться вертикальные трещины, разделяя его на блоки по 12-28 м. В выработанном пространстве обрушение первой пачки песчаника происходит на расстоянии минус 7-22 м от лавы. Происходит резкое падение напряжений, раскрытие существующих и образование новых трещин.

Анализ характера развития процесса разрушения источников газовыделения в кровле очистного забоя и формирование зон различной проницаемости показал, что со стороны угольного пласта в зоне опорного давления породы кровли находятся в состоянии переуплотнения и слабопроницаемы, а в интервале 24-35 м за лавой они, напротив, имеют максимальный коэффициент разуплотнения и значительные разрушения, поэтому их газопроницаемость очень велика. Это способствует либо аккумуляции газа в пределах зоны неупругих деформаций, либо его миграции в направлении областей более низкого давления. На практике наиболее интенсивный процесс газовыделения наблюдается в сторону выработанного пространства на уровне проекции забоя лавы или на некотором удалении за лавой, что соответствует наибольшим разрушениям пород основной кровли.

Величиной, характеризующей способность участков породного массива к газоотдаче, является газоприток в дегазационные скважины, который зависит от расстояния скважины до очистного забоя. При этом эффективность их работы зависит от вовлечения в дегазацию тех или иных источников газовыделения. Анализ содержания метана в дегазационных скважинах (рис. 2) убедительно подтвердил данные численных экспериментов. Дебит метана и его концентрация имеют ярко выраженный нестационарный скачкообразный характер, наблюдаются всплески содержания метана в массиве над вентиляционным штреком на сопряжении работающей лавы и отработанного пространства. За лавой содержание метана в дегазационных скважинах растет в 6-11 раз по причине активизации газовыделения из подрабатываемых пластов-спутников и песчаников основной кровли, что составляет порядка 75 % от общего объема выделившегося газа. Общая тенденция повышения содержания метана в скважинах при приближении очистного забоя свидетельствует о наличии его значительных объемов в породах кровли над вентиляционным штреком. Метан, который находится под давлением в горных породах впереди очистного забоя, является потенциально опасным и может просачиваться в лаву, выработанное пространство или вентиляционный штрек.



Рис. 2 – Изменение содержания метана в дегазационных скважинах вдоль вентиляционного штрека в зависимости от расстояния до очистного забоя

Напряженно-деформированное состояние первого слоя газонасыщенного песчаника основной кровли характеризуется неравномерностью по длине выемочного столба (рис. 3). После прохода лавы над вентиляционным и конвейерным штреками возникают концентрации напряжений, вызванные прогибом и разрушением консоли основной кровли. Вместе с тем, зоны повышенного горного давления над вентиляционным и конвейерным штреками существенно отличаются. Над конвейерным штреком слой песчаника еще не разрушен и имеет низкую газопроницаемость. Над вентиляционным штреком на сопряжении с ранее отработанной лавой наблюдаются нестабильное скачкообразное изменение напряжений и блочное неравномерное разрушение слоя песчаника, что вызывает неритмичную и интенсивную десорбцию метана в горные выработки. В процессе распространения трещиноватых зон существенно изменяется и процесс газовыделения, так как в дегазацию дополнительно вовлекаются пласты-спутники, а в нарушенных породах междупластья возникают коллекторы газа метана. При разрушении нижележащих подработанных породных слоев метан из нарушенных газоносных источников начинает мигрировать в выработанное пространство, создавая в массиве техногенные потоки различных направлений и интенсивности.

Рассмотрим эволюцию процесса дегазации с позиции ранее отмеченных особенностей формирования зон разгрузки и повышенной газоотдачи. При отработке угольного пласта метан десорбируется из газоносных слоев и по микро- и макротрещинам, преимущественно горизонтального направления, мигрирует из зоны динамического опорного давления (7-20 м впереди лавы) в зону очистных работ и выработанное пространство (от плюс 7-20 м до минус 20-40 м).

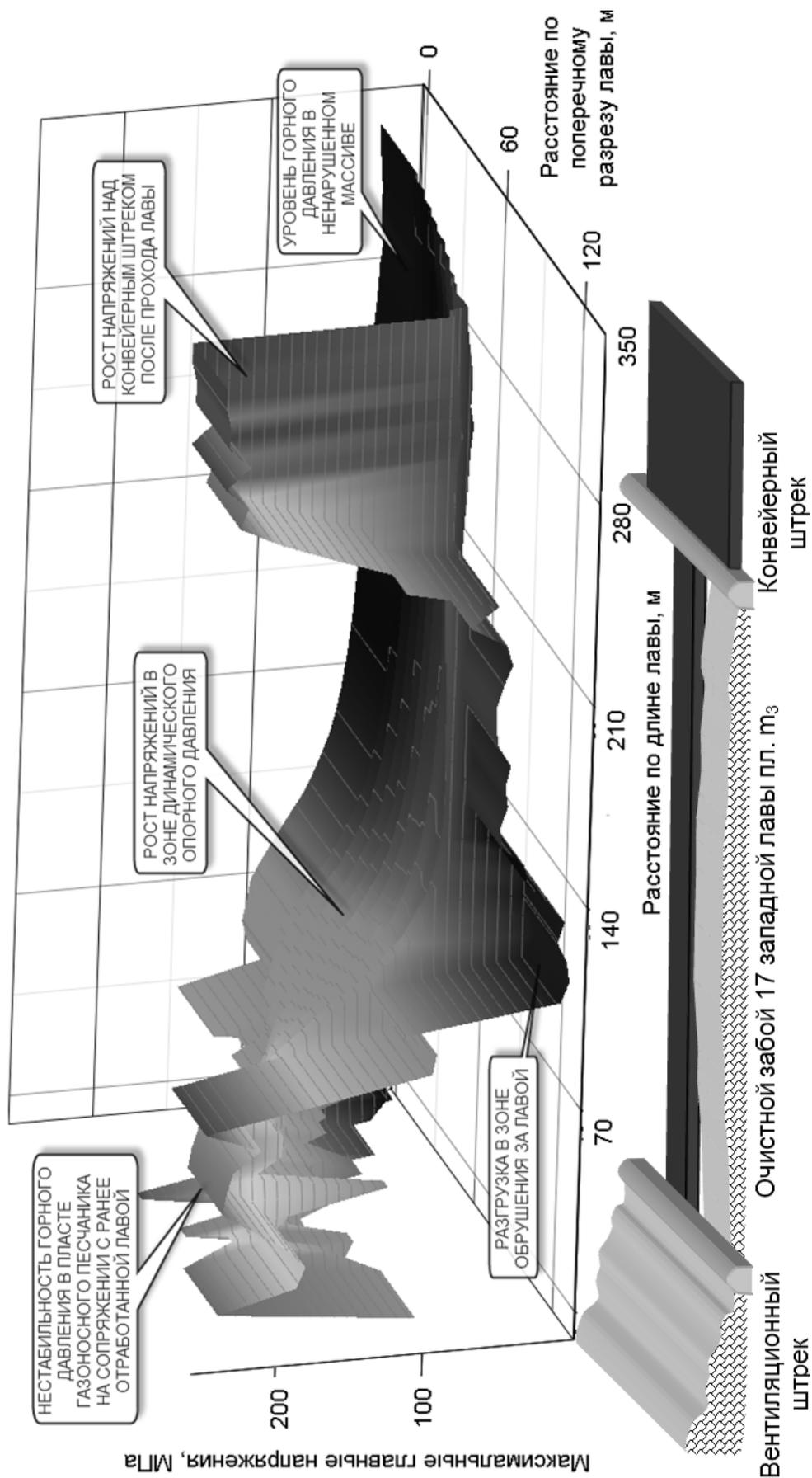


Рис. 3 – Напряженное состояние слоя газонасыщенного песчаника основной кровли и нестабильный характер горного давления при отработке пласта т₃ шахты им. А. Ф. Засядько (горизонт 1300 м)

Разрушение песчаников приводит к формированию газонаполненных пустот с повышенным газовым давлением. Полости в зонах неупругих деформаций заполняются газом, который затем выделяется в выработанное пространство при посадках и неритмичных разрушениях основной кровли. Вследствие уплотнения пород и возникновения разницы давлений газ по вертикальным трещинам и трещинам контура обрушения поступает в горные выработки. Разрушение газонасыщенных песчаников в основной кровле угольного пласта происходит скачкообразно, что существенно влияет на нестабильность газового режима выемочного участка и приводит к всплескам содержания метана в горных выработках, которые особо опасны на сопряжениях лавы.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния слоистого породного массива и взаимного влияния источников газовыделения, преимущественно пористых песчаников, при отработке угольного пласта m_3 в сложных горно-геологических условиях АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» с учетом неупругих состояний горных пород в областях сжатия и растяжения. Особенность газодинамического взаимодействия между собой пластов газоносного песчаника заключается в том, что на неразрушенных участках они являются мощными концентраторами напряжений и препятствиями для фильтрации метана, а на разрушенных – основными источниками газовыделения и поступления метана в горные выработки. Скачкообразные изменения давления газа в метаносодержащих полостях, вызванные интенсивными разрушениями сближенных пластов и высокопористых песчаников, являются одной из основных причин нестабильного характера выделения метана в горные выработки.

Результаты исследований необходимы для обеспечения целостности и эффективности работы дегазационных скважин в условиях высокой газонасыщенности массива горных пород, повышения эффективности и безопасности дегазационных мероприятий в целом, прогноза всплесков выделения метана в горные выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А. Ф. Засядько / А.Ф. Булат // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. – Вып. 37. – С. 10-17.
2. Усаченко, Б. М. Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б.М. Усаченко. – Киев: Наук. думка, 1979. – 136 с.
3. Практический опыт повышения эффективности угледобычи и безопасности труда в сложных горно-геологических условиях / И.Н. Слащев, С.А. Курносов, Е.А. Слащева и др. // Научный вестник НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2009. – № 11. – С. 20-25.
4. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков / А. Ф. Булат, С. А. Курносов, И. Н. Слащев и др. // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
5. Особенности методического подхода к изучению процессов сдвижения углепородного массива для прогнозной оценки направления миграции метана / С.А. Курносов, И.Н. Слащев, И.А. Ефремов и др. // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2006. – Вып. 67. – С. 288-292.