

УДК 622.33.012.2:502.002.637

**Булат А.Ф.**, акад. НАНУ, д-р техн наук, професор,  
**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Кокоулин И.Е.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Новиков Л.А.**, инженер  
(ИГТМ НАН Украины)  
**Жалилов А.Ш.**, инженер  
(ГП «Селидовуголь»)  
**Бокий А.Б.**, инженер  
(ООО «ДжиІ Украина»)

### **ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Булат А.Ф.**, акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,  
**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Кокоулін І.Є.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Новіков Л.А.**, інженер  
(ІГТМ НАН України)  
**Жалілов О.Ш.**, інженер  
(ДП «Селідоввугілля»)  
**Бокій О.Б.**, інженер  
(ТОВ«ДжіІ Україна»)

### **ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**Bulat A.F.**, Acad. NASU, D.Sc. (Tech.), Professor,  
**Bunko T.V.**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**Kokoulin I.Ye.**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Novikov L.A.**, M.S (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)  
**Zhalilov A.Sh.** M.S (Tech.)  
(SE «Selidovugol»)  
**Bokiy A.B.**, M.S (Tech.)  
(GE Ukraine (General Electric), LLC)

### **QUESTIONS OF PROVIDING OF ECOLOGICAL SAFETY AT FUNCTIONING OF HIGH-PERFORMANCE COAL MINES**

**Аннотация.** Приведены определения понятий, связанных с экологической безопасностью функционирования угольных шахт. Предложена классификация источников выбросов метана в атмосферу из угольных шахт, дифференцированно учитывающая стационарные (связанные с технологическими процессами добычи, транспортировки и складирования угля и последующим метановыделением из выработанного пространства лавы), связанные с утилизацией каптируемого метана и нестационарные (как результат выбросов метана при аварийной ситуации) факторы.

© А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, Л.А. Новиков, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий, 2015

Сформулированы задачи по управлению экологической безопасностью функционирования реконфигурируемых вентиляционных сетей метанообильных угольных шахт. Разработаны комплексный критерий и методы управления экологической безопасностью угольных шахт по метановому фактору. Предложен перечень технических мероприятий по управлению экологическими рисками, повышению экологической безопасности угледобывающего производства.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, экологический риск, метан, метановыделение, внезапные выбросы метана, критерий повышения экологической безопасности.

Выделение метана из угольных пластов и вмещающих пород, а также метана техногенного происхождения (из отбитого угля и выработанного пространства выемочных участков) является объективной реальностью, и исключить его из технологического процесса добычи угля полностью невозможно. Суммарный дебит его зависит от горно-геологических условий залегания полезного ископаемого и горнотехнических условий его добычи, и снижен быть не может. Задача состоит в перераспределении между средствами удаления метана из шахты путем вентиляции, дегазации с последующей утилизацией и добычи с целью непосредственного промышленного использования. В связи с увеличением угледобычи основными угледобывающими странами на повестку дня ставится первый аспект – необходимость снижения количества метана, выбрасываемого в земную атмосферу средствами вентиляции, что непосредственно связано с экологической безопасностью биосферы. Акцентируется внимание на совершенствовании методов дегазации угольных месторождений и снятия части нагрузки с общешахтной системы вентиляции по удалению метана из шахты; тем самым будет оптимизироваться решение задач повышения экологической безопасности угледобывающего производства.

Метан является одним из самых распространенных парниковых газов на планете. Будучи легче воздуха, он поднимается в верхние слои тропосферы, способствуя созданию газового слоя, создающего парниковый эффект планеты. Хотя в структуре эмиссии в атмосферу метан угольных шахт не превышает 3 %, в отличие от других источников эмиссии этого парникового газа шахтный метан выделяется локально, с прогнозируемым и достаточно стабильным дебитом, что принципиально позволяет его регулировать. Снижению этого показателя служит дегазация угольных пластов и вмещающих пород с последующим преобразованием утилизированного метана в менее вредный парниковый газ – диоксид углерода.

Антропогенные источники загрязнения обусловлены хозяйственной деятельностью человека, связанной с образованием и выделением в атмосферу парниковых газов. Основными из них являются: водяной пар, образующийся молекулами воды при ее испарении; диоксид углерода (концентрация которого в атмосфере Земли составляет в среднем 0,0395%; однако она увеличилась к маю 2015 года до 0,40394% (наблюдения Чарльза и Ральфа Киллинга в обсерватории Мауна-Лоа, Гавайи)); метан (простейший углеводород, в нормальных условиях – бесцветный газ без запаха, малорастворимый в воде, легче воздуха. Является основным компонентом природного газа (77-99%)); озон (состоящая

из из трёхатомных молекул  $O_3$  аллотропная модификация кислорода). Далее, по степени влияния на состояние атмосферы Земли, идут загрязнители, не относящиеся к парниковым газам – оксид углерода, оксид серы, оксиды азота, аэрозоли. Парниковые газы, в частности, метан, достаточно долго присутствуют в атмосфере и хорошо там перемешиваются. Следует отметить, что парниковый эффект не имеет локального характера, и поэтому в качестве периода наблюдений при оценке эффективности мероприятий по снижению выделения метана в земную атмосферу выбран 30- летний период [1].

Выделяющийся в горные выработки метан выносится вентиляционными струями и выбрасывается в атмосферу. Из-за того, что он легче воздуха, метан поднимается в верхние слои атмосферы (на высоту 12-15 км). Скорость поднятия зависит от метеорологических условий и изменяется в пределах 250-500 м/сутки. Метан малорастворим в воде и удаление его с осадками не происходит. Его преобразования в атмосфере происходят в основном за счёт химических реакций (80%). Из других путей вывода из атмосферы некоторое значение имеют поглощение метана почвенными бактериями (10%) и его уход в стратосферу (10%). [2 - 6]. Это ценное топливо и сырьё для химической промышленности бесследно теряется в атмосфере, чего нельзя допускать в соответствии с современными требованиями о комплексном использовании природных ресурсов [7 – 9].

Установлено, что угнетение растительности непосредственно на поверхности связано с нарушением баланса кислорода. Известно, что метан, находясь в пределах допустимых концентраций (не более 1%): понижает содержание  $O_2$  примерно на 0,2%. Вместе с тем, оценивая вредное влияние шахтного метана на окружающую среду, следует иметь в виду, что относительно кислорода ( $O_2$ ) это инертный газ, его количество, выделяемое в атмосферу, несоизмеримо меньше объема атмосферы в целом. В связи с активным перемешиванием воздушных масс приземного слоя атмосферы присутствие метана не обнаруживается имеющими сравнительно низкую чувствительность промышленными приборами уже на небольшом удалении от выходов исходящих струй шахт или вакуум-насосных станций (ВНС).

Вредное влияние шахтного метана на экологическую обстановку наиболее серьезно проявляется в том, что, будучи существенно легче воздуха и поднимаясь в верхние слои атмосферы, он достигает озонового слоя, где степень его инертности недостаточна, чтобы противостоять окислению химически более активным, чем  $O_2$ , озоном ( $O_3$ ). В результате реакции  $CH_4 + O_3 = CO_2 + 2H_2O$  наносится ущерб озоновому слою, защищающему все живое от жестких космических излучений, и повышается интенсивность парникового эффекта за счет дополнительного выделения углекислого газа и водяных паров.

Анализ документов «Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ (ОБУВ) в атмосфере воздуха населённых мест» (Донецк: ОАО «УкрНТЭК», 2000) и «Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення

атмосферного повітря»» (Затверджені Наказом МОЗ України 13.04.2007 № 184) показав наступне:

- в списку забруднюючих речовин з вказанням величини ПДК метан відсутній, його предельно допустимі концентрації в атмосфері не встановлювалися;

- в списку забруднюючих речовин, для яких встановлено орієнтований безпечний рівень впливу (ОБУВ) метан значиться під номером 1129; код забруднювача 410; значення ОБУВ для метану дорівнює 50 мг/м<sup>3</sup>;

- в списку речовин, що володіють ефектом суммації, метан відсутній.

К числу завдань, вирішенню яких буде сприяти зниження викидів метану в атмосферу, відносять покращення умов земель, що прилягають до джерела метановиділення в районах [10], забезпечення стійкого розвитку підлягаючих впливу емісії метану регіонів [11]; це буде сприяти більш ефективному використанню ресурсів гірничого виробництва, підвищенню його екологізації та вирішенню ряду інших виробничих, економічних та соціальних завдань (проблем). Вирішення всіх цих завдань можна об'єднати єдиним терміном – підвищення екологічної безпеки вугледобуваючого виробництва.

Виділення метану з місць вугледобування відбувається не тільки через вентиляційні стволи шахти. Поверхневий комплекс шахти має складну структуру, практично кожен технологічний елемент якої є потенціальним джерелом метану. Виходячи з аналізу одного з найбільш складних вугледобуваючих підприємств України – розташованої в Київському районі Донецької шахти ім. А.Ф. Засядько, поверхневий комплекс шахти складається з групи промплощадок (Центральна, Східна, Західна, Яковлевська, Григорьевська та родовий отвал), на території яких розташовані три вентиляційні стволи, обогатительная фабрика, декілька котельних, майстерських та допоміжних учасків. Орієнтована площа промислової зони шахти – близько 32 км<sup>2</sup>. Основними джерелами емісії метану є розташовані на центральній промплощадці ПАО «Шахта ім. А.Ф. Засядько» скиповий ствол, центральна обогатительная фабрика «Київська» та місця завантаження вугілля в залізничні вагони для відправки споживачам. Згідно санітарної класифікації підприємства за видобуванням вугілля відносяться до II класу небезпечності, а обогатительные фабрики з мокрою технологією обогатчення – до III класу небезпечності з розміром санітарно-захисної зони (СЗЗ) 300 м. Для шахти ім. А.Ф. Засядько ці показники трохи занижені, оскільки шахта була введена в експлуатацію до виходу нині діючих санітарних норм. Саме в межах СЗЗ відбувається найбільш інтенсивне вплив вуглеводню, що виділяється з шахти на біосферу.

Як уже зазначалося вище, завдання боротьби з природним та техногенним шахтним метаном є дуже складним. На шахті ім. А.Ф. Засядько комплексно використовуються практично всі вентиляційні та дегазаційні заходи.

Работа шахтных систем вентиляции и дегазации происходит одновременно, но разнесена в пространстве и реализует различные управленческие функции. Вентиляция является общешахтной и оказывает глобальное воздействие на перераспределение метана в пределах выемочного участка, независимо от работы системы дегазации. В предельном случае, при правильной организации проветривания участка, система вентиляции способна обеспечить безопасный уровень его концентрации на участке с полным выносом формирующейся в процессе ведения горных работ метановоздушной смеси за его пределы и из шахты в целом. При этом, однако, не будут достигнуты экологические цели, поэтому важным является вопрос оптимизации системы дегазации. Правильно организованный отбор метановоздушной смеси (будь то использование подземных или поверхностных вакуум-насосных станций и/или дегазационных скважин) обеспечит локальное удаление части метановоздушной смеси из системы проветривания участка и, тем самым, снижение концентрации метана в вентиляционной струе и дебита метана, непосредственно выносимого в атмосферу вентиляционной струей. Таким образом, дегазация, направленная на совместное с вентиляцией снижение концентрации вредных веществ, удаляемых из шахты, и играющая важную роль в использовании метана, как альтернативного вида топлива, попутно преобразуя продукты его сгорания в диоксид углерода, является важным фактором жизнеобеспечения горного производства и окружающей природной среды. Поэтому в основу концепции уменьшения эмиссии метана угольных шахт (имеется в виду оба вида эмиссии: из мест его сосредоточения и в атмосферу) положено совместное (комплексированное) функционирование вентиляционной и дегазационной систем для достижения двух взаимосвязанных целей: повышения экологической безопасности горного производства и добычи и использования техногенного метана.

В конечном итоге уменьшение эмиссии метана из шахты преследует, как одну из целей, повышение экологической безопасности горного производства. Это – величина качественная (экологическая безопасность может быть больше или меньше). Для количественной оценки экологической безопасности используется понятие, как ее элемента, экологического риска. Оценка экологического риска – это оценка стоимости полного (что не всегда возможно, а значит, в общем случае - частичного) устранения экологически значимых последствий, вызванных нормальным и/или аварийным выбросом метана. Естественно, для оценки как экологической безопасности, так и экологических рисков, предполагается разработка и использованием некоторых критериев.

Существует целый ряд критериев оценки экологической безопасности функционирования промышленных предприятий. Однако разнообразие технологических процессов и принимаемых мер по безопасности и улучшению экологических факторов не позволяют разработать универсальный критерий.

В наиболее общем виде критерии оценки экологической безопасности могут быть разделены на три большие группы:

- детерминированные (использующие утвержденные на законодательном уровне критерии, с обоснованными минимальными и максимальными нормативами)

вами для различных источников загрязнения в условиях среднесрочного и отдаленного прогноза);

- вероятностные (используемые при неблагоприятных техногенных ситуациях);

- социально-биологические (с использованием интегральных показателей, отражающих уровень здоровья населения, состояние фауны и флоры.)

Анализируя угледобывающее производство, можно отметить, что критериальная оценка экологического риска может быть несколько изменена. Именно, может быть использовано следующее понятие.

*Критерий экологического риска* – мера оценки экологической безопасности через вероятность возникновения выбросов метана (организованных и аварийных) в атмосферу и величину нанесенного ущерба. Значение его может быть нормировано по следующим показателям: объем выброса и предельно допустимая концентрация метана. В качестве дополнительного критерия может быть использовано состояние флоры и фауны (в данной работе не рассматривается).

В книге [13] отмечено, что в теории рисков в последнее время все большее распространение получает подход к риску неблагоприятного события, не только учитывающий вероятность этого события, но и его возможные последствия. Такое «двумерное» определение риска используется при его качественном оценивании – риск может быть определен как произведение события на меру ожидаемых последствий. Исходя из этого, методы анализа рисков (в частности, в рассматриваемом нами случае экологической безопасности угледобычи) могут быть дифференцированы на два класса: детерминированные и вероятностно-статистические.

В нормальных условиях основными источниками выделения метана являются обнаженные поверхности угля и пород, отбитый из массива уголь и выработанные пространства. Интенсивность метановыделения в естественных условиях невелика и стабильна. В начальный период после отбойки угля она составляет от 5 до 50 л/мин с 1 м<sup>2</sup> пласта, затухая до весьма малых значений через 2-12 мес. Анализ рисков в этих условиях может производиться детерминированными методами (выделение № 1).

В случае, если в шахте не используется дегазация – весь выделяющийся метан выносится вентиляционными потоками на поверхность и безвозвратно теряется как альтернативный вид топлива. В противном случае имеет место комплексирование вентиляционных и дегазационных мер; часть метана подлежит каптажу и дальнейшей утилизации. При этом, естественно, повышается экологическая безопасность горного производства. Условия управления метановыделением остаются нормальными и анализ рисков также может производиться детерминированными методами (выделение типа 2).

В некоторых случаях выделения метана в шахте происходят внезапно и отличаются интенсивностью, превышающей в десятки и сотни раз интенсивность обычных выделений. К их числу относят суфлярные выделения газов, прорывы из полостей в породах и мощные выделения метана при вне-

запных выбросах угля и газа. Суфлярные выделения происходят с интенсивностью до  $50 \text{ м}^3/\text{мин}$ . При внезапных выбросах угля и газа зарегистрировано выделение метана до 750 тыс.  $\text{м}^3$  (Канада, 1904 г.) и угля 14,5 тыс. т (СССР, 1969 г.). Однако наиболее часто выброс характеризуется объемами метана до 10-15 тыс.  $\text{м}^3$  и угля до 500 т. Ввиду непредсказуемости аварийных ситуаций анализ рисков должен производиться вероятностно-статистическими методами (выделение типа 3).

Классификация источников выбросов метана в атмосферу угольной шахты представлена на рис. 1.

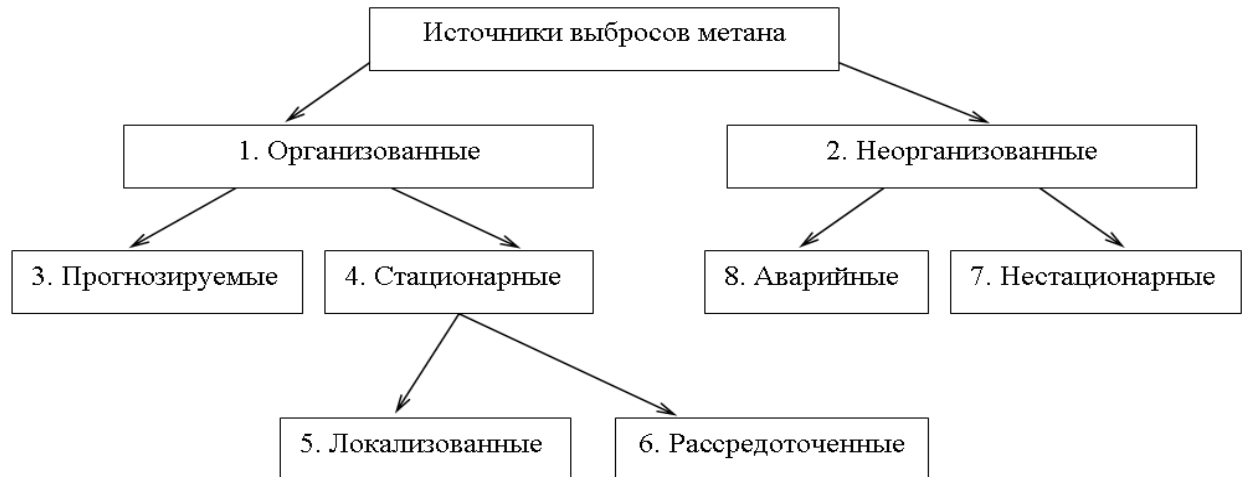


Рисунок 1 – Источники выбросов метана в атмосферу угольной шахты

Очевидно, выделения 1,3,4,5,6 относятся к типу 1. Все они являются организованными (присущими технологическому процессу добычи угля). № - выделение из обнаженных поверхностей угля и пород, отбитого угля и выработанных пространств; они определяются исключительно технологией и интенсивностью угледобычи. 4 – относится к выделению каптируемого метана (5 – в конкретную скважину, 6 – в «куст» скважин). « - выделения типа 3: 8 – аварийные (внезапные выбросы метана), 7 (и в том числе 8) – суфлярные выделения, прорывы из порлостей в породах и т.д.

В настоящее время методы, относящиеся к этим группам, применяются независимо для учета экологической безопасности организованных и неорганизованных выбросов метана. Для объективной оценки объемов выброшенного в процессе добычи угля метана необходим комплексный подход к оценке экологических рисков, связанных с проявлениями экологического воздействия техногенного метана. В рассматриваемом нами случае он осуществим (комплексный критерий управления экологической безопасностью имеет аналитический вид и количественные характеристики) по следующим причинам:

- объект влияния – один: атмосфера горных выработок и вне шахты;
- субъект влияния – один: техногенный + природный метан; другие парниковые газы не рассматриваются. Исключение –  $\text{CO}_2$ , образующийся при

сторании метана, но для него известно количественное значение оценки экологического риска;

- все три типа выделений и их разновидности имеют одинаковое количественное (реальное или прогнозируемое) выражение – количество выделяемого метана.

В связи с этим комплексный критерий оценки экологической безопасности угледобывающего производства имеет аддитивный характер и включает три составляющих:

а) в качестве первой составляющей критерия управления экологической безопасностью в данной работе предложено использовать минимум объема выбросов метана  $Q_i^s$  с концентрацией  $C_i^s$  через  $n$  вентиляционных стволов шахты (первую постоянную составляющую экологического критерия для метановыделений типа 1)

$$R^{const} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i^s C_i^s \rightarrow \min;$$

б) второй составляющей критерия управления является суммарный объем  $Q_i^{bor}$  капируемой метановоздушной смеси из  $i$ -той скважины с концентрацией  $C_i^{bor}$  (вторая постоянная составляющая экологического критерия для метановыделения типа 2)

$$R^{bor} = \sum_{i=1}^m Q_i^{bor} C_i^{bor} \rightarrow \max,$$

где  $m$  – количество дегазационных скважин;

в) в случае создания аварийной ситуации (внезапный подземный выброс метана) используется динамическая составляющая  $R^{var}$ , возникающая при появлении  $i$  – го технологически неблагоприятного события  $U_i$  ( $N$  - количество технологически неблагоприятных событий)

$$R^{var} = \sum_{i=1}^N \beta_i U_i,$$

где  $\beta_i$  – эмпирический коэффициент.

Если составляющие а) и б) имеют количественное выражение (или хотя бы приближенную интервальную по времени оценку), то составляющая в) может быть определена лишь на основе анализа статистических данных.

Для оценки динамической составляющей объемов аварийных выбросов метана в данной работе предлагается использовать нормальное распределение (по результатам МакНИИ). Обработка статистических данных, описывающих внезапные выбросы угля и газа, полученные МакНИИ за 15 лет с 1990 по 2005 г, приведенная в [13], показала, что между ними существует некоторая связь с коэффициентом корреляции 0,5 (рис. 2, жирная линия, и рис. 3)



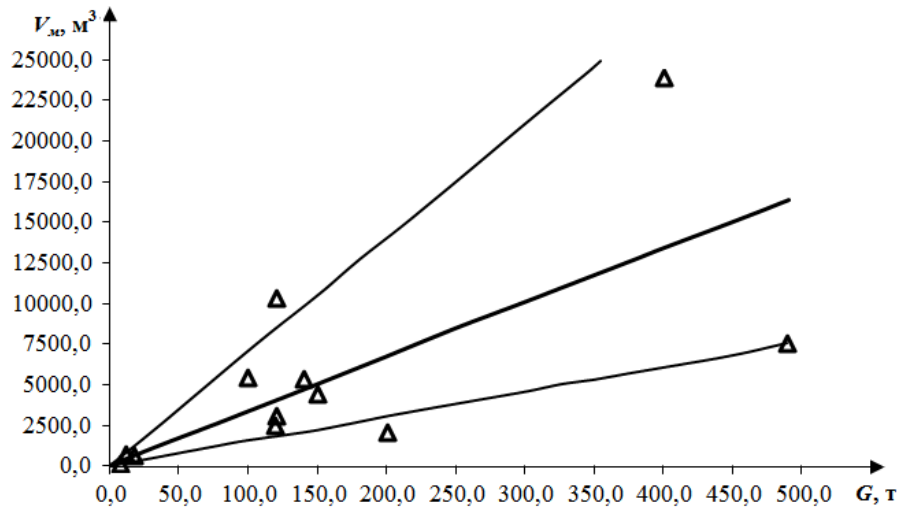


Рисунок 2 – Корреляционное соотношение между выброшенным углем  $G$  и газом  $V_m$  в рядах (тонкими линиями указан диапазон разброса статистических данных)

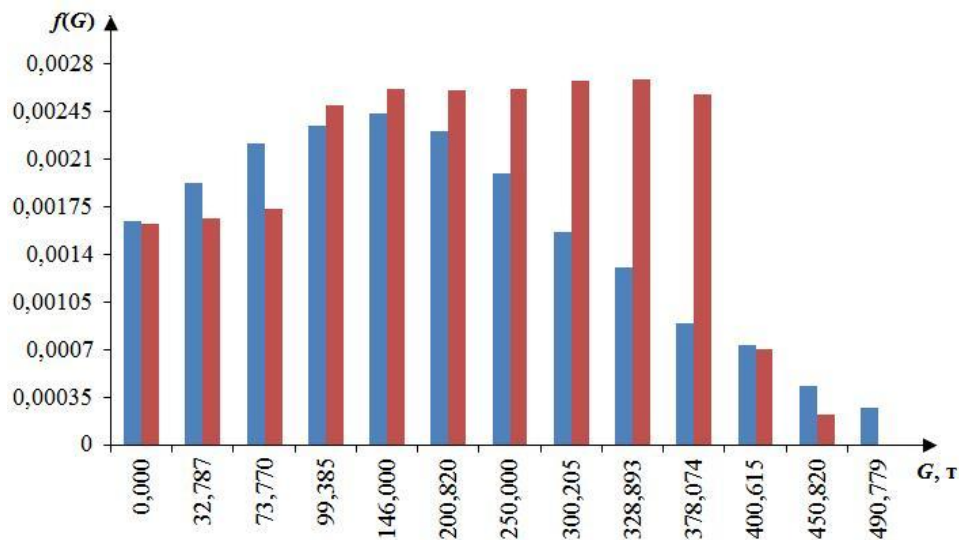


Рисунок 3– Функция плотности нормального распределения количества угля, выброшенного в лаву [13]

Левая колонка на гистограмме рис. 3 соответствует верхней прямой на рис. 2, правая колонка – нижней.

Формула связи параметров выброшенных угля и газа имеет вид

$$V_m = qG,$$

где  $q$  – коэффициент пропорциональности (среднее значение –  $33 \text{ м}^3/\text{т}$ , граничные значения соответственно равны  $15$  и  $70 \text{ м}^3/\text{т}$ ), отвечающий газоносности угля. Аппроксимация для рис. 2  $V_m = -0,0013G^2 + 33,97G - 7,9422$  ( $R^2=1$ ).

В результате обработки данных установлено, что среднестатистическое количество угля, выброшенного в лаву в результате подземного выброса, равня-

ется 146 т, что соответствует выделившимся 5000 м<sup>3</sup> метана. Это позволяет использовать полученные результаты, как входные данные для прогнозирования эмиссии метана в атмосферу при подземных внезапных выбросах угля и газа в лаге. Такая методика позволит, хотя бы приблизительно, оценить изменения газового состояния выработок, в которых возникает выброс, и их влияние на состояние прилегающих к аварийному участкам.

Таким образом, комплексный критерий управления экологической безопасностью угледобывающего производства имеет вид

$$R^{ЭК} = \{R^{const}; R^{bor}; R^{var}\} = \left\{ \sum_{i=1}^n Q_i^g C_i^g \rightarrow \min \right\}; \left\{ \sum_{i=1}^m Q_i^{bor} C_i^{bor} \rightarrow \max \right\}; \left\{ \sum_{i=1}^N \beta_i U_i = \text{var} \right\} \quad (1)$$

Следует обратить внимание на взаимосвязь трех составляющих критерия. При условии  $R^{var} r=1$  (нормальные условия метановыделения)  $R^{const} + R^{bor} = R^{CH_4}$ , т.е. суммарной эмиссии метана из шахты, и управление экологической безопасностью достигается варьированием их соотношений. Чем больше  $R^{const}$  – тем больше теряется полезного техногенного метана; чем меньше  $R^{bor}$  – тем хуже показатели экологического риска.  $R^{var}$  непосредственно не связано с  $R^{const}$  и  $R^{bor}$ . Выделение метана кратковременно и незначительно и оценить степень его утилизации не представляется возможным, тем более, что при внезапном выбросе может быть нарушено нормальное функционирование систем и вентиляции и дегазации.

В табл. 1 представлен перечень разработанных технологических решений по управлению экологической безопасностью, применяемых на шахтах в настоящее время. В ней приведено шесть способов дегазации и соответственно места и технологии воздействия на источники метановыделения с целью управления экологической безопасностью угледобывающего производства. Способы 1,4,5 относятся к выделениям первого типа, 2,3,6 – к выделениям второго типа. Выделения третьего типа в таблице не представлены, т.к. управление метановыделением при его неорганизованных выделениях (и, соответственно, расчет значений третьего слагаемого в формуле (1) производится из других соображений. Однако принцип критериальной оценки экологической безопасности остается неизменным: для выбранной шахты определяется перечень используемых способов управления экологической безопасностью (имеется ввиду использование дегазационных мер с целью максимизации второго слагаемого формулы (1);

минимизация первого слагаемого достигается в результате произведенных действий), рассчитываются значения входящих в (1) параметров и полученные результаты суммируются.

Предложенный критерий универсален, в его состав не входят никакие параметры, определяемые жесткими условиями и ограничениями – в формуле (1) представлены лишь их конечные значения.

Приведем конкретные примеры. Значение первого слагаемого в (1) вычисляется «напрямую»:  $Q_i^g$  и  $C_i^g$  на вентиляционных стволах всегда можно за-

мерить. Во втором слагаемом неявно учитывается фактор обводненности каптируемой метановоздушной смеси (т.е. изменение массового значения  $Q_i^{bor}$ ).

Таблица 1 – Перечень разработанных технологических решений по управлению экологической безопасностью (сокращения эмиссии метана в атмосферу)

№	Способ дегазации	Места и технологии воздействия			
		Угольный пласт	Подрабатываемая толща пород	Выработанное пространство	Места переработки метановоздушной смеси
1	Выемка угля	Изменение производительности забоя	-	-	-
2	Дегазация поверхностными скважинами	Частичная дегазация пласта через трещины давления	Расклинивание трещин наполнителем при гидравлическом воздействии	Расположение ПДС над зонами разгрузки, длительная дегазация	-
3	Дегазация подземными скважинами	Бурение пластовых и экранящих скважин. Измельчение угольных и породных блоков	Расклинивание трещин при гидравлическом воздействии. Использование барьерных скважин	Охрана устьев скважин и трубопроводов. Бурение и эксплуатация барьерных скважин	-
4	Управление газовыми потоками	-	-	Орошение стенок выработок изолятором	-
				Аэрологическая изоляция путем создания «нулевой зоны»	
5	Управление метановыделением из отбитой массы	Обработка отбитого угля спецсоставом, дробление	-	-	-
6	Удаление метановоздушной смеси к местам переработки	Удаление метана из отбитого угля дополнительным газоотсосом	-	Удаление метана газоотсосом	Переработка метана на КГРС, использование электродозжигателя для тощих МВС

Если фактором обводненности пренебречь – учет каптируемого метана производится на основании непосредственного замера объемного расхода метано-воздушной смеси; в противном случае при расчете  $Q_i^{bor}$  используется метод [14], учитывающий поправку на степень обводненности..

Другой пример иллюстрирует положение о том, что современная шахтная вентиляционная система (ШВС) является реконфигурируемой; одним из признаков реконфигурации является наличие в ШВС участков с различным законом  $n$  аэродинамического сопротивления (для выработок выемочного участка  $n=2$ , для различных элементов выработанного пространства  $1 < n < 2$ ). В подавляющем большинстве существующих расчетных методов закон аэродинамического сопротивления для определения  $Q_i^6$  принимается квадратичным. Это может вызвать существенную погрешность определения  $C_i^6$ , а значит – повышает значение экологической опасности. Вместе с тем существуют методы, которые позволяют рассчитать  $Q_i^6$  для  $n \neq 2$  [15] и на их основе сформировать поле концентраций метана от мест метановыделения (с учетом переменного значения  $n$ ) до  $C_i^6$  в стволах. Таким образом будет реализован учет снижения количественного значения первого слагаемого (1) (т.е. жжения критерия экологического риска) с одновременной передачей части эмиссии метана из выработанного пространства средствам дегазации путем максимизации второго слагаемого (1).

Из всего вышесказанного может быть сделан вывод об универсальности критерия (1) с точки зрения повышения экологической безопасности горного производства. Источников метановыделения, помимо учтенных в (1), в угольной шахте просто не существует, и дальнейшей задачей исследований является совершенствование определения количественных значений составляющих формулы (1) (с акцентом на максимизацию второй составляющей и стабилизацию третьей, т.е. снижения выбросоопасности методами, выходящими за пределы рассматриваемой нами задачи).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапарь, А.Г. Глобальное изменение климата и утилизация шахтного метана / А.Г. Шапарь, П.И. Копач // Екологія і природокористування Ю2003. - №6. – С. 125-138.
2. Извлечение шахтного метана и защита окружающей среды (обзор) / С.В. Кузера, И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан [и др.] // Уголь Украины.- 2005. - №6. – С. 13-15.
3. Исследование целесообразности утилизации шахтного метана, каптируемого системами дегазации / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, В.С. Бригида, Н.Н. Зинченко // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал. – 2010. - №1-2. – С. 90-99.
4. Костенко В.К. Повышение экологической безопасности природно-промышленной системы угольной шахты путем сокращения эмиссии метана / В.К. Костенко, А.Б. Бокий // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал. – 2013. - №1. – С. 24-34.
5. Меркулов, В.А. Охрана природы на угольных шахтах / В.А. Меркулов. – М.: Недра, 1981. – 184с.
6. Рудько, Г.І. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів / Г.І. Рудько, Л.Є. Шкіца – К.: ЗАТ «Нічслава», 2001. – 528с.
7. Методическое руководство по оценке ресурсов углеводородных газов угольных месторождений, как попутного полезного ископаемого.- М.: 1988. – 233с.

8. Шапарь, А.Г. Оценка ресурсоемкости горнодобывающего комплекса и некоторые пути его экологизации / А.Г. Шапарь, П.И. Копач // Горная промышленность России на рубеже XX-XXI веков. – М.: Недра, 1995. – С. 131-139.

9. Шмидт, М.В. Экологическая эффективность переработки метана / М.В. Шмидт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГУ, 2002. - №6. – С. 163-165.

10. Науково-методичні рекомендації щодо поліпшення стану земель, порушених гірничими роботами / А.Г. Шапар, О.О. Скрипник, П.І. Копач [та ін.]. – Дніпропетровськ: Моноліт, 2007. – 270с.

11. Стратегія і тактика сталого розвитку / А.Г. Шапар, М.А. Ємець, П.І. Копач [та ін.]. / Дніпропетровськ: Моноліт, 2004. – 320с.

12. Шапкин, А.С. Теория рисков и моделирование аварийных ситуаций / А.С. Шапкин. – М.: Дашков и К<sup>0</sup>, 2005. – 845с.

13. Брюханов, А.М. Математическое моделирование закономерностей формирования взрывоопасной среды при внезапных выбросах угля и газа в очистных выработках / А.М. Брюханов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 69. – С. 90-96.

14. Новиков, Л.А. Газодинамика обводненных участков дегазационного трубопровода и методы расчета их параметров / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 235-244.

15. Совершенствование метода расчета концентраций метана по сети горных выработок, включающих рассредоточенные источники метановыделения / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 31-42.

#### REFERENCES

1. Shapar, A.G. and Kopach, P.I. (2003), «Global change of climate and utilization of mine methane, *Ekologiya I prirodokorystuvannya*, no.6, pp. 125-138.

2. Kuzera, C.V., Drozdnyk, I.D., Kaftan, Yu.S. [and others] (2005), «Extraction of mine methane and defence of environment (review)», *Coal of Ukraine*, no.6, pp. 13-15.

3. Kostenko, V.K., Boky, A.B., Brygyda, V.S. and Zinchenko, N.N. (2010), «Research of expedience of utilization of mine methane, drained by the systems of degassing», *Problemy ekologiyi. Zagalnoderzhavnyy naukovy-technichnyy zhurnal*, no.1-2, pp. 90-99.

4. Kostenko, V.K. and Boky, A.B. (2013), «Increase of ecological safety of the naturally-industrial system of coal mine by reduction of emission of methane», *Problemy ekologiyi. Zagalnoderzhavnyy naukovy-technichnyy zhurnal*, no.1, pp. 24-34.

5. Merkulov, V.A. (1981), *Okhrana prirody na ugolnikh shakhtakh* [Safety natures on coal mines], Nedra, Moscow, SU.

6. Rudko, G.I. and Shkitsa, L.Ye. (2001), *Ekologichna bezpeka ta ratsionalne prirodokorystuvannya v mezhakh girnychopromyslovykh I naftogazovykh kompleksiv* [Ecological safety and rational nature management within the limits of mining and oil-gas complexes], Nichslava, Kiev, UA.

7. *Methodicheskoye rukovodstvo po otsenke resursov uglevodorodnykh gazov ugolnikh mestorozhdeniy, kak poputnogo poleznogo iskopayemogo* [Methodical guidance as evaluated by the resources of hydrocarbon gases of coal deposits, as passing useful fossilized] (1988), Moscow, SU.

8. Shapar, A.G. and Kopach, P.I. (1995), «Appreciation resources-capacity of mining complex and some ways of him ecologization», *Mining industry of Russia on the XX-XXI centuries border*, Nedra, Moscow, pp. 131-139.

9. Shmydt, M.V. (2002), «Ecological efficiency of processing of methane», *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no.6, pp. 163-165.

10. Shapar, A.G., Skripnik, O.O., Kopach, P.I. [and others] (2007), *Naukovo-metodbchni rekomendatsiyi shchodo polipshennya stanu zemel, porushenikh girnychymy robotamy* [Scientifically-methodical recommendations in relation to the improvement of the state of the earths broken by mine works], Monolit, Dnipropetrovsk, UA.

11. Shapar, A.G., Yemets, M.A., Kopach, P.I. [and others] (2004), *Strategiya I taktika stalogo rozvytku* [Strategy and tactic of steady development], Monolit, Dnepropetrovsk, UA.

12. Shapkin, A.S. (2005), *Teoriya riskov I modelirovaniye avariynikh situatsiy* [Theory of risks and design of emergency situations], Dashkov and K<sup>0</sup>, Moscow, RU.

13. Bryukhanov, A.M. (2007), «Mathematical design of conformities to the law of forming of explosive environment at the sudden troop landings of coal and gas in the cleansing making», *Geo-technical mechan-*

ics, no. 69, pp. 90-96.

14. Novykov, L.A. (2015), «Gas-dynamics of the water invasion areas of decontamination pipeline and methods of calculation of its parameters», *Geo-technical mechanics*, no. 120, pp. 235-244.

15. Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye., Zhalilov, A. Sh. and Boki, A.B. (2015), «Perfection of method calculation concentrations of methane on the network of the mine making including the dispersed sources of methane emission», *Geo-technical mechanics*, no. 120, pp. 31-42.

---

### Об авторах

**Булат Анатолий Федорович**, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua).

**Бунько Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Кокouлин Иван Евгеньевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Новиков Леонид Андреевич**, инженер, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [lnov71@yandex.ru](mailto:lnov71@yandex.ru)

**Жалилов Александр Шамильевич**, инженер, главный механик ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина, [alnat01@mail.ru](mailto:alnat01@mail.ru)

**Бокій Александр Борисович**, директор по развитию бизнеса Украина, Грузия, Беларусь ООО «ДжиИ Украина», [bokiy@yahoo.com](mailto:bokiy@yahoo.com)

### About the authors

**Bulat Anatoly F.**, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua).

**Bunko Tatyana Viktorovna**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Kokoulin Ivan Yevgenyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Novikov Leonid Andreevich**, Master of Science, Junior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, [lnov71@yandex.ru](mailto:lnov71@yandex.ru)

**Zhalilov Alexandr Shamilyevich**, Master of Science, Chief mechanical engineer of the state enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, [alnat01@mail.ru](mailto:alnat01@mail.ru).

**Bokiy Alexander Borisovich**, Master of Science, Commercial Development Director Ukraine, Georgia, Belarus GE Ukraine (General Electric), LLC, [bokiy@yahoo.com](mailto:bokiy@yahoo.com)

---

**Анотація.** Приведені визначення понять, пов'язаних з екологічною безпекою функціонування вугільних шахт. Запропонована класифікація джерел викидів метану в атмосферу з вугільних шахт, який диференційовано враховує стаціонарні (пов'язані з технологічними процесами видобутку, транспортування і складування вугілля з подальшим метановиділенням з виробленого простору лави), пов'язані з утилізацією метану, який каптується, і нестаціонарні (як результат викидів метану при виникненні аварійної ситуації) чинники.

Сформульовані задачі по управлінню екологічною безпекою функціонування реконфігурованих вентиляційних мереж багатометанових вугільних шахт. Розроблені комплексний критерій і методи управління екологічною безпекою вугільних шахт по метановому чиннику. Запропонований перелік технічних заходів щодо управління екологічними ризиками і підвищенню екологічної безпеки вугледобувного виробництва.

**Ключові слова:** екологічна безпека, екологічний ризик, метан, метановиділення, раптові викиди метану, критерій підвищення екологічної безпеки.

**Abstract.** Determinations of the concepts related to ecological safety of functioning of coal mines are resulted. Classification of sources of the troop landings of methane in an atmosphere from coal mines is offered, differentiated taking into account stationary (related to the technological processes of booty, transporting and warehousing of coal and subsequent methane-apportionment from the produced space of lava), related to utilization of draining methane and unstationary (as a result of the troop landings of methane at an emergency situation) factors.

Tasks on the management by ecological safety of functioning of re-configured ventilation networks of methane-bearing capacity coal mines are formulated. A complex criterion and methods of management by ecological safety of coal mines on a methane factor is developed. The list of technical measures on the management by the ecological risks is offered, to the increase of ecological safety of coal mining production.

**Keywords:** ecological safety, ecological risk, methane, methane-apportionment, sudden troop landings of methane, criterion of increase of ecological safety.

*Статья поступила в редакцию 10.06.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским*