

УДК 622.817.47

© Л.Н. Ширин, Э.А. Федоренко, Н.И. Шарифан

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ДЕГАЗАЦИИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

© L. Shirin, E. Fedorenko. N. Sharafan

INDICES OF THE EFFICIENCY OF DEGASIFICATION METHODS APPLIED FOR COAL ROCK MASS IN THE CONTEXT OF HIGH-LOAD STOPES

Цель. Для обеспечения безопасной и производительной работы высоконагруженных очистных забоев при подземной разработке метанугольных месторождений представлена оценка технических, технологических, экономических и экологических аспектов, определяющих эффективность наиболее распространенных на сверхкатегорийных шахтах украинского Донбасса способов и технологических схем дегазации угольных пластов, вмещающих пород и выработанного пространства. Как правило, дегазацию источников метановыделения на выемочных участках применяют при невозможности действующих средств вентиляции обеспечить безопасную концентрацию метана на исходящей струе воздуха из очистной выработки.

Методика. С учетом геологических особенностей залегания угольных пластов и поведения вмещающих пород в процессе ведения подземных горных работ и добыче угля рассмотрены особенности ведения мероприятий при проведении опережающей дегазации углепородного массива в высоконагруженных лавах шахты им. А.Ф. Засядько и комплексной схемы дегазации кровли пласта и выработанного пространства, традиционно применяемой в ГП «Угольная компания «Краснолиманская».

Результаты. В качестве показателей экономической составляющей эффективности рассматриваемых технологических схем дегазации были приняты объемы попутно извлекаемого метана и его целенаправленного применения в качестве дополнительного энергоресурса для отопительной системы шахты, выработки электроэнергии, заправки автомобилей газовым топливом и других хозяйственных нужд предприятия.

Научная новизна. Выполненная оценка перспективных способов дегазации источников газовой выделения, обеспечивающих эффективную работу высоконагруженных очистных забоев и утилизацию каптируемого метана как альтернативного энергоресурса, позволила рекомендовать их к внедрению на сверхкатегорийных шахтах Западного Донбасса.

Практическое значение. Для повышения надежности работы дегазационных скважин в специфических условиях залегания и строения углепородного массива шахт региона рекомендован запатентованный способ извлечения метана с применением эластичного герметизатора. Установлено также, что выбор того или иного способа утилизации шахтного метана определяется техническим состоянием шахт региона и их экономическими возможностями. По результатам исследований отечественного и зарубежного опыта выполнения мероприятий по дегазации углепородного массива разработан алгоритм выбора технологических схем извлечения, отвода и утилизации шахтного метана из различных источников метановыделения.

Ключевые слова: эффективность дегазации, опережающая дегазация, параметры скважины, газодинамические показатели

Введение. Традиционные способы извлечения метана из углепородного массива шахт Донецкого бассейна базируются на применении предварительной, текущей и постэксплуатационной дегазации [1]. В процессе интенсификации горных работ эффективность применения того или иного вида дегазации оценивается прежде всего необходимостью обеспечения высокого уровня безопасности труда в газовых шахтах, а также технологическими, экологическими и экономическими аспектами.

Технологическая составляющая эффективности применяемого способа дегазации определяется показателями работы очистных и проходческих забоев, такими как нагрузка на лаву по газовому фактору, темпы проведения выработок, рациональное использование энергоёмкого очистного и горнопроходческого оборудования и комфортными условиями труда.

Экономическая составляющая эффективности дегазации источников метановыделения в последние годы определяется возможностью получения дополнительного – попутно добываемого газообразного топлива для использования его в шахтных котельных, для заправки автомобилей на АГНКС, а также для выработки электроэнергии газовыми турбинами. В то же время, по официальным данным [2], из всего объема выделяющегося на шахтах Украины метана только 13% отводится системами дегазации и лишь 4% утилизируется, что в 4 – 5 раз меньше европейских показателей.

Актуальность работы. На шахтах Западного Донбасса, преимущественно отрабатывающих пласты на горизонтах 250-300м, лишь незначительная часть шахт имеет опыт эффективного ведения работ по извлечению, сбору и удалению метана из подземных выработок на поверхность. Однако в перспективе, при понижении горных работ на глубину более 410 м, практически все действующие на данный период шахты будут классифицированы как сверхкатегорийные.

Увеличение количества сверхкатегорийных шахт в регионе и объёмов добычи угля в них повышает требования к надёжности вентиляции выемочных участков и определяет целесообразность поиска и разработки перспективных технологических схем дегазации источников метановыделения. Практика подтверждает, что каптирование метана, вывод его на поверхность по трубопроводам и утилизация значительно безопаснее и дешевле, чем разжижение его воздухом до допустимой концентрации и перемещение по горным выработкам. Более того, шахты, ориентированные на использование метана для хозяйственных нужд, не только компенсируют часть затрат на дегазацию, но и предотвращают загрязнение атмосферы региона, повышая таким образом экологическую составляющую эффективности применяемого способа дегазации источников метановыделения. В этой связи заслуживает внимания многолетний опыт шахт опасных по газу, эффективно ведущих разработку газоносных угольных пластов с применением современных технологических схем дегазации углепородного массива, предусматривающих использование метана как альтернативного энергоресурса.

Для обеспечения производительной работы высоконагруженных лав выполнена оценка перспективных способов дегазации источников метановыделения, действующих на шахтах им. А.Ф. Засядько и «Краснолиманская», и рассмотрены вопросы целенаправленного их применения в условиях шахт Западного Донбасса.

Анализ последних исследований и публикаций. При интенсивной разработке газоносных угольных месторождений источниками метановыделения на выемочных участках являются разрабатываемые пласты, смежные пласты-спутники и породы основной кровли, представленные песчаниками. Мощность и угол падения пласта, литологический состав пород и глубина разработки являются основными горно-геологическими факторами, определяющими местоположение зон повышенного газовыделения

С понижением глубины разработки и повышением нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои на выемочных участках возрастает абсолютное метановыделение. При невозможности разбавления выделяемого метана средствами вентиляции до допустимой концентрации на исходящей струе воздуха из лавы, дегазация источников метановыделения в пределах участка, согласно Правилами безопасности, становится обязательной [3].

Для высоконагруженных очистных забоев ИГТМ НАН Украины совместно с представителями шахты им. А.Ф. Засядько была разработана технологическая схема опережающей дегазации углепородного массива. Опережающая дегазация выполняется в период подготовки выемочного участка или в процессе его эксплуатации, т.е. когда дегазируемый массив находится впереди забоя вне зоны влияния очистных работ

Показателем технической эффективности способа снижения газовыделения служит коэффициент эффективности дегазации источника метановыделения и горных выработок. Указанный коэффициент определяется при расчетах ожидаемого метановыделения и необходимого расхода воздуха для вентиляции горных выработок с учетом характеристик пород и наличия сближенных пластов-спутников, полученных по геологоразведочным скважинам.

Необходимо отметить, что в условиях действующих шахт ожидаемая метанообильность горных выработок рассчитывается по фактической метанообильности выработки-аналога разрабатываемого шахтопласта. В соответствии с [3] при наличии данных о фактическом метановыделении в лаву-аналог для проектируемого выемочного участка рассчитывается максимально допустимая нагрузка на очистной забой по газовому фактору. По результатам сравнения расчетных показателей с показателями лавы-аналога принимается решение о необходимости применения или повышения эффективности дегазации для снижения величины абсолютного метановыделения в проектируемую лаву (выемочный участок).

Цель работы. Установление показателей эффективности действующих в отрасли мероприятий по дегазации углепородного массива, обеспечивающих

производительную работу энергоемких механизированных очистных комплексов нового поколения.

Задача исследований – определение перспектив использования в условиях шахт Западного Донбасса, опасных по газу, опыта применения современных систем дегазации углепородного массива, обеспечивающих эффективную работу высоконагруженных очистных забоев и комплексное использование метана для хозяйственных нужд предприятия.

Изложение материалов исследования. В условиях шахт Западного Донбасса при интенсивной разработке газоносных угольных пластов весьма актуальным направлением является выбор эффективных способов и средств извлечения метана из углепородного массива.

Например, на шахте «Степная» при разработке пласта С6 длинными столбами по восстанию с проветриванием участка по прямоточной схеме с подсвечиванием исходящей струи, впервые в регионе был испытан способ опережающей дегазации пород кровли высоконагруженных лав, широко используемый шахтой им. А.Ф. Засядько (рис.1). Способ защищен патентом Украины [4], на основании которого разработан отраслевой стандарт [5].

Сущность опережающей дегазации углепородного массива заключается в извлечении скважинами метана, скапливающегося в зонах наибольшего прогиба (ЗНП) пород кровли, нарушенной горными работами.

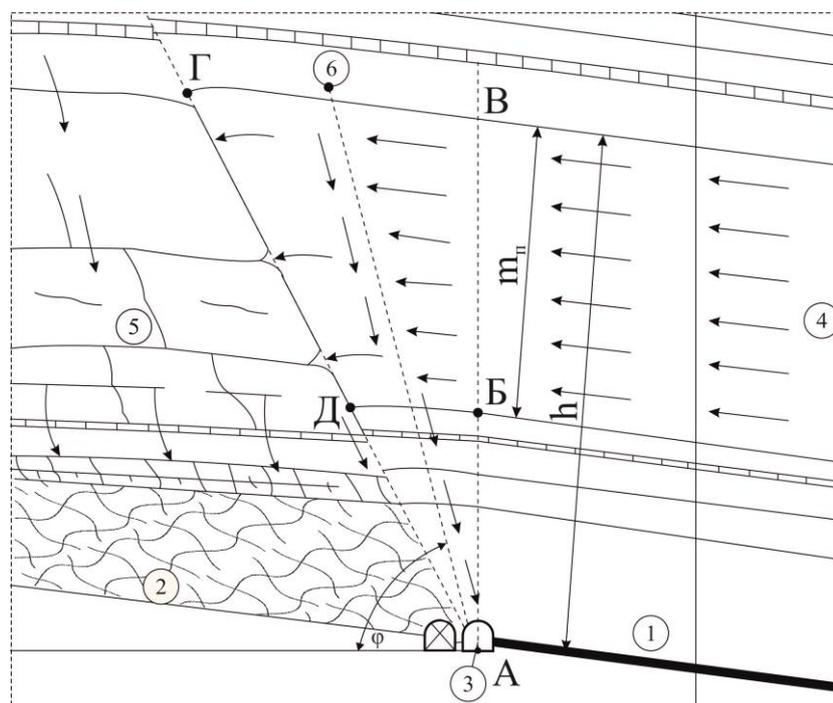


Рис. 1. Вертикальный разрез сопряжения пород отработанной и новой лав и потока метана при опережающей дегазации

- 1 – угольный пласт новой лавы; 2 – отработанное пространство смежной старой лавы; 3 – подготовительная выработка; 4 – геологический объект дегазации; 5 – сечение зоны наибольшего прогиба пород;
- 6 – дегазационная скважина

При повторном использовании выемочных штреков (ходков) или проведении новых вприсечку к выработанному пространству эффективность способа заключается в обоснованном выборе геологических объектов дегазации и параметров зоны наибольшего прогиба пород.

На рис.1 зона наибольшего прогиба пород представлена сечением БВГД и граничит, с одной стороны, с нетронутым массивом (объект 4) новой лавы 1, а с другой – с подработанными породами кровли смежной старой лавы 2.

Ширина полосы ВГ определяется выражением:

$$ВГ = h (0,7 - tg\alpha), \text{ м} \quad (1)$$

где h – расстояние по нормали от кровли пласта до кровли дегазируемого объекта, м; α – угол падения горных пород, град.

Важным показателем эффективности опережающей дегазации также является правильная ориентация дегазационных скважин в коллекторах. Экспериментально доказано, что скважины, пробуренные под заданным углом φ в направлении пород кровли ранее отработанной лавы (рис.1), позволяют извлекать метан высокой концентрации задолго до подхода очистных работ, т.е. попутно получать качественный альтернативный энергоресурс.

С учетом вышеизложенного технологической службе шахты «Степная» для внедрения способа опережающей дегазации в высоконагруженных лавах пласта c_6 потребовалось согласовывать правила его применения с принятыми на шахте системой разработки и схемой проветривания выемочных участков [6].

В соответствии с отраслевым стандартом [5] в качестве показателя эффективности опережающей дегазации был принят объем извлеченного метана W_c . Коэффициентом эффективности работы скважин опережающей дегазации $k_{эф.с}$ является отношение объема извлеченного метана к объему его извлекаемых запасов в геологическом объекте дегазации в границах дегазируемого участка $W_{д.з}$:

$$k_{эф.с} = \frac{W_c}{W_{д.з}}, \quad (2)$$

$$W_{д.з} = P_{зан.н} \cdot l_{оч} \cdot R_c \cdot n_c, \quad (3)$$

где $P_{зан.н}$ – плотность запасов метана в газоносных породах, $\text{м}^3/\text{м}^2$; $l_{оч}$ – длина очистного забоя, м; R_c – расстояние между скважинами, м; n_c – количество скважин, шт.

Сравнительный анализ средних показателей работы скважин при традиционно применяемой на шахте текущей дегазации и экспериментальных скважин опережающей дегазации показал, что дебит и концентрация метана в последних на 16,8 % и 11,6 %, соответственно, выше, а количество извлеченного одной скважиной метана на 36,0 % больше.

Зарубежный опыт выполнения мероприятий по дегазации источников метановыделения подтверждает, что повысить эффективность работы дегазационной системы выемочного участка возможно также путем сооружения за лавой в вентиляционной выработке специального дегазационного трубопровода.

При столбовой системе разработки и возвратноточной схеме проветривания выемочных участков типа 1-М, когда выработка за лавой не контролирует-

ся, рекомендуется применять комплексную схему дегазации кровли пласта и выработанного пространства [7].

Подобный вариант дегазации углепородного массива в высоконагруженных очистных забоях широко используется шахтой «Краснолиманская», которая специализируется на сжигании каптируемого метана в шахтных котельных для получения тепла.

Согласно рекомендациям [3] параметры вентиляции и режимы дегазации проектируемых выемочных участков шахты традиционно рассчитываются с учетом фактической метанообильности выработки-аналога разрабатываемого шахтопласта.

Среднее ожидаемое метановыделение на выемочном участке ($I_{уч}$, м³/мин) и в очистной выработке ($I_{оч}$, м³/мин) определяется из выражения

$$I_{уч} = I_{уч.ф} \left(\frac{l_{оч.р}}{l_{оч.ф}} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{A_p}{A_ф} \right) \cdot k_{с.р} \cdot k_{г.ф} \quad (4)$$

где $I_{уч.ф}$ – средняя абсолютная метанообильность выемочного участка, м³/мин; $l_{оч.р}$ – длина очистной выработки, для которой рассчитывается ожидаемое метановыделение, м; $l_{оч.ф}$ – длина очистной выработки, для которой определено фактическое метановыделение, м; A_p – планируемая добыча угля, т/сут; $A_ф$ – средняя добыча угля, при которой определялось фактическое метановыделение, т/сут; $k_{с.р}$ – коэффициент, учитывающий изменение системы разработки; $k_{г.ф}$ – коэффициент, учитывающий изменение метанообильности выработок с глубиной разработки.

В соответствии с рекомендациями [8] и опытом работы лавы-аналога планируемая добыча угля на шахте «Краснолиманская» обеспечивается путем комплексной дегазации пород кровли выемочного участка и выработанного пространства лавы.

Для снижения выделения метана в участковые выработки впереди лавы с вентиляционного штрека навстречу очистному забою бурятся в кровлю пласта дегазационные скважины, а в выработанном пространстве прокладывается специальный дегазационный трубопровод с отрезками (свечами), периодически устанавливаемыми по мере подвигания очистного забоя.

На рис.2 приведена схема бурения дегазационных скважин на выемочном участке 3-й «бис» северной лавы уклона 1-«бис» пласта k_5 .

Пробуренные впереди лавы дегазационные скважины, после прохода их устьев очистным забоем, не отключаются от газопровода, а продолжают работать в неконтролируемой части выработки. Для достижения максимального эффекта параметры бурения дегазационных скважин и их количество в кусте варьируются. Для увеличения времени эффективной работы дегазационных скважин и защиты их от разрушения под их устьями сооружаются костры, оганная крепь или бутовая полоса. В зависимости от шага посадки кровли на газопроводе через каждые 20-25м устанавливаются дополнительные свечи. Экс-

периментально доказано, что применяемая на шахте схема дегазации позволяет на 25-30% увеличить дебит каптируемого метана.

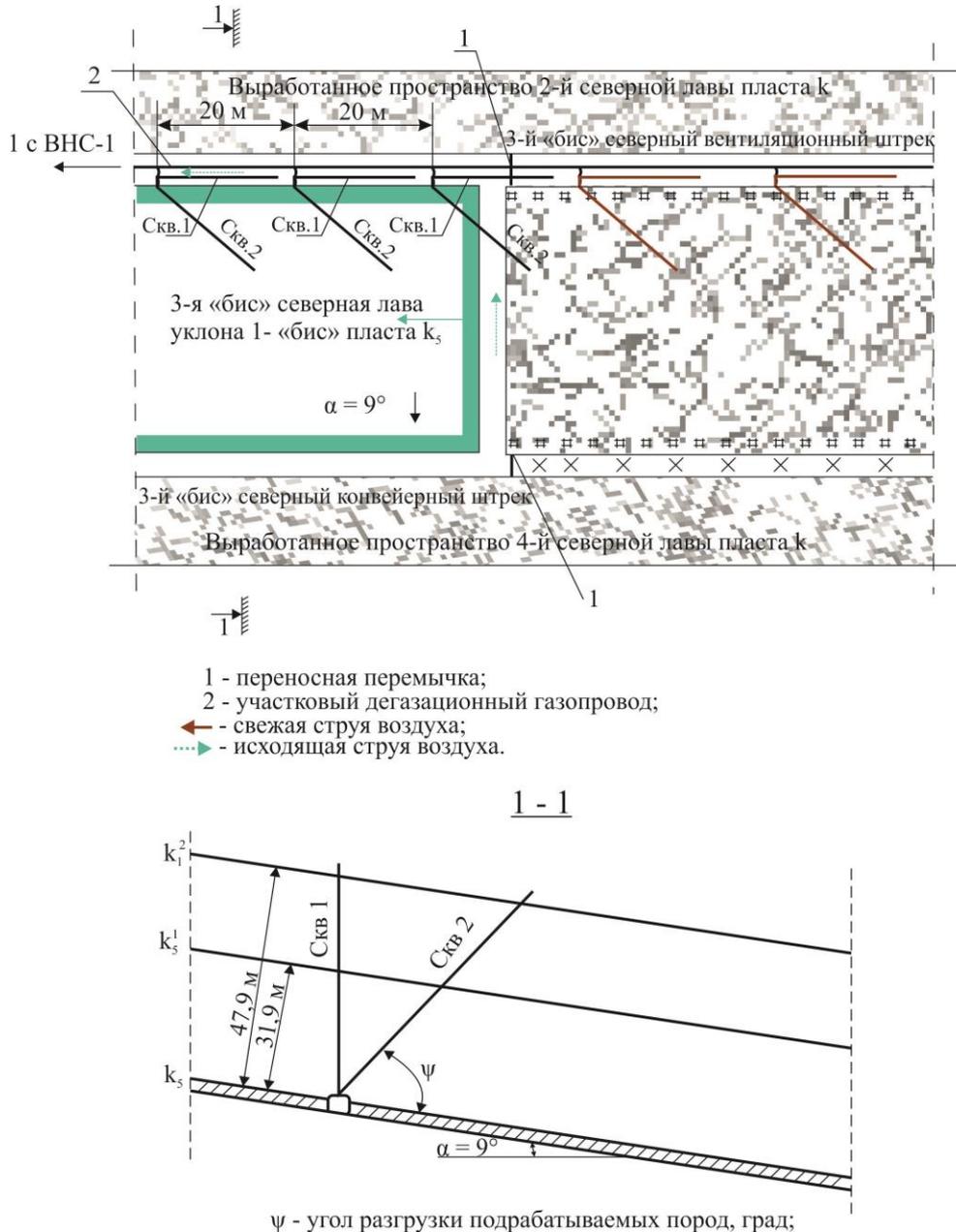


Рис. 2. Схема бурения дегазационных скважин на выемочном участке 3-й «бис» северной лавы уклона 1-«бис» пласта k_5

В условиях шахты «Краснолиманская» каптируемая из угленородного массива лавы метановоздушная смесь по газопроводу выбрасывается в грузовой ходок и через скважину выдается на поверхность с помощью поверхностной вакуум-насосной станции (ВНС-1), оснащенной пятью вакуум насосами ВВН2-150 (рис. 3).

Дегазация выработанного пространства осуществляется подземной дегазационной установкой. Эффективность дегазации выработанного пространства

зависит от доли утечек воздуха, каптируемого «свечей», и обеспечивается его изоляцией переносной перемычкой.

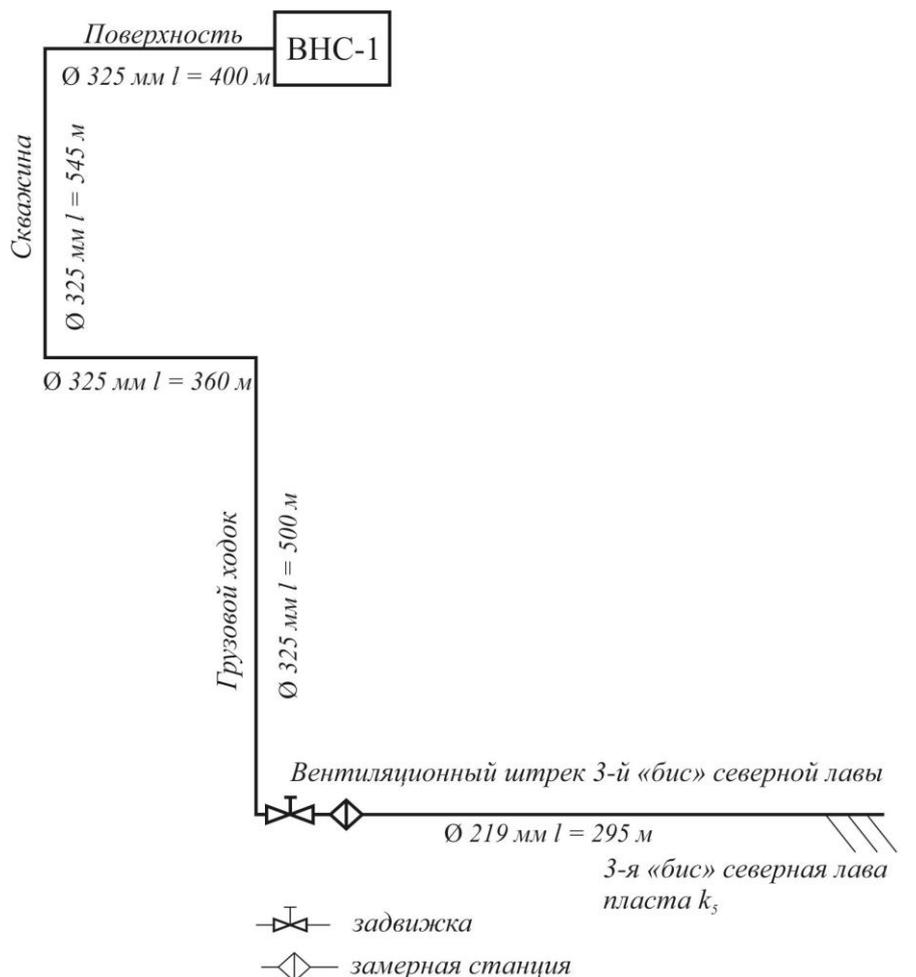


Рис. 3. Схема дегазационного газопровода для каптирования метана из скважин 3-й «бис» северной лавы уклона 1-«бис» пласта k_5

Контроль содержания метана в отсасываемом газе осуществляется по мере подвигания очистного забоя с помощью замерной станции.

Практика подтверждает, что при данной схеме дегазации углепородного массива эффективность работы дегазационных скважин во многом определяется способом и устройством герметизации скважин. В этой связи для повышения эффективности работы дегазационной системы предлагается применять способ извлечения метана из углепородного массива [9] с применением эластичного герметизатора. Усовершенствованная схема герметизации устья дегазационной скважины и способ извлечения метана из углепородного массива приведены на рис.4.

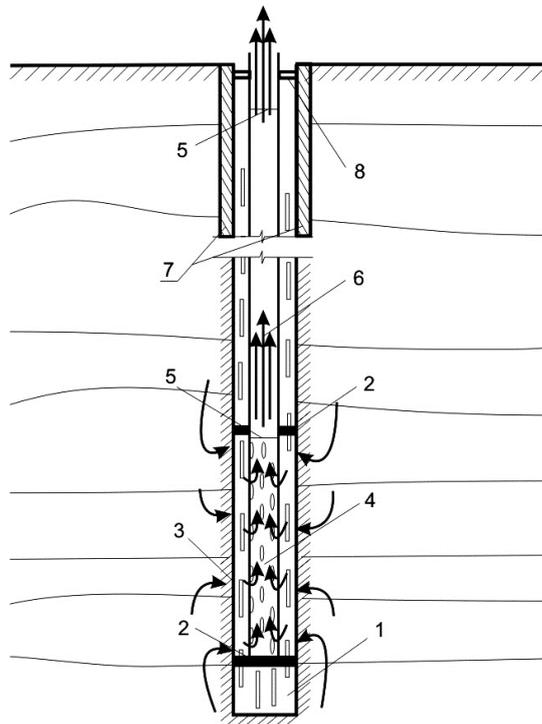


Рис. 4. Способ дегазации углепородного массива с применением эластичного герметизатора

1 – дегазационная скважина; 2 – эластичная манжета; 3 – перфорированная обсадная труба; 4 – перфорированная секция отсасывающей трубы; 5 – резьбовое соединение отсасывающей трубы; 6 – сборная отсасывающая труба; 7 – герметизированное устье скважины; 8 – эластичное уплотнение

Оценивая показатели работы приведенных выше способов дегазации углепородного массива, можно констатировать, что в условиях острого дефицита энергоносителей для обеспечения эксплуатационных параметров высоконагруженных очистных забоев, кроме традиционных аспектов оценки эффективности применяемых видов дегазации, необходимо учитывать способ утилизации каптируемого метана как альтернативного энергоресурса.

Перспективными предприятиями для разработки газовых ресурсов следует считать шахты ДТЭК «Павлоградуголь». Обоснованный выбор того или иного способа утилизации шахтного метана определяется техническим состоянием шахт региона и их возможностями. По результатам выполненных исследований показателей эффективности применяемых в отрасли мероприятий по дегазации источников метановыделения разработан алгоритм выбора технологических схем извлечения, отвода и утилизации шахтного метана из углепородного массива (рис. 5).

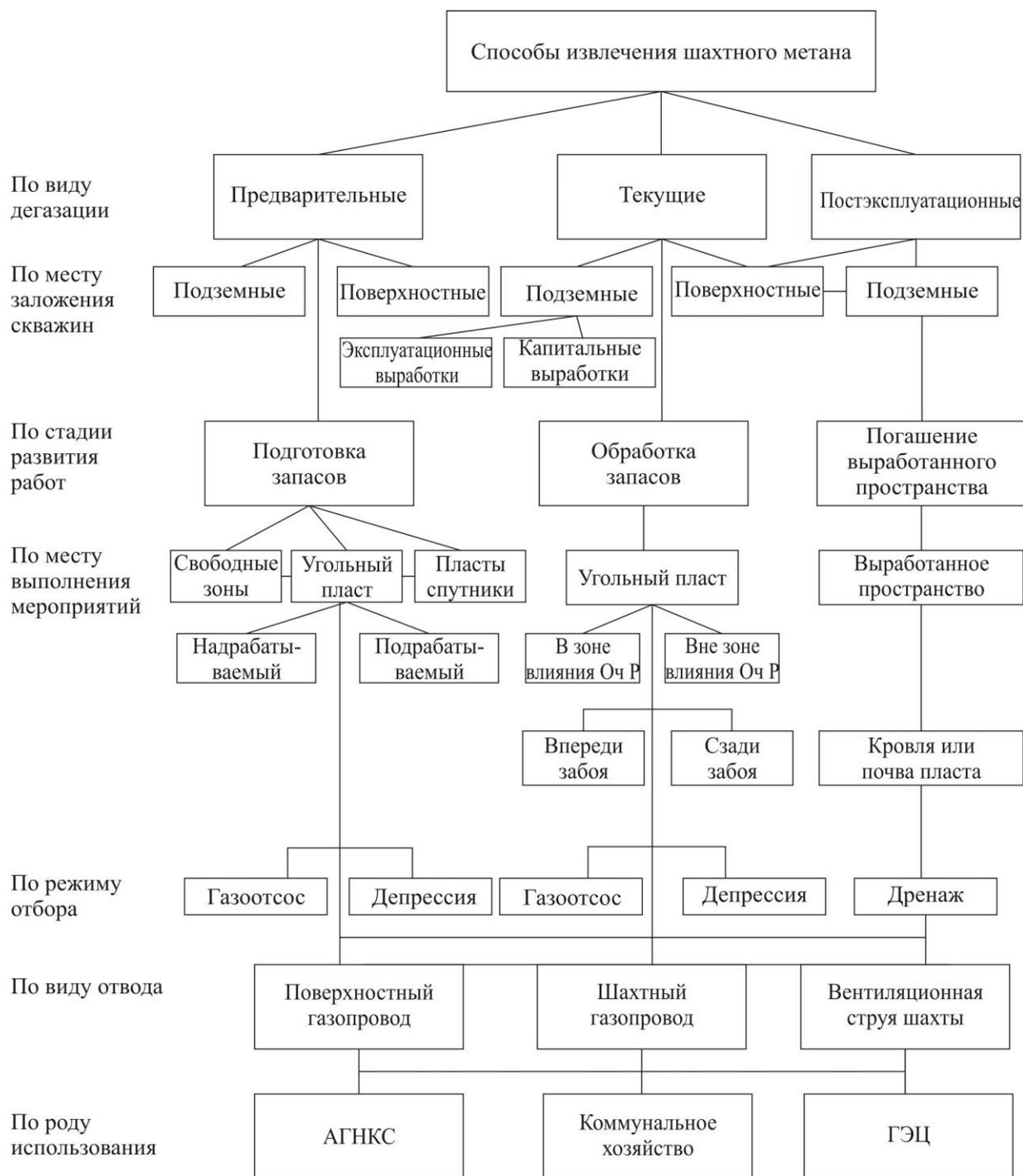


Рис. 5. Стадии развития работ по извлечению и утилизации шахтного метана

Выводы. Анализируя результаты выполненных исследований следует отметить, что в условиях интенсификации горного производства именно безопасность условий труда и технологические аспекты применяемых способов и средств дегазации источников метановыделения определяют эксплуатационные параметры энергоемкого очистного и горнопроходческого оборудования.

В то же время, в условиях острого дефицита газоподобных энергоносителей, при рассмотрении альтернативных схем дегазации необходимо предусматривать возможность утилизации каптируемого метана как альтернативного энергоресурса.

Учитывая тот факт, что угледобывающие предприятия являются крупнейшими потребителями электрической и тепловой энергии такой подход обеспечивает не только технологические и экономические показатели эффективности выбираемого способа дегазации, но и приобретает важное экологическое значение за счет уменьшения вредных выбросов метана в атмосферу.

Перечень ссылок

1. Дегазация вугільних шахт. Вимоги до способів та схеми дегазації. – К., 2005. – 168 с.
2. Рябцев, Г.Л., Сапегин, С.В., Кривогуз, М.И. (1994). *Нетрадиционные углеводороды: настоящее и будущее* К.: Психея, 2014. – 352 С.
3. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт* (1994). Киев: Основа.
4. Булат, А.Ф., Звягільський, Ю.Л., Єфремов, І.О. *Спосіб випереджаючої дегазації порід покрівлі високонавантажених лав*; Пат. К75821 Україна, МПК E21F7/00. № К 75821, опубл. 15.05.05, бюл. № 5.
5. СОУ 10.1.001174088.023-2010 «*Випереджаюча дегазація порід покрівлі високопродуктивних лав. Правила застосування*»: Розробники МакНДІ, ІГТМ НАН України.
6. Ширин, Л.Н., Федоренко, Є.А., Клец, А.П. (2018). Особенности опережающей дегазации пород кровли в очистных забоях шахты «Степная». *Збірник наукових праць НГУ*, (53), 94-101.
7. СОУ 10.1.00174088.001-2004 «*Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации*».
8. Дополнения к СОУ 10.1.00174088.001-2004 «*Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации*» - «Правила применения способа дегазации выемочного участка с использованием скважин и газопроводов, остающихся в неконтролируемых выработках».
9. Ширин, Л.Н., Коровяка, Є.А., Астахов, В.С., Манукян, Е.С., Василенко, О.О. *Спосіб дегазації газоносних родовищ* Пат. Україна, МПК E21F7; №102770, опубл. 12.08.2013. Бюл.15.

АНОТАЦІЯ

Мета. Для забезпечення безпечної та продуктивної роботи високонавантажених очисних вибоїв при підземній розробці метановугільних родовищ представлена оцінка технічних, технологічних, економічних і екологічних аспектів, що визначають ефективність найбільш поширених на надкатегорійних шахтах українського Донбасу способів і технологічних схем дегазації вугільних пластів, вміщуючих порід та виробленого простору. Як правило, дегазацію джерел виділення метану на виїмкових дільницях застосовують при неможливості діючих засобів вентиляції забезпечити безпечну концентрацію метану на вихідному струмені повітря з очисної виробки.

Методика. З урахуванням геологічних особливостей залягання вугільних пластів і поведінки порід, що вміщують в процесі ведення підземних гірничих робіт та видобутку вугілля розглянуті особливості ведення заходів при проведенні випереджаючої дегазації вуглепородного масиву в високонавантажених лавах шахти ім. А.Ф. Засядька і комплексної схеми дегазації

покрівлі пласта і виробленого простору, що традиційно застосовується в ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська».

Результати. За показник економічної складової ефективності розглянутих технологічних схем дегазації було прийнято обсяг метану, що попутно виймається і його цілеспрямоване застосування як додатковий енергоресурс для опалювальної системи шахти, вироблення електроенергії, заправки автомобілів газовим паливом і інших господарських потреб підприємства.

Наукова новизна. Виконана оцінка перспективних способів дегазації джерел газовиділення, що забезпечують ефективну роботу високонавантажених очисних вибоїв та утилізацію каптованого метану як альтернативного енергоресурсу, дозволила рекомендувати їх до впровадження на надкатегорійних шахтах Західного Донбасу.

Практичне значення. Для підвищення надійності роботи дегазаційних свердловин в специфічних умовах залягання і будови вуглепородного масиву шахт регіону рекомендований запатентований спосіб отримання метану із застосуванням еластичного герметизатора. Встановлено також, що вибір того чи іншого способу утилізації шахтного метану визначається технічним станом шахт регіону та їх економічними можливостями. За результатами досліджень вітчизняного і зарубіжного досвіду виконання заходів по дегазації вуглепородного масиву розроблений алгоритм вибору технологічних схем вилучення, відведення та утилізації шахтного метану з різних джерел метановиділення.

Ключові слова: *ефективність дегазації, дегазація що випереджає, параметри свердловини, газодинамічні показники*

ABSTRACT

Purpose. To provide efficient activities of high-load stopes in the context of underground mining, the paper evaluates technical, technological, economic, and environmental aspects determining the efficiency of the most popular methods and techniques for coalbeds as well as enclosing rocks and the worked-out area degassing applied in gas-abundant mines of Ukrainian Donbas.

The methodology. Methane release sources within the extraction sites are degassed if only available ventilation means cannot provide safe methane concentration within the air flow leaving a stope. Taking into consideration geological features of coalbed occurrence and enclosing rock behaviour in the process of coal mining, peculiarities of measures taken while advance degassing of coal rock mass in terms of high-load longwalls of O.F. Zasiadko mine and integrated scheme to degas roof rocks and worked-out area applied traditionally by “Vuhilna kompania “Krasnolymanska”

Findings. SE have been considered. Amounts of associate methane extraction and its purposeful use as additional power resource for heating system, electrical energy generation, vehicle gas-filling, and other economic needs of the enterprise were considered as the indices of economic efficiency component.

The originality. The performed evaluation of prospective means to degas sources of methane release providing the efficiency of high-load stopes and the captured methane utilization as the alternative energy resource has made it possible to recommend their use in terms of gas-abundant mines of Western Donbas.

Practical implications. To improve the efficiency of degassing wells operation under specific conditions of coal rock mass occurrence and structure, patented method to extract methane with the use of elastic sealer has been proposed. It has also been determined that the selection of one or another method to utilize coalbed methane depends upon technical conditions of the region mines as well as their economic potential. National and world practices as for the coal rock mass degassing have been taken into consideration while implementing the measures to extract, release, and utilize coalbed methane released from various sources.

Keywords: *degasification efficiency, well parameters, advance degasification, gasdynamic indices*