

ТАТЬЯНА КОСТЕНКО*

Оценка рисков и повышение безопасности горноспасательных работ в шахтах, опасных по газу

Ключевые слова

горноспасательные подразделения – ликвидация аварий – поражающие факторы – зоны поражения – риски травмирования – управление рисками

Аннотация

В статье представлен краткий анализ возможных поражающих факторов при ведении аварийно-спасательных работ шахтах, опасных по газу; выполнена численная оценка рисков возможных поражений горноспасателей; разработаны рекомендации по управлению данными рисками; предложена усовершенствованная методика оценки взрывобезопасности шахтной среды.

1. Введение

По данным Государственной Военизированной Горноспасательной Службы (ГВГСС) ежегодно на шахтах Украины происходит не менее четырех взрывов метановоздушных смесей, которые приводят к жертвам, нередко многочисленным. Иногда взрывы являются следствием осложнения таких видов аварий, как загазирование выработок, пожары, особенно эндогенные, внезапные выбросы угля, газа, песчаников.

Статистика свидетельствует о том, что наибольшее количество травм, которые происходят в горных выработках, возникает вследствие взрывов, завалов выработок, переход горения в труднодоступные места (в выработанное пространство, закрепное пространство, раздавленные целики).

Технология ликвидации источников, причин и последствий тяжелых аварий сопряжена с высокими рисками травмирования горноспасателей поражающими факторами взрывов газовоздушных смесей, отравлением токсическими продуктами горения, воздействием высоких температур, обрушением горных пород.

* Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Институт горного дела и геологии, горный факультет, кафедра охраны труда и аэрологии, tatiana.kostenko@gmail.com

2. Основная часть

2.1. Расчет рисков горноспасательных подразделений при ведении аварийных работ в газовых шахтах.

На основании анализа хода работ по ликвидации аварий определены виды рисков поражений, которые чаще всего происходят с горноспасателями [1]. Среди основных: поражение теплотой очага горения, токсическими продуктами пожара, ударной волной от взрыва газозвушной смеси (ГВС), теплотой и токсическими продуктами взрыва, обрушением пород в горные выработки, удушьем.

Расположение основных зон вышеперечисленных поражений во время ликвидации аварии приведено на рис.1.

Общий риск травмирования R равен сумме рисков по причинам, которые привели к травмированию:

$$R = \sum_{i=1}^n P(\Pi_i), \quad (1)$$

где Π_i - показатель, характеризующий мероприятия и средства профилактики травматизма,

$$P = N_{см} \cdot \frac{L_{зоны}}{360 \cdot v_{отделения}}, \quad (2)$$

где $N_{см}$ - количество смен, на протяжении которых ведутся работы; $L_{зоны}$ - протяженность зоны риска; $v_{отделения}$ - скорость перемещения отделения горноспасателей по зоне риска; 360 мин – длительность одной смены (6 часов).

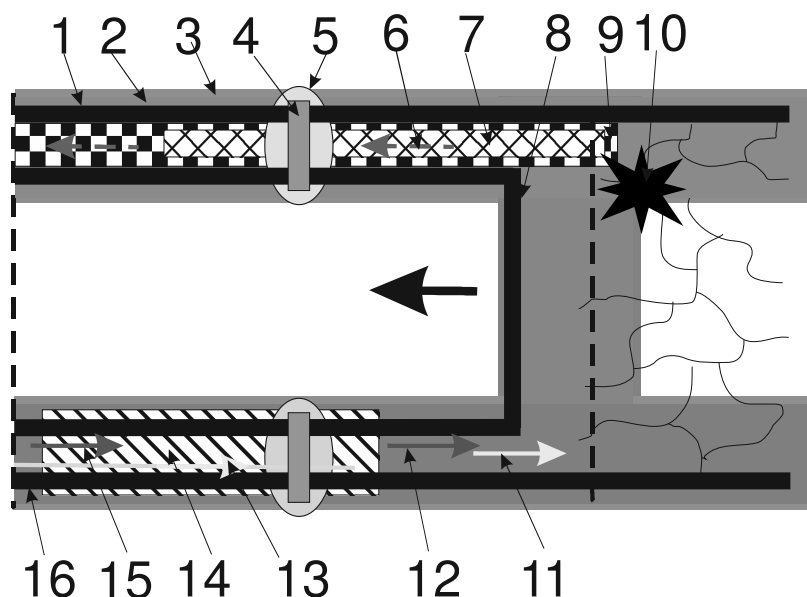


Рисунок 1. Расположение зон поражений при ликвидации аварий:

1-вентиляционная выработка; 2,3 – зоны поражения, соответственно ударной волной и высокой температурой от взрыва ГВС и токсическими продуктами взрыва; 4,5 – соответственно, перемычка и зона обрушения пород; 6 – исходящий поток газов; 7,9 – соответственно, зоны теплового и токсического поражения пожарными газами; 8 – очистной забой; 10 – очаг горения; 11,12 – потоки инертных газов и утечки воздуха соответственно; 13 – трубопровод инертных газов; 14 – зона удушья; 15, 16- поток воздуха и воздухоподающая выработка.

Figure1. Location of lethal zones at liquidation of accidents:

1- vent excavation; 2,3 – lethal zones of the shock wave and high temperature of explosion; 4 - cofferdam,5 – zone of rockslide; 6 – coming flow of gases; 7,9 – lethal zones of high temperature and toxic lesion fire gases; 8 – mining face; 10 – combustion sources; 11,12 – flow of inert gas and air leaks; 13 – tubing for inert gases; 14 – zone breathlessness; 15 - airflow, 16 – air development.

На основании (1) были рассчитаны степени отдельных видов рисков травмирования горноспасателей при ведении работ в выработках газовых шахт без использования средств защиты и с использованием максимально эффективных средств защиты (рис.2).

Установлено, что степень риска травматизма горноспасателей во время работы в условиях потенциального взрыва метановоздушной смеси прямо пропорциональна протяженности аварийной зоны и обратно пропорциональна скорости перемещения людей по этой зоне.

При этом для оперативных подразделений, учитывая современный уровень техники и технологий выполнения конкретных видов работ, были определены численные значения рисков травматизма, при превышении которых аварийные работы должны быть приостановлены.

2.2. Разработка рекомендаций по управлению рисками

Из рис.2. видно, что наибольшие значения величин рисков соответствуют действию ударной волны, токсическому действию продуктов пожара и взрыва. Оказалось, что наибольшие величины рисков от: действия ударной волны составляет 3-16%, действия токсических продуктов пожарных газов – 30-60%, токсических продуктов взрыва газовоздушной смеси – 13-66%.

Это позволило разработать научно обоснованные рекомендации по выбору направлений управления рисками и обеспечения безопасного тушения пожаров в труднодоступных местах (табл.1).

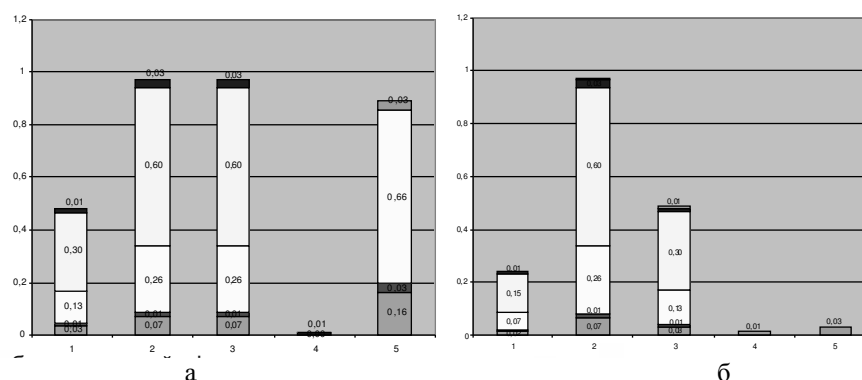


Рисунок 2. Диаграмма степеней основных рисков по зонам во время выполнения основных работ по ликвидации очага горения угля в труднодоступных местах (а – без использования средств защиты, б– с использованием средств защиты):

1 - разведка, 2 – возведение перемычки на вентиляционном штреке, 4 – возведение перемычки на конвейерном штреке, 5 – подача азотной смеси с содержанием кислорода 15%, 6 - подача азотной смеси с содержанием кислорода 5%, 7 - подача азотной смеси с содержанием кислорода 2%.

Figure 2. Diagram of degrees of the main risks in the zones during execution of basic works to eliminate the source of coal burning in hard places (a – without use of protective equipment, б– with use of protective equipment):

1 - exploration, 2 – construction the cofferdam on the ventilation excavation, 4 – construction the cofferdam on the conveyer excavation, 5 – supply nitrogen mixture with oxygen content 15%, 6 - supply nitrogen mixture with oxygen content 5%, 7 - supply nitrogen mixture with oxygen content 2%.

Таблица 1. Основные направления управления рисками
Table 1. Basic direction of risk management

Виды рисков поражения	Средства уменьшения рисков
Ударной волной от взрыва ГВС	1) использование усовершенствованной методики оценки взрывоопасности газовой смеси в аварийных выработках 2) комплекс противовзрывной быстровозводимый типа КПБ
Высокой температурой от взрыва ГВС	1) охлаждающий элемент в респираторе 2) противотепловая куртка 3) противотепловой костюм
Токсическими продуктами взрыва ГВС	1) самоспасатель (tзд*=50мин) 2) вспомогательный респиратор Р-34 (tзд=120мин) 3) основной респиратор типа Р-30 или РХ-4Е (tзд=240мин)
Токсическими продуктами пожарных газов	1) самоспасатель (tзд=50мин) 2) вспомогательный респиратор Р-34 (tзд=120мин) 3) основной респиратор типа Р-30 или РХ-4Е (tзд=240мин)
Высокой температурой от пожарных газов	1) охлаждающий элемент в респираторе 2) противотепловая куртка 3) противотепловой костюм
Удушье	1) самоспасатель (tзд=50мин) 2) вспомогательный респиратор Р-34 (tзд=120мин) 3) основной респиратор типа Р-30 или РХ-4Е (tзд=240мин) 4) проветривание тупиковой выработки 5) аппаратура автоматизации для дистанционного тушения пожаров
Обрушение пород в районе возведения перемычки	1) механизированное возведение перемычки 2) возведение безврубовой перемычки
* tзд – время защитного действия респиратора или самоспасателя, мин	

2.3. Методика оценки взрывобезопасности шахтной среды

В горноспасательном деле для прогноза взрывобезопасности шахтной газовой среды принято использовать треугольник взрываемости (диаграмма взрываемости) [2]. Он представляет из себя плоскую фигуру, которая построена в координатах «окислитель – горючий газ». Его вершинами является нижний и верхний предел взрываемости данной смеси и пик ее воспламенения.

Нами предложена качественно новая методика оценки взрывобезопасности газовых смесей [3], которая учитывает содержание в смеси не только окислителя и горючих газов, но и содержание флегматизирующих газов. Компоненты смеси, которая состоит из окислителя, горючего и флегматизатора, находятся во взаимосвязи:

$$C_o + C_z + C_\phi = 100, \% \quad (3)$$

где C_o, C_z, C_{ϕ} - соответственно суммарные концентрации окислителя, горючих и флегматизирующих газов, %.

Геометрически такая трехкомпонентная смесь изображена в системе трёх координат «окислитель – горючее – флегматизатор» как плоскость, которая пересекает координатные оси в точках 100% (рис.3). Область взрывчатых смесей находится в треугольнике $L_{ni}, L_{\phi i}, E_{II}$, где значения L_{ni} и $L_{\phi i}$ соответственно нижний и верхний пределы взрываемости смеси, E_{II} - пик воспламенения.

Если к газокислородной смеси добавить флегматизатор, то размер треугольника уменьшается. Так для смесей с начальным содержанием флегматизатора 79% и 90% получены треугольники $L_{n79}, L_{\phi 79}, E_{II}$ и $L_{n90}, L_{\phi 90}, E_{II}$. Традиционный треугольник взрываемости является проекцией на горизонтальную плоскость построенного нами треугольника $L_{ni}, L_{\phi i}, E_{II}$.

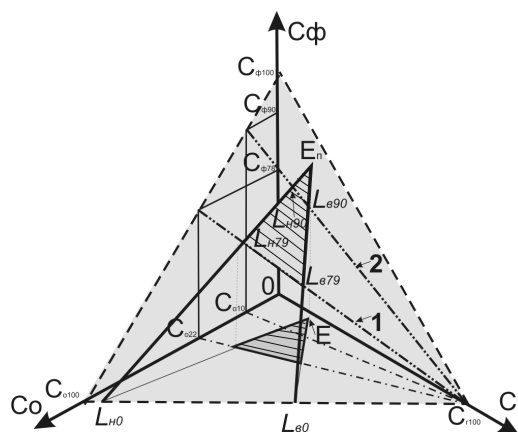


Рисунок 3. Схема определения области взрывчатости трехкомпонентных газовых смесей: $C_{oi}, C_{zi}, C_{\phi i}$ - концентрации в составе смеси соответственно окислителя, флегматизатора, горючего; L_{ni} и $L_{\phi i}$ - соответственно нижний и верхний предел взрываемости газовой смеси, где i - процентное содержание флегматизатора в составе смеси; E_{II} - пик воспламенения смеси по кислороду; 1,2 - линии, которые характеризуют газовые среды с начальным содержанием кислорода соответственно 79 и 90%.

Figure 1. Scheme for determining explosiveness of ternary gas mixtures:

$C_{oi}, C_{zi}, C_{\phi i}$ - concentration in the mixture oxidant, phlegmatizer, combustible; $L_{ni}, L_{\phi i}$ - the lower and the upper limits of explosive gas mixtures, i - percentage of the phlegmatizer in the mixture; E_{II} - peak flammability mixture for oxygen; 1,2 - lines characterizing gas environment with the content phlegmatizer, respectively 79 and 90%.

Стороны треугольника с вершинами $L_{ni}, L_{\phi i}, E_{II}$ можно описать математическими зависимостями линий, которые проходят через две точки (рис.4). Вместе с (3) они составят систему уравнений (4):

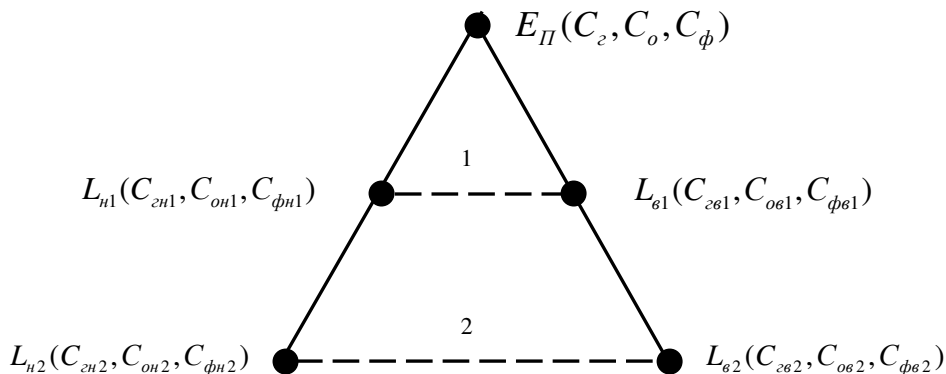


Рисунок 4. Фрагмент треугольника $L_{ni}, L_{\phi i}, E_{II}$: 1, 2 – отрезки, которые характеризуют диапазоны взрывчатости газовых смесей, L_{n1}, L_{n2} и верхние $L_{\phi1}, L_{\phi2}$ пределы взрываемости с соответствующими значениями концентрации горючего - C_{zi} , окислителя - C_{oi} , флегматизатора - $C_{\phi i}$.

Figure 4. Fragment $\Delta L_{ni}, L_{\phi i}, E_{II}$: 1, 2 – segments that cover a range of explosive gas mixtures, which have lower L_{n1}, L_{n2} and upper $L_{\phi1}, L_{\phi2}$ explosive limits with corresponding concentration of combustible - C_{zi} , of oxidant - C_{oi} , of phlegmatizer - $C_{\phi i}$.

$$\begin{cases} \frac{C_z - C_{zn1}}{C_{zn2} - C_{zn1}} = \frac{C_o - C_{on1}}{C_{on2} - C_{on1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi n1}}{C_{\phi n2} - C_{\phi n1}} \\ \frac{C_z - C_{z\phi1}}{C_{z\phi2} - C_{z\phi1}} = \frac{C_o - C_{o\phi1}}{C_{o\phi2} - C_{o\phi1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi\phi1}}{C_{\phi\phi2} - C_{\phi\phi1}} \\ \frac{C_z}{100} + \frac{C_o}{100} + \frac{C_\phi}{100} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Для проверки вышеописанной методики были проведены эксперименты. В лабораторных условиях проводилось смешивание химически чистых кислорода, азота и метана в необходимых пропорциях. Приготовленные смеси исследовались на горючесть и взрывчатость. При этом было использовано два способа инициирования: внешним источником открытого пламени и электродетонатором, который был размещен во взрывчатой емкости. При инициировании смеси источником открытого пламени ни одна из приготовленных смесей не взорвалась и не воспламенилась. Воспламенение произошло лишь при инициировании с помощью электродетонатора.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили справедливость предложенной теории, что позволяет перейти к использованию данной методики в реальных условиях с целью повышения безопасности горноспасательных работ.

3. Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что степень риска травматизма горноспасателей во время аварийно-спасательных работ прямо пропорциональна протяженности аварийной зоны и обратно пропорциональна скорости перемещения людей по этой зоне. Согласно установленной зависимости были рассчитаны риски для основных этапов ведения работ, и наибольшие величины были получены для случаев действия ударной волны и токсических продуктов взрыва. Разработаны основные направления управления рисками, в том числе предложено оценивать взрывобезопасность трехкомпонентной газовой смеси по усовершенствованной методике. Использование предложенных рекомендаций позволяет повысить безопасность горноспасательных работ в шахтах, опасных по газовому фактору.

Литература

- [1] Костенко Т.В. *Оценка рисков и повышение безопасности горноспасательных работ в шахтах, опасных по газу. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – охрана труда. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины.* - Донецк 2011, - 23с.
- [2] ДНАОП 1.1.30 - 4.01.97. *Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт.* – Київ: Вид. „Основа”, 1997. – 453 с
- [3] Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др. *Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах; под ред. В.К. Костенко.* – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2010. – 253 с.

TATIANA KOSTENKO

(State Higher Education Institution «Donetsk national technical university», Institute of Mining and Geology, Mining faculty, The department «Occupational Health and Aerology», tatiana.kostenko@gmail.com)

Evaluation of risks and increased safety mining rescue work in gas mines

Keywords

mine rescue department – accident elimination – factors of affecting – zone lesions – risks of injuries – risk management

Abstract

The article provides a brief analysis of possible factors affecting the conduct of rescue operations in gas mines; numerically evaluation of the risks of possible injuries rescuers; recommendations for risk management; offered an advanced method of estimating the explosion safety of mine environment.