

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВОВ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

*А.Ф. Булат, С.П. Минеев, ИГТМ НАН Украины
С.Н. Смоланов, И.Б. Беликов, П.М. Самопаленко, ГВГСС Украины*

При ведении горных работ в угольных шахтах Украины ежегодно происходят взрывы метановоздушных смесей, приводящие к серьезным экономическим последствиям и значительным жертвам. Еще большую опасность для предприятий и работающих представляют собой повторные взрывы. Аварии этого вида характеризуются протяженной сетью пораженных горных выработок и большим количеством людей, которые в момент их возникновения могут находиться в зоне поражения и в угрожаемой зоне. Ликвидация последствий взрывов метановоздушной смеси прежде всего направлена на оказание помощи застигнутым и пострадавшим шахтерам непосредственно в аварийных горных выработках шахты и вывод их на поверхность.

При ведении горных работ в угольных шахтах Украины ежегодно происходят взрывы метановоздушных смесей, приводящие к серьезным экономическим последствиям и значительным жертвам. Еще большую опасность для предприятий и работающих представляют собой повторные взрывы [1-3].

Так, за период с 1990 по 2018 год на шахтах Украины произошло 103 взрыва метановоздушной смеси. Аварии этого вида характеризуются протяженной сетью пораженных горных выработок и большим количеством людей, которые в момент их возникновения могут находиться в зоне поражения и в угрожаемой зоне. Ликвидация последствий взрывов метановоздушной смеси прежде всего направлена на оказание помощи застигнутым и пострадавшим шахтерам непосредственно в аварийных горных выработках шахты и вывод их на поверхность.

Как правило, условия выполнения горноспасателями работ по спасению людей характеризуются не пригодной для дыхания атмосферой, высокой температурой рудничного воздуха, наличием вторичных очагов горения, нарушением проветривания, выводом из строя крепи выработок и их коммуникаций, завалами и обрушениями горных пород. При этом, одним из основных факторов, который в этих условиях обеспечивает успешное выполнение аварийно-спасательных работ является исключение повторных взрывов метановоздушной смеси [1,4]. Исключение это является весьма актуальной задачей для угольной промышленности.

В этой связи, в условиях нарушенных взрывом коммуникаций выемочных участков, которые при нормальном технологическом процессе обеспечивают работу газоотсасывающих установок и дегазации, а также исключают закорачивание вентиляционных струй, а именно подпорных перемычек в тупиках погашения вентиляционных выработок, гибких трубопроводов, соединяющих дегазационные скважины и другие места забора метана с газопроводами, вентиляционных шлюзов, установленных в определяющих ветвях и др., главным фактором в предупреждении повторных взрывов метановоздушной смеси при наличии вторичных очагов горения является достоверное определение фактического метановыделения выемочного участка.

В соответствии с действующими нормативными документами метановыделение выемочных участков после взрывов метановоздушной смеси рассматривается как метановыделение остановленного выемочного участка [5], т.е. как метановыделение выемочного участка на котором прекращена добыча угля.

При этом, как правило, дебит метана после остановки выемочного участка ($I_{уч.}$) определяется с использованием следующей зависимости [6]:

$$I_{уч.} = I_{уч. \text{ факт.}} \exp(-0.13t), \text{ м}^3/\text{мин} \quad (1)$$

где $I_{уч. \text{ факт.}}$ – фактическое метановыделение выемочного участка до прекращения добычи (до остановки);

t – время, прошедшее после прекращения добычи угля (после остановки), сутки.

На рисунке 1 приведен расчет изменения дебита метана на выемочном участке 13 восточной лавы пласта l_1 на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», который был выполнен с использованием зависимости (1) при ликвидации последствий взрыва метановоздушной смеси, произошедшего 18.11.2017 года.

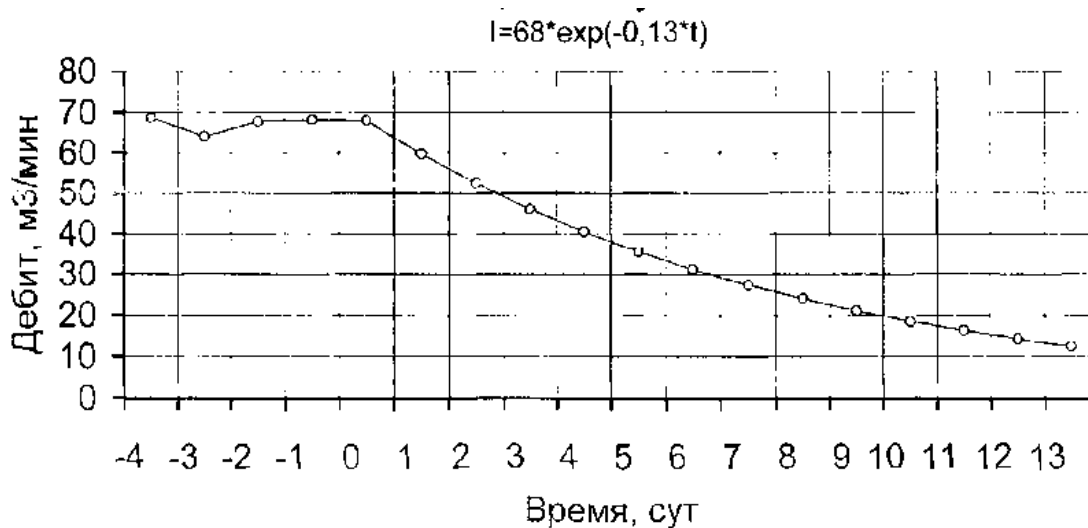


Рис. 1 - График расчетного изменения дебита метана на выемочном участке 13 восточной лавы пласта l_1 АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» при ликвидации последствий взрыва метановоздушной смеси, который произошел 18.11.2017 года

Исходя из расчетов, выполненных при расследовании аварии с использованием зависимости (1) за период с 18.11.2017 года до 01.12.2017 года, т.е. за 13 суток после остановки очистного забоя, дебит метана на выемочном участке 13 восточной лавы пласта l_1 должен был снизиться с $68 \text{ м}^3/\text{мин}$ до $12 - 13 \text{ м}^3/\text{мин}$. При этом, в ходе ведения работ по ликвидации аварии на выемочный участок подавалось $2680 \text{ м}^3/\text{мин}$ свежего воздуха, что давало максимальную расчетную концентрацию метана в исходящей струе воздуха $0,44 - 0,48\%$. Такое количество свежего воздуха обеспечивало более чем четырехкратный резерв для недопущения загазирования аварийных выработок метаном до концентрации 2% .

Тем не менее, 01.12.2017 года на выемочном участке 13 восточной лавы пласта l_1 произошел повторный взрыв метановоздушной смеси. Данный факт свидетельствует о том, что прогноз метановыделения выемочного участка, выполняемый с использованием зависимости (1), не в полной мере отражал фактический дебит метана на выемочном участке после его остановки из-за взрыва метановоздушной смеси, произошедшего 18.11.2017 года.

Поэтому, с целью оценки корректности применения зависимости (1) для определения расчетного дебита метана на выемочных участках после взрывов метановоздушной смеси, были выполнены фактические определения дебита метана выемочных участков после допущенных взрывов метановоздушной смеси. При этом, необходимо отметить, что все случаи взрывов метана условно разделяются на три характерные группы, а именно:

- первая – когда после взрыва метановоздушной смеси вторичных очагов горения метана, на участке не было;
- вторая – когда после взрыва метановоздушной смеси на выемочном участке было горение метана, которое в ходе аварийно-спасательных работ потушено активным способом;
- третья – когда после взрыва метановоздушной смеси на выемочном участке было горение метана, и выемочный участок в ходе аварийно-спасательных работ был изолирован на безопасных расстояниях.

Рассмотрим следующую аварию. 02.03.2017 года в вентиляционной выработке выемочного участка № 133 пласта n_7^H шахты «Степова» ГП «Львовуголь» произошел взрыв метановоздушной смеси. Разведкой аварийных выработок, выполненной горноспасателями, было установлено, что вторичные очаги горения после взрыва на участке отсутствовали [3].

До возникновения аварии выемочный участок № 133 пласта n_7^H (рис.2) проветривался с использованием схемы 1М-3-г-вт, расчетное метановыделение участка составляло $9,18 \text{ м}^3/\text{мин}$, в том числе из очистного забоя – $0,88 \text{ м}^3/\text{мин}$, из выработанного пространства – $8,3 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для управления метановыделением на выемочном участке применялась комплексная дегазация, при этом количество метана, отводимое за пределы участка по дегазационному трубопроводу составляло $2,18 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, отводимое за пределы участка по газопроводу ВМЦГ-7М составляло $5,25 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, разбавляемое воздухом, составляло $1,75 \text{ м}^3/\text{мин}$. На выемочный участок до возникновения аварии при расчетном количестве $473 \text{ м}^3/\text{мин}$ подавалось $506 \text{ м}^3/\text{мин}$ свежего воздуха.



Рис. 2 - Выкопировка плана горных выработок по пласту n_7^H шахты «Степова» ГП «Львовуголь»

На рисунке 3 приведен расчет падения метана на выемочном участке №133 пласта n_7^H с течением времени после возникновения аварии, выполненный с использованием зависимости (1), в соответствии с которым общее метановыделение выемочного участка после возникновения аварии должно было снижаться с течением времени от фактической величины до возникновения аварии равной $8,9 - 9,12 \text{ м}^3/\text{мин}$ и, например, на 10 сутки после взрыва метановоздушной смеси составлять $2,48 \text{ м}^3/\text{мин}$.

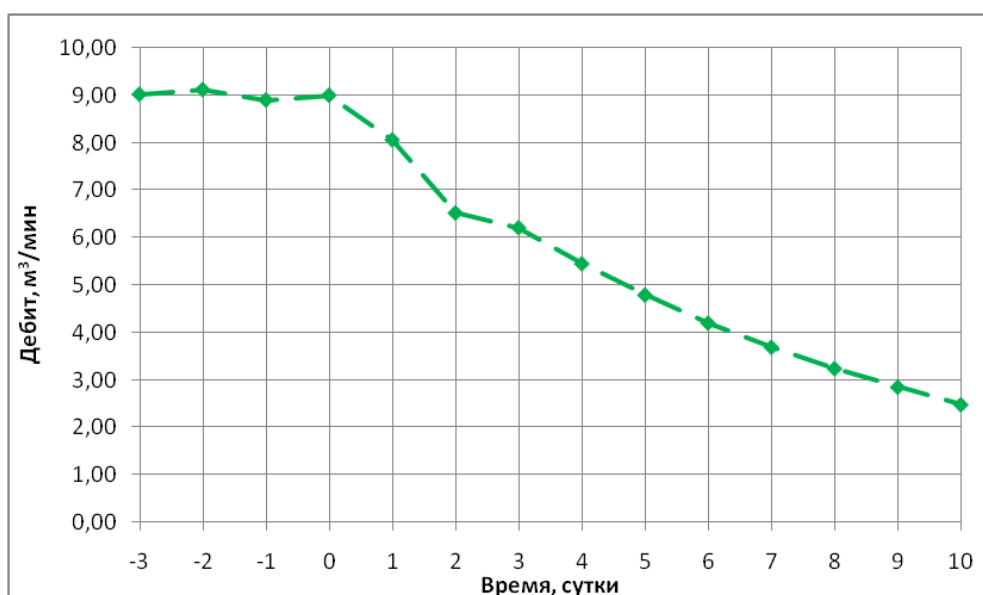


Рис. 3 - График расчетного падения метановыделения на выемочном участке № 133 пласта n7^н после возникновения аварии

В соответствии с результатами практического определения общего метановыделения выемочного участка № 133 пласта n7^н после аварии (табл. 1) непосредственно после взрыва общее метановыделение участка возросло до 35,4 м³/мин, т.е. в 3,8 – 3,9 раза по сравнению с метановыделением до возникновения аварии. В дальнейшем наблюдалось падение метановыделения, которое на 10 сутки после возникновения аварии составило 7,14 м³/мин, что в 2,8 раза больше расчетной величины, которая определена с помощью зависимости (1).

Таблица 1 - Фактическое изменение метановыделения выемочного участка № 133 пласта n7^н после взрыва метановоздушной смеси

t, сутки	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I _{уч.} , м ³ /мин	9,02	9,12	8,9	9,0	35,4	29,3	15,0	14,2	14,1	10,3	7,8	8,22	7,6	7,14
в том числе														
I _{пров}							8,3	7,0	7,9	5,0	1,7	1,9	1,05	1,03
I _{дег}							0,9	0,9	0,7	0,46	0,56	0,82	0,94	0,81
I _{газ}							5,8	6,3	5,5	4,87	5,6	5,5	5,6	5,3

Таким образом, приведенные результаты практического определения метановыделения выемочного участка № 133 пласта n7^н после взрыва метановоздушной смеси, после которого дальнейшего горения метана на участке не было, дают основания говорить о том, что после взрыва метановоздушной смеси на участке произошло резкое увеличение метановыделения с дальнейшим его падением (рис. 4).

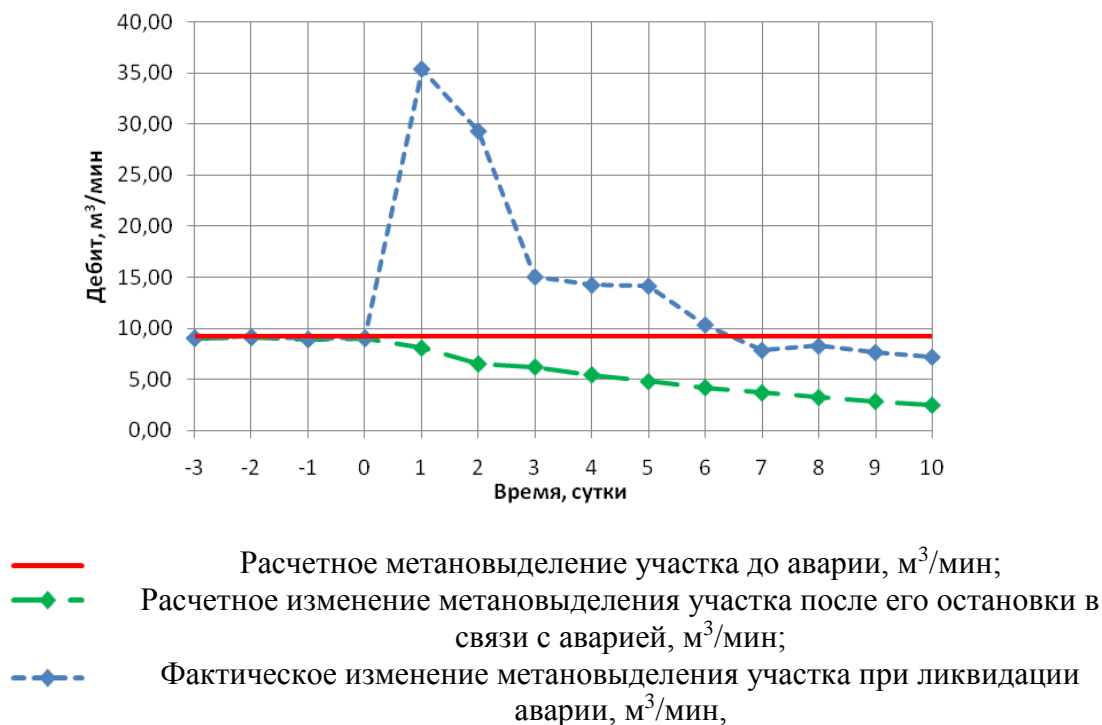


Рис. 4 - Совмещенные графики изменения метановыделения на выемочном участке № 133 пласта n7^н

Результаты выполненных исследований подтверждают, что применяемый расчетный способ определения метановыделения выемочного участка после взрыва метановоздушной смеси (1) не учитывает этой особенности, в связи с чем, в результате расчета значения метановыделения участка с течением времени после возникновения аварии занижены.

Для достоверности полученного нами вывода рассмотрим еще одну шахту. 24.09.2016 года в вентиляционной выработке 1 южной «бис» лавы пласта d_4 центральной панели блока 8 ПАО «Шахтоуправление «Покровское» произошел взрыв метановоздушной смеси. Разведкой аварийных выработок, выполненной горноспасателями, было установлено, что после взрыва в выработанном пространстве горит метан.

До возникновения аварии выемочный участок 1 южной «бис» лавы пласта d_4 (рис.5) проветривался с использованием схемы 1М-Н-в-вт, расчетное метановыделение участка составляло $15,57 \text{ м}^3/\text{мин}$, в том числе из очистного забоя – $2,53 \text{ м}^3/\text{мин}$, из выработанного пространства – $13,04 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для управления метановыделением на выемочном участке применялась комплексная дегазация, при этом, количество метана, отводимое за пределы участка по дегазационному трубопроводу составляло $5,6 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, отводимое за пределы участка по газопроводу ВМЦГ-7М составляло $3,04 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, разбавляемое воздухом, составляло $6,25 \text{ м}^3/\text{мин}$.

На выемочный участок до возникновения аварии при расчетном количестве $1400 \text{ м}^3/\text{мин}$ подавалось $1474 \text{ м}^3/\text{мин}$ свежего воздуха.

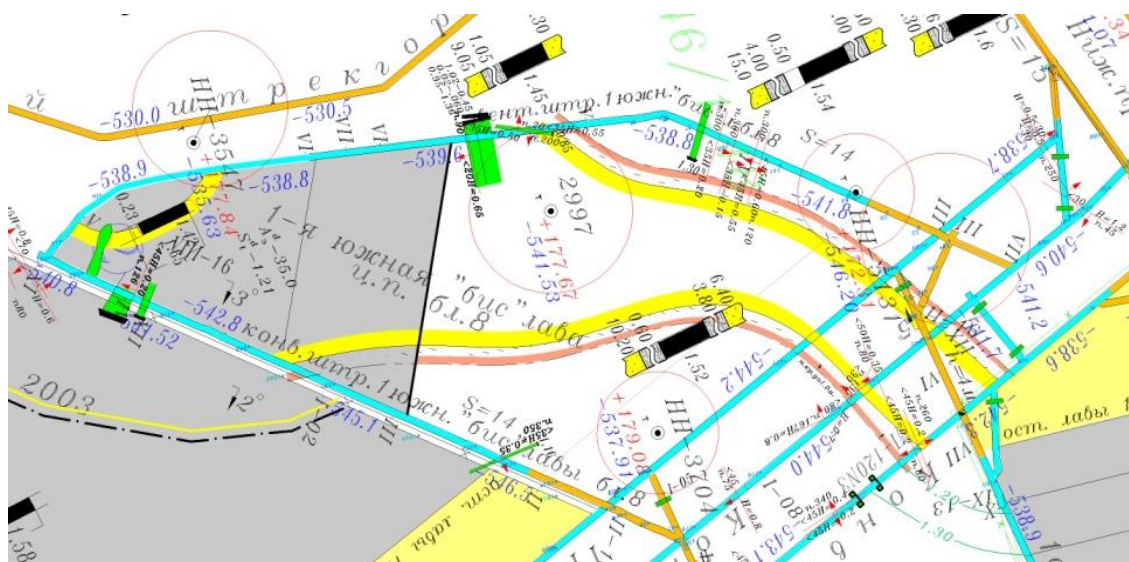


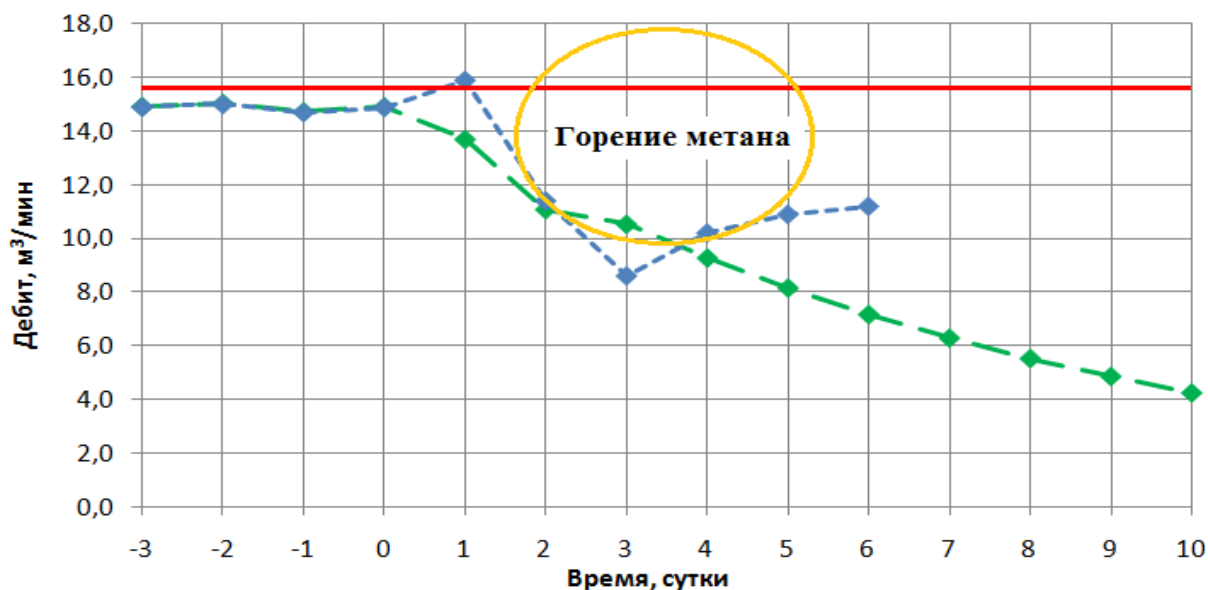
Рисунок 5 - Выкопировка плана горных выработок по пласту d_4 ПАО «Шахтоуправление «Покровское»

В соответствии с результатами практического определения общего метановыделения выемочного участка 1 южной «бис» лавы пласта d_4 непосредственно после взрыва метановоздушной смеси (табл. 2) общее количество метана, отводимое за пределы выемочного участка составило $15,9 \text{ м}^3/\text{мин}$, т.е. в 1,06 раза больше по сравнению с метановыделением до возникновения аварии. При этом, метан в количестве, которое не учитывалось, горел в выработанном пространстве.

Таким образом, приведенные результаты практического определения метановыделения выемочного участка 1 южной «бис» лавы пласта d_4 после взрыва метановоздушной смеси, в результате которого произошло вторичное горение метана в выработанном пространстве, потушенное в течении шести суток активным способом, дают основания говорить о том, что после взрыва метановоздушной смеси на участке также произошло увеличение метановыделения (рис. 6).

Таблица 2 - Изменение фактического метановыделения выемочного участка 1 южной «бис» лавы пласта d_4 после взрыва метановоздушной смеси

t, сутки	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
$I_{\text{уч.}}, \text{м}^3/\text{мин}$	14,9	15,01	14,7	14,89	15,9	11,4	8,6	10,2	10,9	11,2
в том числе										
$I_{\text{пров}}$					12,5	10,4	2,5	2,6	2,6	2,6
$I_{\text{дег}}$					0,5	0,3	5,3	6,9	7,6	7,9
$I_{\text{газ}}$					2,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7



- Расчетное метановыделение участка до аварии, $\text{м}^3/\text{мин}$
- ♦— Расчетное изменение метановыделения участка после его остановки в связи с аварией, $\text{м}^3/\text{мин}$
- ♦— Фактическое изменение метановыделения участка при ликвидации аварии, $\text{м}^3/\text{мин}$

Рисунок 6 - Совмещенные графики изменения метановыделения на выемочном участке 1 южной «бис» лавы пласта d_4 центральной панели блока 8 ПАО «Шахтоуправление «Покровское»

При этом, после выполнения работ по ликвидации горения метана, фактическое метановыделение выемочного участка превышало в 1,57 раза расчетную величину, которая была определена для этих условий с помощью зависимости (1).

Следующая рассмотренная нами авария, в виде взрыва метановоздушной, смеси произошла 25.08.2016 года в вентиляционной выработке 7 южной «бис» лавы пласта d_4 блока 10 ПАО «Шахтоуправление «Покровское». Разведкой аварийных выработок, выполненной горноспасателями, было установлено, что в выработанном пространстве после взрыва горит метан.

До возникновения аварии выемочный участок 7 южной «бис» лавы пласта d_4 (рис.7) проветривался с использованием схемы 1М-Н-в-вт, расчетное метановыделение участка составляло $14,65 \text{ м}^3/\text{мин}$, в том числе из очистного забоя – $2,21 \text{ м}^3/\text{мин}$, из выработанного пространства – $12,44 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для управления метановыделением на выемочном участке применялась комплексная дегазация, при этом количество метана, отводимое за пределы участка по дегазационному трубопроводу составляло $4,2 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, отводимое за пределы участка по газопроводу ВМЦГ-7М составляло $2,88 \text{ м}^3/\text{мин}$, количество метана, разбавляемое воздухом,

составляло 8,48 м³/мин. На выемочный участок до возникновения аварии при расчетном количестве 1280 м³/мин подавалось 1440 м³/мин свежего воздуха.

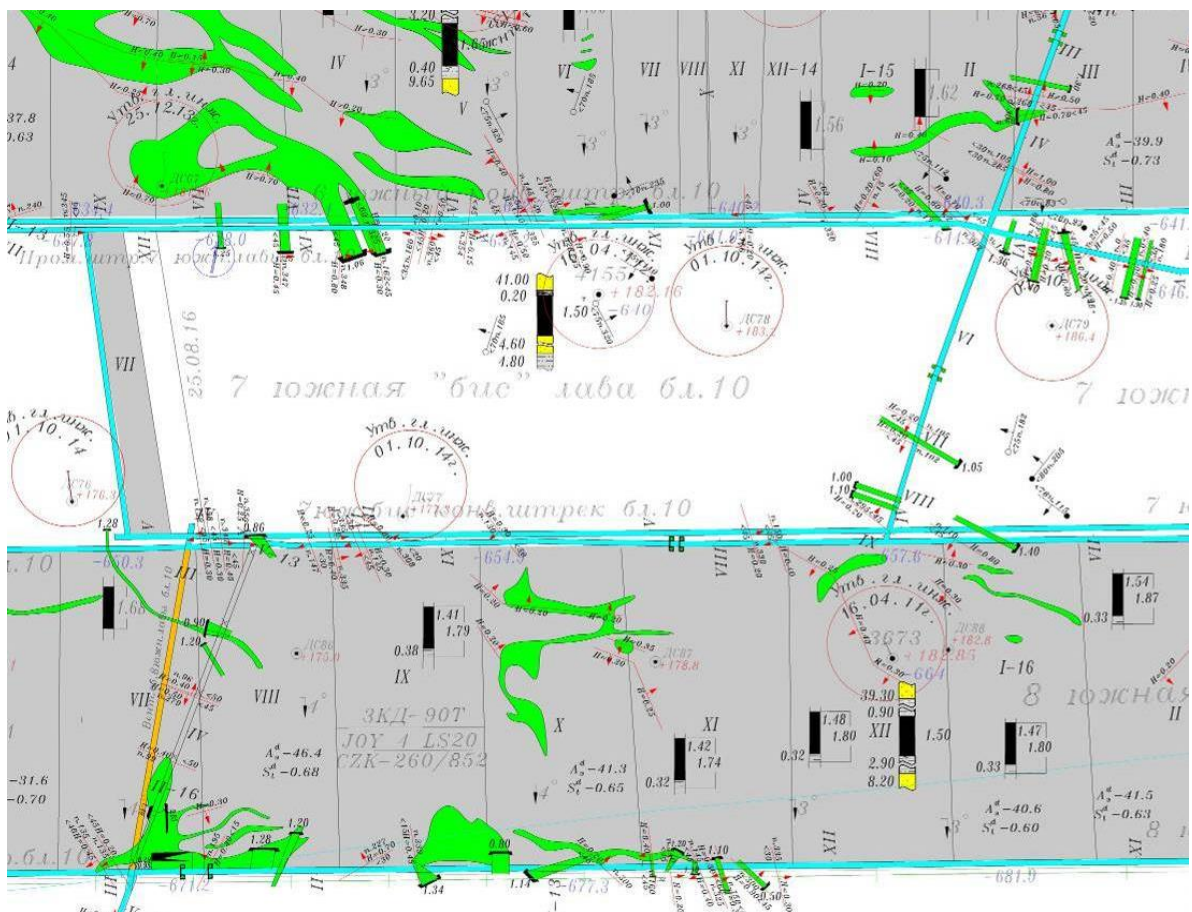


Рисунок 7 - Выкопировка плана горных выработок по пласту d4 ПАО «Шахтоуправление «Покровское»

В соответствии с результатами практического определения общего метановыделения выемочного участка 7 южной «бис» лавы пласта d4 непосредственно после взрыва метановоздушной смеси (таблица 3) общее количество метана, отводимое за пределы участка составило 24,0 м³/мин, т.е. в 1,6 раза больше по сравнению с метановыделением до возникновения аварии без учета количества сгораемого метана.

Таблица 3. - Изменение фактического метановыделения выемочного участка 7 южной «бис» лавы пласта d4 после взрыва метановоздушной смеси

t, сутки	-3	-2	-1	0	1	2	3
I _{уч.} , м ³ /мин	14,65	14,3	14,9	14,6	24	20,4	17,5
в том числе							
I _{пров}					12,7	12,9	15,0
I _{дег}					1,4	0,5	0,2
I _{газ}					9,9	7,0	2,3

В течении 3 суток после возникновения аварии из – за серии повторных взрывов выемочный участок был изолирован взрывоустойчивыми перемычками на безопасных расстояниях. В период изоляции горение метана ликвидировано не было. Поэтому с учетом горения метана фактическое метановыделение участка было выше замеренных величин.

Таким образом, приведенные результаты практического определения метановыделения

выемочного участка 7 южной «бис» лавы пласта d_4 после взрыва метановоздушной смеси с последующим вторичным горением метана в выработанном пространстве, не потушенным до изоляции участка, также показывают, что после взрыва метановоздушной смеси на участке произошло увеличение метановыделения (рис. 8).

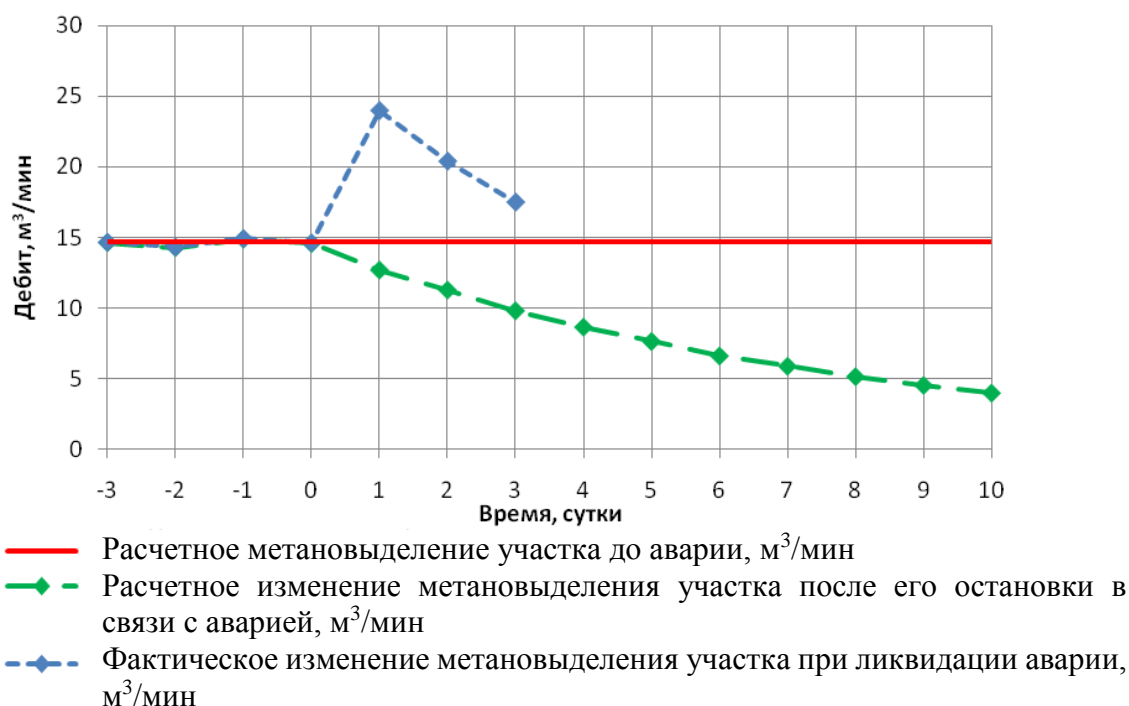


Рисунок 8 - Совмещенные графики изменения метановыделения на выемочном участке 7 южной «бис» лавы пласта d_4 блока 10 ПАО «Шахтоуправление «Покровское»

Таким образом, рассмотренные выше примеры фактического метановыделения выемочных участков после взрывов метановоздушной смеси в угольных шахтах дают основание сделать следующее заключение. Расчетные величины метановыделения на выемочных участках, как правило, определяются с использованием приведенной ранее зависимости (1). Однако после взрывов метановоздушной смеси фактическое метановыделение выемочных участков увеличивается по сравнению с фактическим метановыделением до аварии и превышает расчетную величину. Наиболее вероятной причиной увеличения метановыделения является воздействие на выработанное пространство и на угольный пласт давления взрывной волны. А существующий расчетный способ определения метановыделения выемочного участка после взрыва метановоздушной смеси, применяемый в последнее время, не предусматривает учета этой особенности.

Поэтому, как следствие, порядок действий персонала предприятий и горноспасателей для предупреждения повторных взрывов метановоздушной смеси, предусмотренный действующими нормативными документами, с целью обеспечения в этих условиях безопасного выхода подземных работников с аварийного участка и безопасности выполнения горноспасателями аварийно-спасательных работ, нуждается в соответствующих корректировках и изменениях на основании дополнительно проведенных исследований.

Выводы:

1. После произошедших взрывов метановоздушной смеси фактическое метановыделение на выемочных участках импульсно увеличивается по сравнению с фактическим метановыделением до аварии и превышает расчетную величину.

2. Наиболее вероятной причиной увеличения метановыделения является динамическое воздействие на выработанное пространство и на угольный пласт с вмещающими его породами за счет давления взрывной волны. Существующий расчетный способ определения

метановыделения выемочного участка после взрыва метановоздушной смеси, не учитывает эту особенность.

3. Порядок действий персонала предприятий и горноспасателей для предупреждения повторных взрывов метановоздушной смеси, предусмотренный действующими нормативными документами, с целью обеспечения в этих условиях безопасного выхода подземных работников с аварийного участка и безопасности выполнения горноспасателями аварийно-спасательных работ, нуждается в соответствующих корректировках и изменениях на основании дополнительно проведенных исследований.

Список источников

1. Смоланов, С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия / С.Н. Смоланов. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. - 272 с.

2. Минеев, С.П. Расследование аварии с двумя взрывами метановоздушной смеси // С.П. Минеев, Кочерга В.Н., А.И. Дубовик, В.И. Лосев, М.А. Кишкань М.А. - Уголь Украины, 2016, №9-10. - С. 14-22.

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

4. Минеев, С.П. О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах // С.П. Минеев. - Уголь Украины, 2018, №1-2, С. 50-59.

5. Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт: ДНАОП 1.1.30–4.01–97. - Київ, 1997. 454 с.

6. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное. / П.С. Пашковский, В.К. Костенко, В.П. Заславский, А.Т. Хорольский, А.Г. Заболотный и др. – Донецк: НИИГД, 1997.- 68 с.