

УДК 622.272:622.8

В.В. Лобанов, М.К. Сороченко, А.В. Боланев, А.В. Письменный
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ
НА РУДНИКЕ «УДАЧНЫЙ» В УСЛОВИЯХ
НЕФТЕГАЗОПРОЯВЛЕНИЙ

Анализируется ситуация с отключением, согласно существующего регламента буровзрывных работ, вентиляционной системы на период шпурового взрывания горного массива и предлагаются возможные решения по нейтрализации выделения дополнительного горючего газа на забой выработки из изливающихся газосодержащих рассолов, а также дополнительного притока их после взрыва из горного массива за счет созданного взрывом перепада давления.

Ключевые слова: рудник, горный массив, скважина, нефть, газозвдушная смесь, сероводород, взрыв.

При проведении буровзрывных проходческих работ на выработках опережающего вскрытия и стволах рудника «Удачный» фиксируются повторные взрывы газозвдушных смесей приводящие к нарушению целостности коммуникаций на забоях выработок, шахтных копров и существенно влияющих на темпы строительства рудника. Для анализа причин возникновения подобных ситуаций проводятся специальные исследования с привлечением ведущих организаций России в области безопасности ведения горных работ в условиях газопроявлений (ВостНИИ, ИПКОН РАН, ИГД им. А.С. Скочинского и др.). В полной мере используется и собственный опыт АК «АПРОСА» ведения горных работ в аналогичных во многом условиях рудника «Интернациональный». Одним из возможных факторов, обеспечивающих возможность создания взрывоопасной газозвдушной среды является отключение согласно существующего регламента буровзрывных

работ вентиляционной системы на период шпурового взрывания горного массива. В этот период и возможно выделение дополнительного горючего газа на забой выработки из изливающихся газосодержащих рассолов, а также дополнительный приток их после взрыва из горного массива за счет созданного взрывом перепада давления. В настоящей работе анализируется данный фактор и предлагаются возможные решения по его нейтрализации.

Краткая характеристика рассологазопроявлений в интервале проходки

Работы ведутся в интервале среднекембрийского подмерзлотного водоносного комплекса, содержащего крепкие газированные рассолы и существенные нефтебитумопроявления. В газировании выработок участвуют растворенный (в рассолах), свободный (выделяется при разрушении породы) и сорбированный (выделяется при термовакuumной дегазации) природные газы, однако, в объемах газовыделений в выработках преоб-

ладает доля дегазации рассолов, в подчиненном значении находится дегазация пород. Согласно геолого-разведочным данным [1], содержание углеводородных газов во вмещающих породах изменяется в широких пределах – от десятых долей до $2,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Наиболее высокие концентрации их, в среднем $0,7 - 1,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$ приурочены лишь к интервалу 350—670 метров, ниже и выше происходит значительное снижение их концентрации (до $0,1 - 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$).

Предваряя анализ, следует отметить, что в гораздо более сложной ситуации по нефтегазопрооявлениям на руднике «Интернациональный» (более интенсивные нефтегазопрооявления на 8-м горизонте) повторных взрывов подобных масштабов не наблюдалось.

На рис. 1 проиллюстрирован существенно трещинный характер нефтепроявления в массиве.

Из рисунка видно, что нефтепроявления во вскрытом интервале приурочены к трещиноватости в массиве. Это отличает их, например, от нефтепроявлений на руднике «Интернациональный», где они носят трещино-поровый характер.

Очевидно, факторами, способствующими повторным взрывам могут быть различия в составах нефти и газа на месторождениях. Нефть Интера высокосмолистая и практически не способна возгораться. Углеводородный состав газа преимущественно метановый с крайне низким содержанием водорода, который в существенной мере влияет на снижение порога взрываемости газовой смеси. Нефть на наклонном съезде ОГПУ рудника Удачный по виду более легкая, с повышенным содержанием легких фракций. По имеющейся информации она способна возгораться и поддерживать горение достаточно длительное время.



Рис. 1. Трещинный характер нефтепроявлений в выработках рудника «Удачный»

Газовый состав в рассолах, примерно, аналогичен газу с Интера и в стационарном потоке не содержит повышенных концентраций водорода. Однако, в геологических материалах АмГРЭ есть указания на возможность вскрытия отдельных карстовых полостей с рассолами, содержащими наряду с углеводородными газами повышенные концентрации водорода (свыше 1 %).

Из материалов АмГРЭ [2] следует:

1) Газонасыщенные интервалы пород приурочены к нефтебитуминозным коллекторам (от +100 до -450 м.абс.). Средние значения газового фактора (по свободным газам) не превышает $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Полученные данные характеризуют содержание природного газа, заключенного в порах нефтебитуминозных коллекторов. Учитывая незначительную остаточную газоносность керна и отсутствие значительных и постоянных проявлений газа при бурении скважин по породам и рудам (при отсутствии коллекторов нефти и подземных рассолов), а также при испытаниях их КИИ, можно предполагать, что в процессе разрушения и измельчения пород и кимберлитов выделения газа не будут сколько-нибудь значительными и до-

полнительно вызывать загазованность выработок.

2) Газоносность месторождения в целом оценивается, прежде всего, по содержанию растворенных газов в подземных рассолах и коллекторах нефтябитумов, т.к. сорбционные свойства горных пород крайне низки. В целом газонасыщенность подземных рассолов характеризуется следующими особенностями. В интервале от +97 до -1080 м абс. наблюдаются стабильные содержания растворенных газов в рассолах водоносных комплексов ВВК, СВК, изменяющиеся в пределах $0,15 - 0,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Учитывая довольно высокую проницаемость и обводненность пород этого интервала, растворенные газы будут оказывать прямое влияние на загазованность подземных горных выработок. Доминирующими компонентами в растворенных газах являются углеводородные газы (УВГ), на долю которых приходится от 26 до 93 % газовой смеси. Концентрации остальных газов незначительны: азота 7-60 %, водорода — до 1 %, углекислых газов — до 3 %, гелия — до 0.06 %, аргона — до 0.8 %. В составе УВГ главную роль играет метан; его количество, как правило, превышает 90 %. Сероводород по всему изученному разрезу — до глубины 1400 метров (гор. -1080 м) не обнаружен.

3) Особое внимание при отработке месторождения следует обратить на встречающиеся газовые «ловушки». Так, скважина №517, которая вскрыла на Западном теле (гор. -590 м) карстовую полость, фонтанировала на протяжении девяти месяцев с дебитом газированных рассолов до $50 \text{ м}^3/\text{час}$. По Восточному рудному телу выбросы газа и рассолов из «ловушек» фиксировались на глубинах от +100 до -750 м.абс. В скважинах № 221,

218, 203, 233, 503, 507 также было отмечено выделение газа, но оно происходило менее интенсивно. Поэтому проходку горных выработок необходимо проводить с бурением опережающих скважин.

Распределение газонасыщенности рассолов приведено на рис. 2.

В связи с вышеизложенным, можно представить следующие два механизма формирования повторных взрывов:

- возгорание нефти или пропитанного нефтью иного материала (например, оплетки шпуровых зарядов) после взрывания шпуровых зарядов инициирует взрывное возгорание газовой смеси, интенсивно выделяющейся из взорванного и окружающего выработку обводненного массива (по механизму воздействия на горный массив это могут быть и растворенные, и свободные, и сорбированные углеводородные газы) за счет формирования зоны разряжения у забоя при направлении воздушной массы после взрыва в сторону устья наклонного съезда;

- взрывное возгорание газовой смеси, содержащей повышенные концентрации водорода.

Для более детальной оценки указанных механизмов повторных взрывов произведен отбор пробы нефти с забоя выработки для анализа ее фракционного состава и способности к возгоранию, а также проб газа.

Проведенное поджигание материала, пропитанного нефтью из отобранной пробы, подтверждает способность поддерживать достаточно длительное время (в масштабе периода сработки шпуровых зарядов) открытый огонь на забое выработки, то есть возможность инициации взрыва газовой среды после ее обогащения горючими газами по указанному механизму.

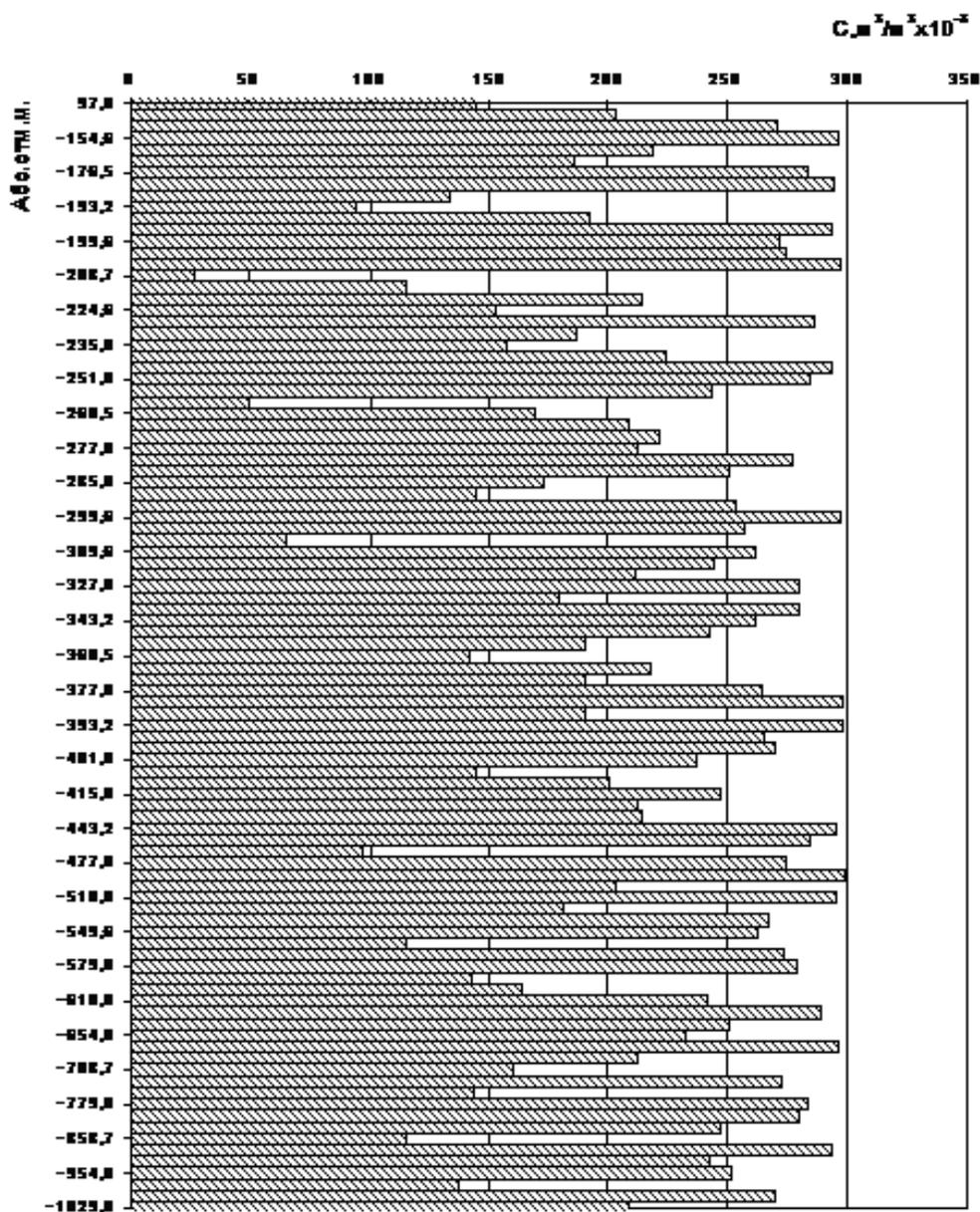


Рис. 2. Изменения газонасыщенности подземных рассолов по горизонтам месторождения

Состав природного газа, выделяющегося на забое наклонного съезда, определенный в лаборатории ООС института Якутнипроалмаз, приведен в Приложении 1.

Для оценки категории взрывоопасности природного газа сложного состава используется методика, разработанная ИПКОН РАН, которая представлена в [3].

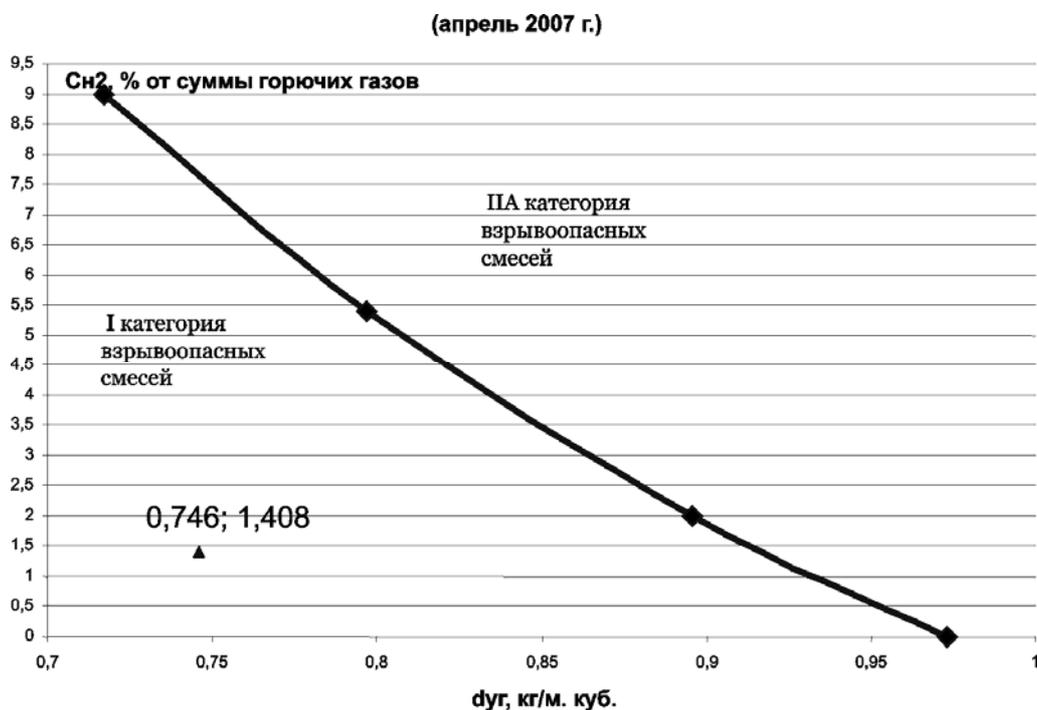


Рис. 3. Оценка взрывоопасности природного углеводородного газа, выделяющегося на забое выработки опережающего вскрытия рудника «Удачный»

В рамках расчета состав сложного газа характеризуется двумя параметрами: относительным содержанием водорода (C_{H_2}) в процентах от суммы горючих газов и средневзвешенной плотностью углеводородной части газа ($d_{гр}$).

При расчете величины $d_{гр}$ плотности углеводородов принимаются равными (в кг/м³): метан – 0,717, этан – 1,344, пропан – 1,967, бутан – 2,598.

Ниже приводится соответствующий расчет для пробы природного газа (см. ее состав в Приложении):

Суммарное содержание горючих газов составляет:

$$\Sigma = 92,104 \text{ \% по объему}$$

Величина C_{H_2} (в % от суммы горючих газов) равна:

$$C_{H_2} = \frac{1,297 \cdot 100}{92,104} = 1,408,$$

$$d_{гр} = \frac{86,914 \cdot 0,717 + 3,531 \cdot 1,344 + 0,342 \cdot 1,967 + 0,019 \cdot 2,598}{86,914 + 3,531 + 0,342 + 0,019} = 0,746$$

Для оценки категории взрывоопасности смеси газов из указанной пробы, полученная точка с координатами (C_{H_2} , $d_{гр}$) вынесена на соответствующую диаграмму (рис. 3):

Состав отобранной смеси природных газов позволяет, согласно методике ИПКОН РАН, отнести их к I категории взрывоопасных смесей (расчетная точка находится в области слева от граничной кривой). Это предопределяет возможность использования имеющегося в руднике взрывозащищенного горно-добычного оборудования при отработке нижележащих горизонтов.

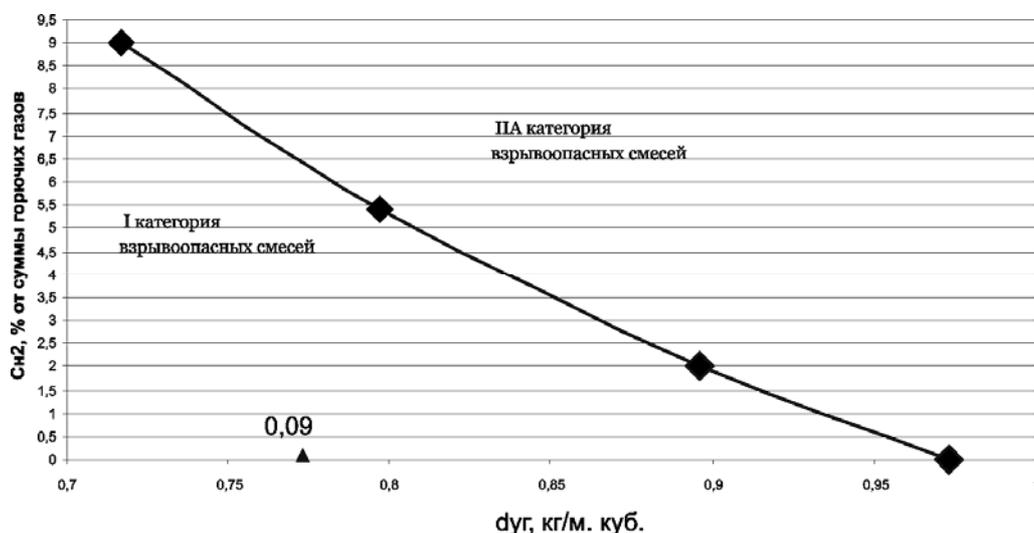


Рис. 4. Оценка взрывоопасности природного углеводородного газа, выделяющегося в ЗРТ карьера Удачный (данные 2006 г.)

Учитывая легкость водорода по сравнению с углеводородными газами и, в связи с этим, его относительно большую подвижность в водной среде, следует ожидать его более высокие концентрации в начальный период вскрытия зон повышенной проводимости с падением его содержания в составе природных газов с наступлением стационарного режима водного потока.

Зафиксированная концентрация водорода – 1,297 % (в пересчете на безвоздушную среду), не выходит за пределы оценок концентраций водорода в подземных рассолах на месторождении (см. [2]).

Для сравнения на рис. 4 приведена соответствующая оценка взрывоопасности природного газа, выделяющегося при стационарном изливе из дренажных рассолов на забое Западного рудного тела карьера «Удачный» (данные 2006 года) с содержанием водорода 0,08 %.

Приведенные материалы и оценки подтверждают, по нашему мнению,

правомерность представления о двух механизмах формирования повторных взрывов газо-воздушной среды на забоях подземных выработок рудника «Удачный» при их проходке с применением мелкошпурового взрывания горной массы (нами не рассматривается в качестве причины инцидентов возможное несоблюдение регламента взрывных работ, это в компетенции специалистов взрывного профиля). В то же время, следует подчеркнуть, что рассматриваемые ситуации не выходят за пределы и условия применения СпецМерУд ни по природным, ни по технологическим факторам, и требуют лишь принятия квалифицированных и достаточных мер по предотвращению создания опасных условий для горного персонала и технологического оборудования.

В качестве одной из возможных мер по предотвращению повторных взрывов целесообразно рассмотреть создание инертной, достаточно устойчивой среды на забое выработки непосредственно взрыванием. Такая

мера, по имеющейся информации используется при проходке ВВС рудника в аналогичных условиях путем создания пенной завесы. Она не представляется достаточно технологичной.

Более практичным может оказаться предложение ООО «Маринсервис» (г. Санкт-Петербург) по созданию паровоздушной завесы, с применением форсунки специальной конструкции. Для предотвращения повторных взрывов предлагается создание на забое выработки перед взрыванием устойчивой, достаточно плотной инертной парогазовой среды из смеси углекислого газа и воды, которая приведет к замещению взрывоопасных газонефтяных смесей. Парогазовая среда, из-за своей повышенной плотности, примет на себя энергию ударной волны, демпфирует и погасит ее энергию. Эту инертную парогазовую смесь вырабатывает кавитационный ультразвуковой жидкостный нагнетатель и специальная форсунка. По информации ООО «Маринсервис» (г. Санкт-Петербург) форсунка их конструкции с нагнетателем может решать подобные задачи и уже применялась в аналогичных целях. В настоящее время от этой организации получено обоснование предлагаемой технологии и согласие на оперативное проведение необходимых опытных работ на наклонном съезде и стволах рудника «Удачный» с использованием имеющегося у ООО «Маринсервис» опытного оборудования.

2. Пример оценки времени создания взрывоопасной концентрации газов на забое выработки и эффективности создания инертной атмосферы.

Одним из возможных факторов создания взрывоопасной концентрации природных газов на забое выработки, в результате чего возникают, в

частности, инциденты с повторным взрыванием газовой среды после срабатывания шпуровых зарядов, является разрыв во времени между отключением проветривания выработки и инициации шпуровых зарядов. В этот период происходит разгрузка горючих газов из горного массива в выработку при отключенном проветривании. Обычно замеры ВГСЧ состояния атмосферы в забое выработки непосредственно перед отключением проветривания показывают удовлетворительное состояние воздушной среды с точки зрения взрывоопасности. Однако, в указанный период отсутствия проветривания атмосфера выработки не контролируется, что требует оценки допустимого времени задержки взрывания шпуровых зарядов. В рамках такой оценки и имеет смысл проведение опережающего бурения скважин, по результатам исследования в которых и целесообразно получать исходные данные для прогнозирования времени создания взрывоопасной среды на забое выработки, подготовленной к проходке буровзрывным способом.

Для оценки допустимого времени представляется целесообразным использование методики ВГСЧ с построением т.н. «треугольников взрываемости». В этой методике на основании полученных в точке отбора концентраций кислорода, углекислого, водорода и инертного газа (СО) определяется взрывоопасность воздушной среды, а также рекомендуются стандартные меры по достижению не взрывоопасных концентраций воздушно-газовой среды.

Для примера приведем расчет времени создания взрывоопасной концентрации газов для выработки с обводненным забоем, с определенным по результатам исследования

Треугольник взрываемости газов

Рис. 5

Концентрация газов, %	
O ₂	20,2
CH ₄	3,68
CO	0
H ₂	0,052
□ - применен инертный газ	

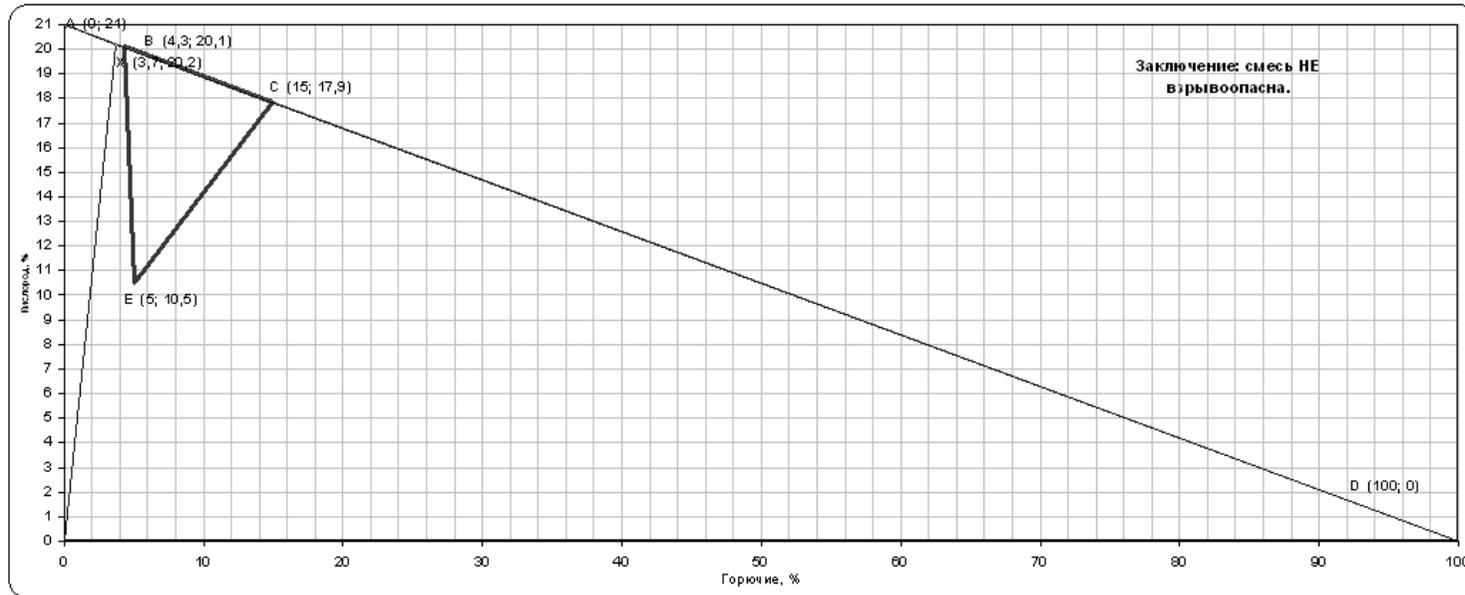
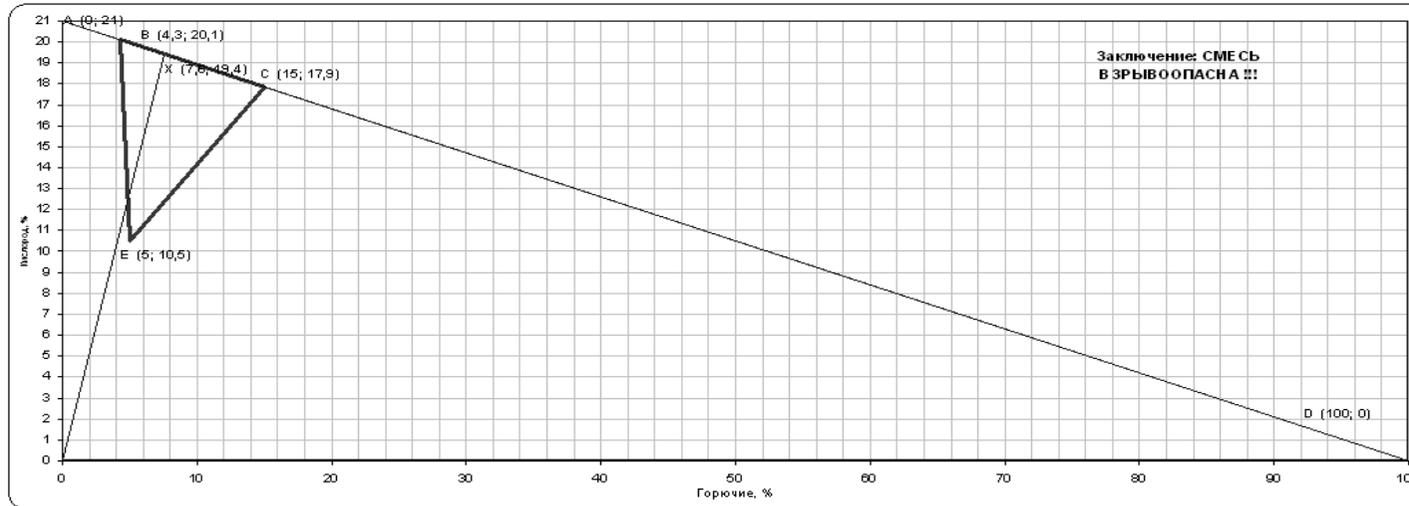


Рис. 5

Треугольник взрываемости газов

Рис. 6.

Концентрация газов, %	
O ₂	19,4
CH ₄	7,464
CO	0
H ₂	0,104
□ - применен инертный газ	



Варианты вывода смеси из взрывоопасного состояния:

1. Увеличением количества воздуха, подаваемого на участок. В этом случае точка X будет перемещаться по линии XA и смесь станет взрывобезопасной при следующих концентрациях: O₂ - 20,1 CH₄ - 4,2
2. Уменьшением количества воздуха, подаваемого на участок. В этом случае точка X будет перемещаться по линии XD и смесь станет взрывобезопасной при следующих концентрациях: O₂ - 12,4 CH₄ - 4,9
3. Выпуск в аварийный участок инертного газа. В этом случае точка X будет перемещаться по линии XO и смесь станет взрывобезопасной при следующих концентрациях: O₂ - 17,8 CH₄ - 15,1

Рис. 6

Треугольник взрываемости газов

Рис. 7

Концентрация газов, %	
O ₂	19,4
CH ₄	7,36
CO	5
H ₂	0,104
□ - применен инертный газ	

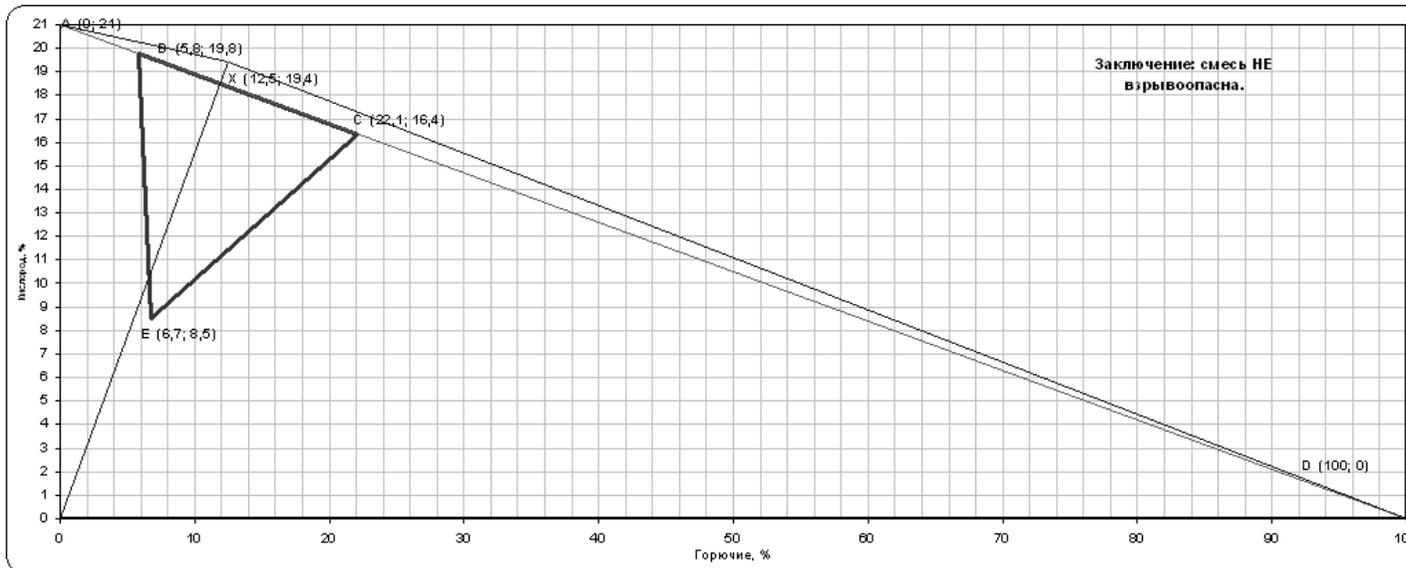


Рис. 7

опережающей скважины газовым фактором (Γ_{ϕ}) рассолов, составом газа (из главы 2.3.) и притоком рассолов (Q , $\text{м}^3/\text{час}$).

Исходные данные к расчету:

$$\Gamma_{\phi} = 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3; C_{\text{УВ}} = 92 \%;$$

$$C_{\text{Н}_2} = 1,3 \%; Q = 20 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для упрощения принимаем, что перед отключением проветривания на забое выработки был чистый атмосферный воздух ($C_{\text{O}_2} = 21 \%$; $C_{\text{N}} = 79 \%$). Площадь сечения выработки принята 20 м^2 , расчетную границу выработки определяем на расстоянии 5 метров от забоя. Таким образом, расчетный объем выработки составляет 100 м^3 .

При принятых параметрах часовой приток природных газов в выработку составит:

$$20 \text{ м}^3/\text{час} \cdot 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3 = 4 \text{ м}^3.$$

Объем водорода, поступившего в выработку, составит:

$$4 \text{ м}^3 \cdot 0,013 = 0,052 \text{ м}^3.$$

Объем углеводородных газов, поступивших в выработку, составит:

$$4 \text{ м}^3 \cdot 0,92 = 3,68 \text{ м}^3.$$

Общий объем горючих газов ($\text{УВ} + \text{Н}_2$) составит:

$$3,68 \text{ м}^3 + 0,052 \text{ м}^3 = 3,732 \text{ м}^3.$$

Остаток воздуха в расчетном объеме составит:

$$100 \text{ м}^3 - 3,732 \text{ м}^3 = 96,268 \text{ м}^3.$$

Объем кислорода в расчетном объеме составит:

$$96,268 \text{ м}^3 \cdot 0,21 = 20,2 \text{ м}^3.$$

Учитывая то, что расчетный объем выработки принят равным 100 м^3 , полученные объемы углеводородных

газов и водорода являются концентрациями этих газов в расчетном объеме.

Подставляя полученные цифры в расчетный график ВГСЧ (рис. 5), получаем оценку газо-воздушной среды по истечении часа после отключения проветривания как не взрывоопасную.

Результаты подобного расчета для двухчасового притока природных газов в забой выработки при отключенном ее проветривании приведены на Рис. 6. Газовоздушная среда интерпретируется в данном случае как взрывоопасная. По ее доведению до не взрывоопасной рекомендуются соответствующие мероприятия.

На рис. 7 проиллюстрировано эффективное влияние добавления инертных газов (в данном случае, 5% СО) на доведение газо-воздушной среды до безопасных концентраций.

Аналогичный расчет можно делать и по результатам контроля газовыделений из сухих опережающих скважин, где для оценки динамики притока газа целесообразно использование анемометров с последующим пересчетом газопитока по известным эмпирическим зависимостям пересчета притоков флюидов из скважин на приток в выработку.

Как представляется, приведенная методика может быть достаточно перспективной для прогнозирования и предотвращения инцидентов при ведении буровзрывных работ в газонасыщенном горном массиве и рекомендуется для более тщательной проработки и внедрения в практику служб ВТБ рудников АК «АЛРОСА».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Отчет* о результатах работ по доизучению гидрогеологических, инженерно-геологических условий и нефтегазоносности глубоких горизонтов трубки Удачная за 1978-82 г.г. Том 1. АмГРЭ, К.В. Рябуха, В.А. Павлов и др., Айхал, 1982.

2. *Отчет* о результатах доразведки глубоких горизонтов тр. Удачная в 1990 – 1997 г.г. с подсчетом запасов алмазов по состоянию на 1.01.99г. (в 5 книгах и 3-х

папках). Книга 2. Гидрогеологические, инженерно-геологические и горно-геологические условия месторождения. АмГРЭ, отв. исполнители В.П. Серов, В.П. Рошин, Айхал, 1999.

3. *Специальные мероприятия* газового режима при ведении горных работ на руднике «Удачный» на период строительства до выхода на проектную мощность. Гипронибель, Якутнипроалмаз, Мирный, 2004. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Лобанов В.В., Сороченко М.К., Боланев А.В., Письменный А.В. — институт Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА»



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Федоров А.В., генеральный директор «СУЭК-Красноярск»,
Самарин С.В., зам. генерального директора по персоналу «СУЭК-Красноярск»,
Томашевская М.В., вед. инженер по организации труда и заработной плате, «Разрез Тунгуйский»,

Жилкин А.Г., горный мастер, «Разрез Тунгуйский»

Довженок А.С., доктор технических наук, вед. научный сотрудник «НТЦ-НИИОГР»

Макарова В.А., экономист «НТЦ-НИИОГР»

Система стимулирования труда машинистов экскаваторов. Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2010. — № 12. — 52 с. — М.: издательство «Горная книга».

Представлены рабочие материалы по итогам моделирующего семинара с группой руководителей и специалистов ОАО «Разрез Тунгуйский». Для всех руководителей и специалистов, заинтересованных в повышении ценности своей деятельности на предприятиях, в региональных производственных объединениях, управляющих компаниях.

Ключевые слова: система оплаты труда, критерии оценки труда, машинист экскаватора, условия эксплуатации.

Fedorov A.V., Samarin S.V., Tomashevskaya M.V., Zhilkin A.G., Dovzhenok A.S., Makarova V.A. SYSTEM OF STIMULATION OF EXCAVATOR OPERATORS

The working papers on the results of the modeling workshop with a group of managers and specialists of JSC "Tugnuyskij open pit" are presented. The papers may be useful for all managers and professionals interested in increasing the performance of his/her work at enterprises, regional industrial associations and management companies.

Key words: System of labor remuneration, the criteria for work evaluation, the excavator operator, operating conditions.