

УДК 622.831.325

**QUESTIONS OF THE ANALYSIS OF THE APPLICABLE SCHEMES OF
CONVEYING THE MOVING SITES ON UKRAINIAN MINES AND
EFFECTIVENESS OF DEGASATION**

**ВОПРОСЫ АНАЛИЗА ПРИМЕНЯЕМЫХ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ
УЧАСТКОВ НА ШАХТАХ УКРАИНЫ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ**

Минеев С.П., / Mineev S.P.

д.т.н., проф. / d.t.s., prof.

Кочерга В.Н. / Kocherga V.N.

соискатель / aspirant

Наривский Р.Н. / Narivskiy R.N.

аспирант / graduate student

Янжула А.С. / Yanzhula A.S.

соискатель / aspirant

IGTM N.S. Polyakova NASU, Dnepr, Simferopolska 2a, 49005

ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, ул. Симферопольская 2а, 49005

***Аннотация.** Отработка газоносных пластов на шахтах Украины с высокой метанообильностью пласта осложнена выделением метана в горные выработки. Разработан ряд мероприятий по снижению газовыделения в горные выработки. В данной работе рассмотрены схемы проветривания выемочных участков и эффективность применяемых способов дегазации на примере условий шахт Донбасса Украины. А также проанализировано влияние скорости подвигания очистного забоя на эффективность дегазации в условиях разрабатываемых шахт. В результате применения мероприятий по снижению метановыделения в горные выработки на шахтах может привести к безопасному ведению работ по газовому фактору.*

***Ключевые слова:** дегазация, метановыделение, расход воздуха, каптирование газа, схема проветривания, утечки воздуха, вентиляционная выработка, дегазационные скважины, скорости подвигания очистного забоя*

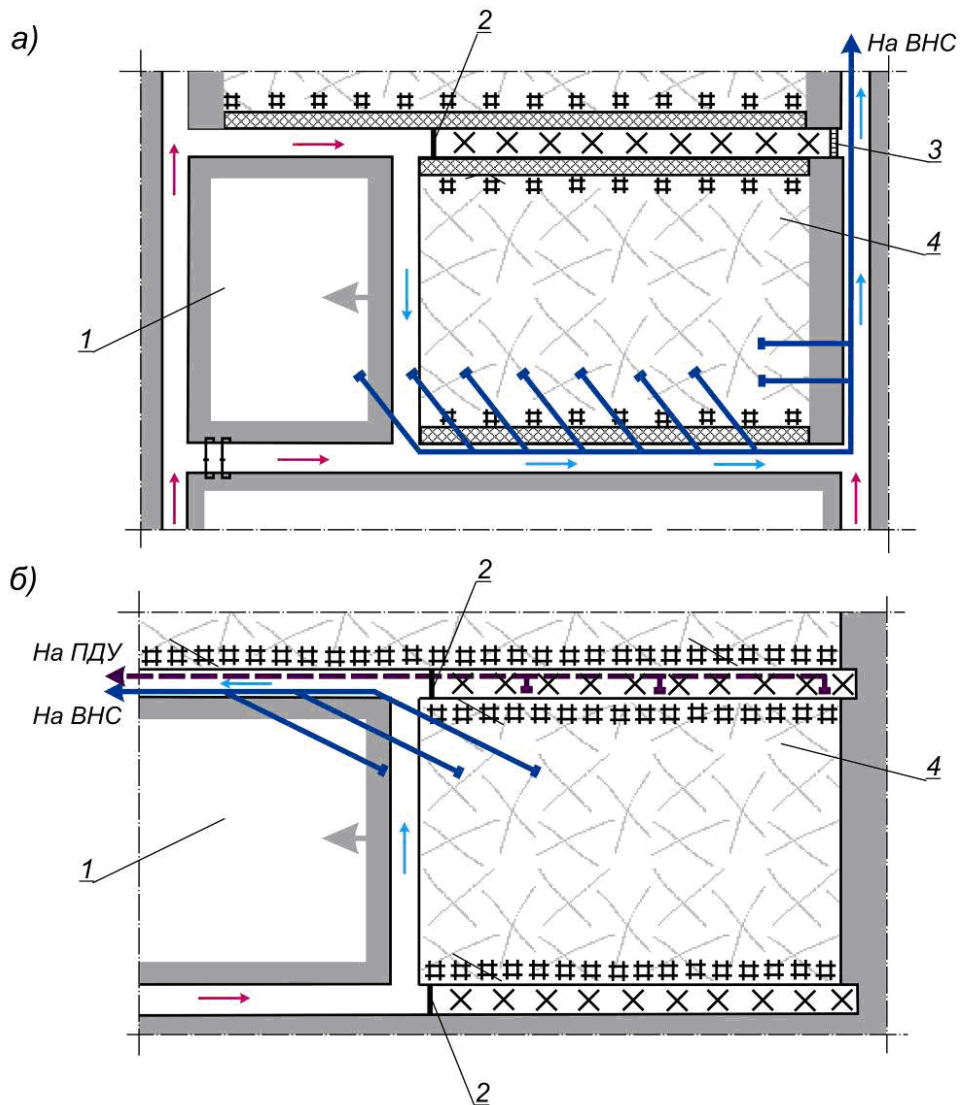
Высокопроизводительная выемочная техника, используемая на шахтах Украины, позволяет, в зависимости от мощности разрабатываемого пласта, осуществлять добычу угля с нагрузкой до 8 тыс. т/сут и скоростью подвигания очистного забоя более 6 м/сут. При этом увеличение интенсивности и глубины разработки газоносных угольных пластов на шахтах Донбасса сопровождается повышением выделения метана в горные выработки, что при несоблюдении правил безопасности [1] приводит к его взрывам и вспышкам, которые являются основной причиной группового производственного травматизма на угольных предприятиях. Поэтому, в целях безопасности, действующими нормативными документами [2, 3], допустимая нагрузка на очистные забои ограничивается в зависимости от интенсивности выделения метана, количества воздуха,

подаваемого для проветривания выработок, и эффективности дегазации источников метановыделения.

На высокогазоносных шахтах достижение высоких темпов добычи угля сдерживается интенсивным выделением метана, которое при среднесуточной добыче от 2 до 8 тыс. тонн составляет 25-60 м³/мин, а, например, на шахте им. А.Ф. Засядько достигала 90 м³/мин при добыче 2,5-3,0 тыс. тонн в сутки [4]. Разбавить воздухом такое количество выделяющегося метана до безопасных концентраций практически невозможно. Поэтому, основным средством для снижения выделения метана в горные выработки и обеспечения газовой безопасности при увеличении угледобычи является высокоэффективная дегазация. В настоящее время её на шахтах Украины осуществляют, руководствуясь отраслевым стандартом «Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации» [3], разработанным по результатам исследований, проведенных до 2003 года.

Схемы проветривания выемочных участков и эффективность применяемых способов дегазации. Известно, что более высокие скорости подвигания очистного забоя достигаются при столбовых системах разработки, а газовая безопасность обеспечивается применением высокоэффективной дегазации в условиях двух принципиально различных схем проветривания выемочных участков и нескольких их вариантов [5]. Это схемы проветривания типа 3-В (2-В), когда исходящая вентиляционная струя примыкает к выработанному пространству и подсвежается струей воздуха, движущейся со стороны целика угля, и типа 1-М, когда исходящая вентиляционная струя воздуха примыкает к целику угля. Принципиальным отличием этих схем проветривания является наличие поддерживаемых и контролируемых вентиляционных выработок позади очистного забоя - схемы проветривания типа 2-В и 3-В и при их отсутствии – это схема проветривания типа 1-М (рис. 1). Этими отличиями схемы проветривания обуславливаются особенностями проектирования вентиляции и дегазации выемочных участков

угольных шахт и, соответственно, производится расчет максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору.



1 – разрабатываемый угольный пласт; 2 – переносная перегородка; 3 – глухая перегородка; 4 – выработанное пространство; ▬ – дегазационный газопровод; ■ – скважины в кровлю; ▬ – газоотсасывающий трубопровод; ■ – «свечи»; ➔ – свежая струя воздуха; ➔ – исходящая струя воздуха.

Рис. 1 Основные типовые схемы дегазации кровли скважинами: а) – прямоточные схемы проветривания типа 2-В и 3-В; б) – возвратноточная схема проветривания типа 1-М

Как известно, в пределах выемочного участка метан в основном выделяется из очистного забоя (обнаженной поверхности разрабатываемого угольного пласта), отбитого угля в лаве и в конвейерной выработке, из угля, оставляемого в

выработанном пространстве в целиках и не вынимаемых угольных пачках, из подработанных и надработанных сближенных угольных пластов-спутников и вмещающих газонасыщенных пород [4, 5], а также при суфлярах и других формах импульсного метановыделения [6].

Дегазация разрабатываемого угольного пласта, предварительная или текущая, на современных глубинах разработки в условиях шахт Донбасса практически не применяется из-за ее малой эффективности, обусловленной, как известно, низкой природной проницаемостью угольных пластов. В то же время применение эффективных способов дегазации подработанных и надработанных угольных пластов и вмещающих пород, а также выработанного пространства может позволить снизить выделение метана из выработанного пространства в выработки на 70-95% и за счет этого обеспечить высокую скорость подвигания очистного забоя. В таких случаях основным сдерживающим фактором в повышении добычи угля является выделение метана из очистного забоя и отбитого угля. При этом, может иметь место импульсный перевод сорбированного метана в свободный, что приведет к спонтанному метановыделению в забой выработки.

При применении схем проветривания типа 2-В и 3-В свежая вентиляционная струя воздуха подаются по двум выработкам, примыкающим к отрабатываемому угольному массиву, а исходящая вентиляционная струя отводится по поддерживаемой за лавой выработке и примыкает к выработанному пространству. Отличаются между собой эти схемы проветривания тем, что при схеме типа 2-В метан, выделяющийся из отбитого угля, транспортируемого из лавы, поступает в очистную выработку, а при схеме типа 3-В он с дополнительным воздухом (подсвежение) поступает в исходящую струю выемочного участка.

В рассматриваемых условиях дегазационные скважины бурятся позади очистной выработки (рис. 1,а). При соблюдении технологии ведения дегазационных работ [3] эффективность дегазации кровли может достигать 70-80%, когда в работе будет находиться 8-12 скважин на расстоянии до 200-250 м от

очистного забоя. Такая достаточно высокая эффективность дегазации обусловлена тем, что в результате охраны дегазационной скважины от разрушения её ствол над выработанным пространством остается целостным. Это позволяет каптировать метан непосредственно из зоны разгрузки подработанного углепородного массива. Оставшийся после дегазации кровли метан выделяется в выработанное пространство и выносится утечками воздуха в вентиляционную выработку по всей её длине, где разбавляется вентиляционной струей. Для предотвращения опасности образования местных скоплений метана в очистной выработке у выработанного пространства под вентиляционным штреком метан отводят через каналы в охранной полосе. При этом в вентиляционной выработке вдоль охранной полосы на участке до 50 м от лавы могут образовываться местные (слоевые) скопления метана с концентрацией, превышающей допустимые нормы.

Кратко рассмотрим основные достоинства и недостатки этих схем.

Итак, достоинствами схемы проветривания типа 3-В, является: подача свежего воздуха к очистному забою по двум выработкам при разработке выбросоопасных угольных пластов; обособленное разбавление метана и угольной пыли по источникам поступления; возможность подачи на выемочный участок большого количества воздуха; возможность осуществлять эффективную дегазацию кровли и почвы скважинами и регулировать вакуум в их устьях; снижение опасности образования местных скоплений метана в очистной выработке у выработанного пространства под вентиляционным штреком; благоприятные условия для выхода людей в выработку со свежей струей воздуха и ведения аварийно-спасательных работ.

А недостатками этой схемы является: трудности в обеспечении требуемого расхода воздуха в очистной выработке, что создает опасность скоплений метана в зоне рабочего органа выемочной машины. Особенно при высоких утечках воздуха через выработанное пространство; большие затраты на проведение

дополнительных фланговых выработок; трудности в поддержании вентиляционной выработки позади очистного забоя.

На выемочных участках, проветриваемых по схеме типа 1-М, исходящая вентиляционная струя воздуха примыкает к отрабатываемому угольному массиву, а вентиляционная выработка за лавой не обслуживается и не контролируется. В таких условиях дегазационные скважины можно бурить только впереди очистного забоя навстречу его движению (рис. 1,б). Количество одновременно работающих дегазационных скважин, до подработки их устья, как правило, не превышает трех [3]. Скважины попадают в зону разгруженных от горного давления пород в непосредственной близости от очистного забоя, где выделение метана из угольных пластов и пород кровли не достигает максимума. После прохода лавы под устьями таких скважин они разрушаются и, поэтому их предусмотрено [3] отключать от дегазационной системы, а газопровод сокращать. Дебит метана по таким скважинам не велик, поэтому их эффективность, как правило, не превышает 30-40%. Если газопровод и подключенные к нему скважины оставлять в неконтролируемой части вентиляционной выработки они будут каптировать метан из зоны обрушения пород на конце обсадной трубы. В этом случае, как показывает опыт ведения горных работ, эффективность дегазации кровли может достигать 40-45%, в зависимости от сохранности газопровода и скважин в неконтролируемой части вентиляционной выработки. Оставшийся после дегазации кровли скважинами метан поступает в выработанное пространство, а затем выносится утечками воздуха на сопряжение лавы с вентиляционной выработкой. Это даже при малом дебите метана ($0,5-1,5 \text{ м}^3/\text{мин}$) нередко приводит к образованию местных скоплений с недопустимой концентрацией. Последнее, передача приводится к авариям связанным со взрывами метана [7]. Это объясняется недостаточной турбулизацией потоков воздуха из лавы и из выработанного пространства на их сопряжении.

Для снижения выделения метана из выработанного пространства в горные выработки предусматривается [3] осуществлять его дегазацию «свечами» по отдельному газопроводу, остающемуся в неконтролируемой части вентиляционной выработки. Эффективность этого способа дегазации может достигать 50-60% в зависимости от доли утечек воздуха через выработанное пространство, которую каптирует дегазационная система и сохранности газопровода в неконтролируемой части вентиляционной выработки.

При схеме проветривания типа 1-М применение комплексной дегазации – кровли скважинами и выработанного пространства «свечами» с эффективностью 40% и 60%, соответственно обеспечивает снижение выделения метана из выработанного пространства в горные выработки на 76%. Но даже при такой эффективности комплексной дегазации не предотвращается опасность образования местных скоплений метана на сопряжение лавы с вентиляционной выработкой с недопустимой концентрацией. Поэтому, для обеспечения газовой безопасности дополнительно к дегазации предусмотрено применять изолированный отвод метана из тупика вентиляционной выработки. Понятно, что схема 1-М имеет определенные достоинства и недостатки. Рассмотрим их. Достоинствами схемы проветривания типа 1-М, является: возможность обеспечения высокой скорости движения воздуха в очистной выработке, снижающей опасность скоплений метана в зоне рабочего органа выемочной машины; меньший по сравнению со схемами типа 2-В и 3-В расход воздуха для проветривания выемочного участка; отсутствие необходимости в проведении и содержании фланговых вентиляционных выработок; отсутствие необходимости в поддержании вентиляционной выработки за лавой по всей её длине, что позволяет обеспечить высокую скорость подвигания очистного забоя.

Недостатками же этой схемы является:

- низкая эффективность дегазационных скважин, пробуренных навстречу очистному забою;

- необходимость осуществления дегазации выработанного пространства «свечами» по отдельному газопроводу;

- необходимость осуществления изолированного отвода метана из тупика вентиляционной выработки в исходящую струю или за пределы выемочного участка газоотсасывающими вентиляторами;

- высокая опасность образования местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой;

- большие потери труб и металлической крепи.

Недостатками этих схем проветривания в части опасности образования местных скоплений метана обусловлены места взрывов и вспышек метана, а также тяжесть последствий.

При схемах проветривания типа 2-В и 3-В взрывы и вспышки метана происходят как правило в рабочем пространстве лавы или в вентиляционной выработке на участке до 50 м от лавы. В результате взрывов и вспышек часто возникают пожары, а травмы различной степени тяжести, в основном ожоги, получают от нескольких до 15-20 человек. При этом горные выработки как правило не разрушаются.

В случае применения схем проветривания типа 1-М взрывы и вспышки метана чаще происходят на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой и приводят к большому числу смертельного травматизма, пожарам и разрушениям горных выработок [4, 7].

Влияние скорости подвигания очистного забоя на эффективность дегазации.

Выемка угля на шахтах Донбасса с высокой нагрузкой на лаву, углубление горных работ и повышение темпов угледобычи приводят к росту метанообильности очистных выработок в пределах выемочных участков. В связи с этим, при разработке угольных пластов на шахтах Донбасса с природной газоносностью 20-25 м³/т с.б.м. без эффективной их дегазации, максимально допустимая по газовому

фактору нагрузка на очистной забой составляет 600-700 т/сут. на 1 м вынимаемой мощности пласта.

Установлено, что эффективность дегазации разрабатываемых угольных пластов в основном зависит от их газоотдачи, расстояния между скважинами, диаметра скважин и продолжительности процесса дренирования метана в скважины. Влияние скорости подвигания очистного забоя на эффективность дегазации разрабатываемого угольного пласта однозначно не установлено. При расстоянии между скважинами от 10 до 25 м и времени дренирования метана в дегазационные скважины от 60 до 470 сут. эффективность дегазации составляла от 12 до 45%. Высокая эффективность дегазации отмечена на пластах с относительно высокой газоотдачей, небольшим расстоянием между скважинами и длительном времени дегазации.

С увеличением глубины разработки газоотдача угольных пластов снижается, поэтому на глубине 600-800 м эффективность предварительной дегазации пласта на выемочном участке в 1,5-2,0 раза ниже, чем на глубине 300-400 м. Из-за высокой трудоемкости и невысокой эффективности на современной глубине разработки ни один из способов предварительной дегазации разрабатываемых угольных пластов не нашел широкого применения на шахтах Украины.

Опыт отработки угольных пластов в Донбассе, имеющих природную газоносностью 20-25 м³/т с.б.м., без их предварительной и текущей дегазации на глубине 700 м и более показал, что при эффективной дегазации спутников, газонасыщенных вмещающих пород и выработанного пространства фактическая нагрузка на очистной забой существенно превышает 1000 т/сут на 1 м вынимаемой мощности пласта. По-видимому, в следствие снижения газоотдачи разрабатываемых угольных пластов с глубиной и увеличением скорости их отработки уменьшается доля выделения из них в газовом балансе выемочных участков. Следовательно, процесс выделения метана из разрабатываемого

угольного пласта на современных глубинах разработки и интенсификации угледобычи нуждается в дополнительном изучении.

Выполненными исследованиями [4, 5] также установлено, что увеличение скорости подвигания очистных забоев на выемочных участках, со схемой проветривания типа 1-М с 0,8-1,0 до 2,5-4,0 м/сут приводит к снижению эффективности дегазации скважинами, пробуренными на подрабатываемые сближенные пласты и над куполами обрушения, в среднем в 2 раза. Так, например, на шахте им В.М. Бажанова увеличение скорости подвигания очистного забоя с 0,54 до 2,15 м/сут привело к снижению эффективности дегазации кровли с 40 до 11%. По мнению специалистов, это обусловлено тем, что скважины, пробуренные на сближенный пласт, подрабатывались раньше, чем разгружался пласт в месте его пересечения скважиной.

На экспериментальных выемочных участках, отрабатываемых по сплошной системе разработки и схеме проветривания типа 1-В, когда дегазационные скважины бурятся из поддерживаемой и контролируемой за лавой выработки, увеличение скорости подвигания очистных забоев также сопровождалось снижением эффективности дегазации. Но оно было не столь значительным и обусловлено тем, что бурение скважин отставало от подвигания лавы и часть скважин функционировала уже в частично разгруженной и дегазированной зоне. Так, на шахте им. К.И. Поченкова увеличение скорости подвигания очистного забоя с 0,5 до 1,8 м/сут привело к снижению эффективности дегазации кровли с 64 до 62%.

Исследования МакНИИ [6] также показали, что увеличение скорости подвигания очистных забоев сопровождается ростом выделения метана в пределах выемочных участков и снижением эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу движению лавы. Как правило скважины начинают работать, когда их устья находятся на расстоянии 25-30 м впереди очистного забоя. Поступление метана в скважины достигает максимума при приближении

очистных забоев к их устьям на 10-15 м. При дальнейшем перемещении очистного забоя часть скважины, остающаяся в выработанном пространстве, разрушается, и большая часть метана засасывается в месте пересечения скважины с плоскостью сдвига пород. Это место постепенно перемещается вниз, и аэродинамическая связь скважины с источником метана ухудшается, а с выработанным пространством улучшается. В результате снижается содержание метана в отсасываемом газе и количество извлекаемого ею метана. После подработки устья скважины лавой основной приток газа в неё происходит у конца обсадной трубы. За её пределами скважины, как правило, разрушены. Это подтверждено неоднократным зондированием скважин и исследованием притоков метана по её длине в зависимости от расположения устья скважины относительно очистного забоя.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что эффективность дегазации подработанного горного массива скважинами, пробуренными из поддерживаемой за лавой вентиляционной выработки при соблюдении технологии ведения дегазационных работ может достигать 70-80%, когда в работе будет находиться 8-12 скважин на расстоянии до 200-250 м от очистного забоя. Высокая эффективность дегазации обусловлена тем, что в результате охраны скважины от разрушения её ствол над выработанным пространством остается целостным. Это позволяет каптировать метан непосредственно из зоны разгрузки подработанного угле-породного массива.

Эффективность дегазации подработанного горного массива скважинами, пробуренными навстречу очистному забою, при схемах проветривания выемочных участков с отводом исходящей струи воздуха на угольный массив, не превышает 30-40%. Количество одновременно работающих скважин, до подработки их устья как правило не превышает трех. Скважины попадают в зону разгруженных от горного давления пород в непосредственной близости от очистного забоя, где выделение метана из угольных пластов и пород кровли не

достигает максимума. После прохода лавы под устьями таких скважин они разрушаются и, поэтому их отключают от дегазационной системы, а газопровод сокращают. Если газопровод и подключенные к нему скважины оставлять в неконтролируемой части вентиляционной выработки они будут каптировать метан из зоны обрушения пород на конце обсадной трубы. В этом случае эффективность дегазации кровли может достигать 40-45%, в зависимости от сохранности газопровода и скважин в неконтролируемой части вентиляционной выработки.

Увеличение скорости подвигания очистных забоев сопровождается ростом выделения метана в пределах выемочных участков и снижением эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу движению лавы в среднем в два раза.

Литература:

1. Правила безопасности в угольных шахтах. - Киев: Основа, 2005. – 398 с.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
3. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схеми дегазації: СОУ 10.1.00174088.001-2004, – Київ: Мінтопенерго України, 2004. – 167 с.
4. Звягильский Е.Л. Управление метановыделением на выемочных участках угольных шахт / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов. – Донецк: Ноулидж, 2013. - 124 с.
5. Минеев С.П. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С.П. Минеев, А.А. Прусова, А.А. Потапенко, В.Н. Кочерга. - Уголь Украины, 2014, №10. - С. 31-36.
6. Минеев С.П. Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении кровли / С.П. Минеев, В.Н. Кочерга, А.С. Янжула. - Уголь Украины, 2015, №7-8. - С. 26- 31.

7. Грядущий Б.А. Об аварии, произошедшей на шахте «Степова» /Б.А. Грядущий, С.П. Минеев, И.А. Ященко, А.И. Холод, И.Б. Беликов. - Уголь Украины, 2017, №7-8, - С. 48-53.

Abstract. The development of gas-bearing strata in the mines of Ukraine with high methane formation of the layer is complicated by the release of methane into the mine workings. A number of measures have been developed to reduce gas emissions into mountain mines. In this paper, we consider the ventilation schemes for excavation sites and the efficiency of the degassing methods used, for example, the conditions of the mines of the Donbass of Ukraine. And also the influence of the speed of moving the face on the efficiency of degassing in the conditions of mines being developed is analyzed. As a result of the application of measures to reduce methane emissions into mine workings in mines, it can lead to the safe conduct of work on the gas factor.

Key words: degassing, methane evolution, air consumption, gas capping, airing scheme, air leakage, ventilation, degassing wells, speed of movement of the face.

References:

1. Pravila bezopasnosti v ugolnih shahtah [Safety rules in coal mines] - Kiev: Osnova [The basis], (2005), 398 p.

2. Rukovodstvo po proektirovaniu ventilatsiy ugolnih shaht [Guide to the design of coal mine ventilation] - Kiev: Osnova [The basis], (1994), 311 p.

3. Degazacia vugilnih shaht. Vimogi do sposobiv ta shemi degazacii [Degasification of coal mines. Requirements for methods and schemes of degassing]: SOU 10.1.00174088.001-2004, - Kyiv: Mintopenergo of Ukraine, (2004), 167 p.

4. Zvyagilsky E.L. (2013). Upravlenie metanovideleniem na viemochnih uchastkah ugolnih shaht [Management of methane emissions at coal mine sites] / E.L. Zvyagilsky, B.V. Boki, O.I. Kasimov. - Donetsk: Nouledge, 124 p.

5. Mineev S.P. (2014). Ocenka vozmognosti impulsnogo vidileniya sorbirovannogo metana iz ugolnogo plasta [Evaluation of the possibility of pulsed separation of sorbed methane from a coal seam] / S.P. Mineev, A.A. Prusova, A. A. Potapenko, V.N. Kocherga, Ugol Ukraine [Coal of Ukraine], issue 10, pp. 31-36.

6. Mineev S.P. (2015). Ocenka impulsnogo metanovideleniya v zonah geologicheskikh narusheniy pri obrushenii krovli [Evaluation of pulsed methane evolution in the zones of geological disturbances during roof collapse] / S.P. Mineev, V.N. Kocherga, A.S. Yanzhula, Ugol Ukraine [Coal of Ukraine], issue 7-8, pp. 26-31.

7. Gryaduschiy B.A. (2017). Ob avarii, proizoshedshey na shahte «Stepova» [About the accident that occurred at the mine "Stepova"] / B.A. Gryaduschiy, S.P. Mineev, I.A. Yaschenko, A.I. Hollod, I.B. Belikov, Ugol Ukraine [Coal of Ukraine], issue 7-8, pp. 48-53.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Минеев С.П.

Рецензент: д.г.н., Баранов В.А.

Статья отправлена: 02.03.2018 г.

© Минеев С.П.