УДК 622.363.2;4

**С.А.ТОЛСТУНОВ**, *канд. техн. наук, доцент, (812) 218 86 33*
*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**S.A.TOLSTUNOV**, *PhD in eng. sc., associate professor, (812) 218 86 33*
*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

# ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ КРАЕВОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА НА МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЗРЫВОВ МЕТАНА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Анализ процессов напряженно-деформированного состояния краевой зоны пласта показал, что в комплексно-механизированных очистных забоях возможно появление ослабленных зон. В пределах этих зон неизбежно появление избыточного метановыделения, сопровождающегося взрывами метана и пыли.

***Ключевые слова***: метан, лава, атмосфера угольной шахты, забой механизированный, отбойка угля, горное давление.

# INFLUENCE OF A CONDITION OF A REGIONAL ZONE OF A LAYER ON THE MECHANISM OF OCCURRENCE OF EXPLOSIONS OF METHANE ON COLLIERIES

On the basis of consideration of processes of the is intense-deformed condition of a regional zone of a layer it is established that in the in a complex- mechanized clearing faces probably occurrence of the weakened zones. Within these zones inevitably occurrence of superfluous guantity of the methane accompanied by exsplosions of gas and a dust.

***Key words***: methane, longwall face, coal mine atmocphere, mechanized face, coal breaking, rock pressure

В последние годы на шахтах Кузбасса и Донбасса произошли крупные аварии, связанные с взрывами метана, которые сопровождались многочисленными людскими жертвами и потерей материальных ресурсов. Наиболее разрушительные по травматическому воздействию на людей взрывы метана произошли на шахтах, отрабатывающих угольные пласты лавами, оснащенными современными высокопроизводительными механизированными комплексами.

В статье В.А.Скрицкого [5] приводится анализ причин возникновения семи наиболее сильных взрывов метана на шахтах Кузбасса. Наиболее подробно рассмотрена авария на шахте «Ульяновская». Взрыв произошел в лаве 50-11«бис», разрабатывающей пласт 50 мощностью 2,2-2,7 м на глубине 220 м с относительной газообильностью пласта 9,8 м$^3$/т с.д. В заключении комиссии указывается, что основными причинами взрыва метана стали [5]:

- увеличение концентрации метана в нижней части лавы за счет изменения глубины проветривания выработанного пространства при включении шестого агрегата главной вентиляционной установки;
- формирование взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси в нижней части лавы в месте нахождения комбайна;
- неотключение от электроэнергии забойного оборудования и механизмов при превышении концентрации метана, что при повреждении комбайнового кабеля обусловило воспламенение метановоздушной смеси.

В данной работе мы не будем подвергать сомнению выводы комиссии, попытаемся лишь высказать свою точку зрения на факт попадания избыточного количества метана в призабойное пространство. Известно, что метан в лаву попадает из обнаженных поверхностей, отбитого угля, из пластов-спутников, нижележащих выемочных полей, возможен подсос метана из выработанных пространств при неудачно выбранных схемах проветривания и др. В работе [3] подробно исследованы основные факторы выделения метана в лавах. Считается, что метан из обнаженной поверхности выделяется равномерно, пропорционально площади поверхности с убыванием количества во времени.

Как известно, для возникновения взрыва метана необходимо одновременное сочетание двух факторов – наличие метановоздушной смеси во взрывоопасной концентрации и наличие источника воспламенения метановоздушной смеси. Если источники воспламенения метановоздушной смеси выявлены достаточно обосновано, то источники появления метана во всех семи случаях выявлены только предположительно.

Проведенные расчеты и сравнения в работе [5] показали, что воздуха на момент взрыва метана в лаве шахты «Ульяновская» было достаточно для проветривания, однако взрыв метана произошел. Предположение о том, что метан попал в призабойное пространство из выработанного пространства маловероятно, так как схема проветривания комбинированная с подсвежением и отводом исходящей струи на фланговый уклон. Такие схемы надежно проветривают очистные забои и выработанное пространство и одновременно преграждают путь метану, поступающему из нижележащих выемочных полей.

В связи с тем, что ни в актах комиссий, расследовавших причины произошедших в Кузбассе аварий, связанных с взрывами метана, ни в последующих статьях не упоминаются геомеханические и геотехнологические факторы возникновения причин возникших трагедий, автор решил высказать свою точку зрения на механизм возникновения этого грозного явления. По мнению автора, не учитывались те главные факторы, которые предшествовали моменту возникновению аварийной ситуации. Рассмотрение этих факторов даст возможность выработать более радикальные меры безопасности. Попытаемся рассмотреть возникшее явление на примере шахты «Ульяновская» с позиции современных представлений геомеханики и геотехнологии, в связи с тем, что для этой шахты мы имеем более подробную информацию об аварии.

После социально-экономических перемен на шахтах Кузбасса в техническом отношении произошли следующие изменения. Появилась возможность применять современные крепи и горные комбайны с более высокой энерговооруженностью. Длина лавы увеличилась с 120-150 до 250-300 м, длина выемочного столба увеличилась примерно с 800 до 2000 м, скорости подвигания лав увеличились в 4-6 раз. Ширина захвата комбайна повсеместно увеличилась с 0,62 до 0,8 м и более. Изменение этих факторов имеет только экономическое обоснование, что позволило существенно увеличить нагрузку на очистной забой, снизить эксплуатационные затраты и уменьшить себестоимость угля. Между тем ухудшилось качество проветривания как лав, так и выработанного пространства, так как сечение рабочего пространства лав и нормы по проветриванию горных выработок остались прежними.

Увеличение длины очистного забоя и скорости его подвигания произвело изменения в состоянии призабойного пространства, краевой зоны пласта и значительно повысило устойчивость почвы и кровли, что в свою очередь повысило нагрузку на призабойную часть пласта и создало условия, при которых заметно проявились в плоскости пласта зоны с повышенным выделением метана в призабойное пространство лавы, создающие аварийную ситуацию. Иными словами, через обнаженную поверхность призабойного пространства лавы стало поступать значительно больше метана, чем считалось ранее. Система вентиляции выемочного участка не была рассчитана на такой приток метана и не справилась со своей зада-

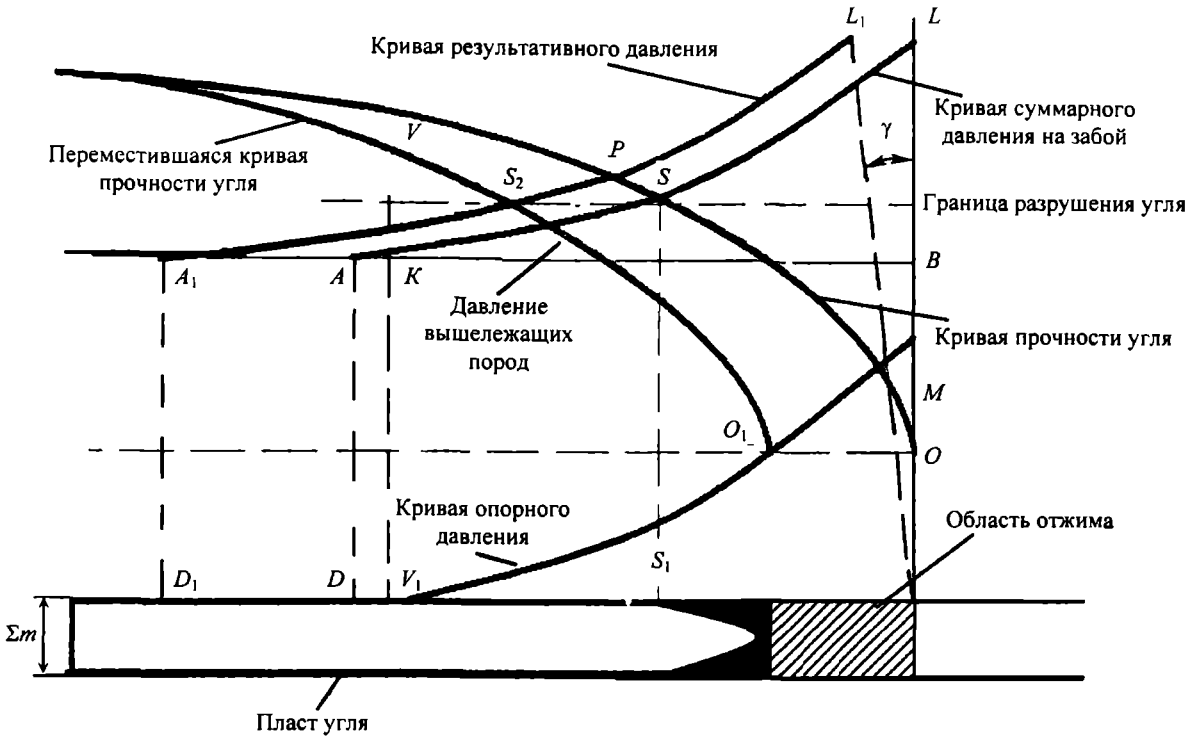



Рис.1. Характер действия сил в краевой зоне пласта впереди очистного забоя

чей. Для правильности понимания возникшей ситуации попытаемся объяснить эту гипотезу с позиций известных современных представлений в области геомеханики.

На рис.1 показаны кривые изменения состояния краевой зоны пласта впереди очистного забоя в серединной его части при наличии опорного давления лавы [6].

Анализ напряженного состояния пород кровли, почвы и пласта впереди очистного забоя показывает, что пласт и породы покрывающей толщи имеют сложное напряженное состояние. В этой области одновременно действуют силы гравитации и силы опорного давления. Под действием этих сил происходит изменение прочности угля в краевой зоне. В угле, почве и кровле появляются характерные трещины давления параллельно плоскости обнажения. При медленном подвигании очистного забоя трещины давления успевают раскрываться, а при быстром трещины давления в почве и кровле не успевают раскрыться, что приводит к перемещению кривой прочности угля с точки $O$ в точку $O_1$ в связи с его частичным разрушением. Непосредственно у свободной поверхности у груди забоя уголь разрушается полностью и образуется область отжима угля. Уголь в этой области увеличивается в объеме и движется в сторону обнаженной поверхности.

Еще при использовании широкозахватной технологии отбойки угля замечено, что уголь перемещается в сторону выработанного пространства не только в области отжима угля, но и далеко впереди очистного забоя. Такое движение В.Д.Слесарев назвал ходом угля. Это движение фиксируется в просеках, печах и других промежуточных выработках. На рис.1 начало хода угля начинается с точки $D$. По мере подвигания забоя граница зоны хода угля перемещается вглубь массива в точку $D_1$. По данным шахтных наблюдений для Кузбасса граница хода угля для пластов пологого падения средней мощности начинается с 15-25 м впереди забоя, а в ряде случаев эта зона отмечалась на расстоянии до 60 м.

На рис.2 показана схема формирования зон опорного давления в стадии установившегося движения очистного забоя. При управлении горным давлением полным об-

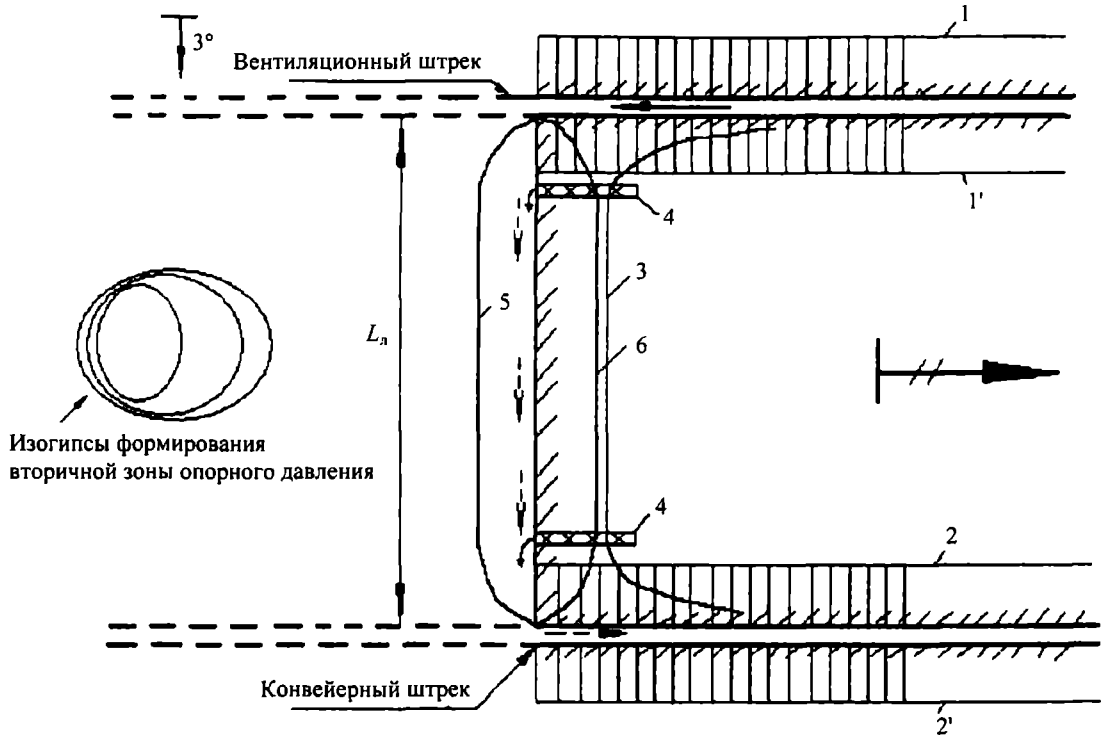



Рис.2. Схема формирования зон опорного давления при движении очистного забоя и выработок, примыкающих к очистному забою:

1-1' – граница зоны опорного давления от вентиляционного штрека; 2-2' – граница зоны опорного давления от конвейерного штрека; 3 – область суммарного действия опорного давления от лавы и штреков; 4 – опорное давление от лавы; 5 – эквивалентный пролет лавы; 6 – зона ослабленных пород, являющаяся дополнительным источником метана; $L_л$ – пролет лавы

рушением непосредственной кровли в выработанном пространстве формируется вторичная зона опорного давления. Наличие выработок, примыкающих к очистному забою, создает дополнительное поле опорных напряжений впереди лавы. Совместное действие этих полей создает условия для интенсивного разрушения угля. По мере приближения к сопряжениям лавы эквивалентный пролет по В.Д.Слесареву уменьшается (рис.2), что в свою очередь создает условия для уменьшения степени раскрытия трещин в почве и кровле. При этом появляется некоторая область впереди лавы, уголь в которой имеет разное направление движения в сторону свободной поверхности. На рис.2 эта область находится за границей опорного давления штрека и обозначена цифрой 4. В связи с тем, что выработок две, то и зон таких две.

Опорное давление вокруг штреков является стационарным, оно препятствует движению угля в направлении обнаженной поверхности лавы. Некоторое движение угля происходит также в направлении штреков. Таким образом, из-за разных скоростей движения угля (хода угля) формируются две зоны, в пределах которых уголь подвергается сложным деформациям и происходит отрыв угля по плоскости напластования от почвы и кровли. Между кровлей и пластом угля образуется узкая щель шириной 3-5 м с раскрытием 2-3 см. Глубина распространения этой щели вглубь массива теоретически близка к глубине распространению зоны опорного давления впереди лавы. Из-за разницы в скоростях и направлениях движений в этих зонах уголь разворачивается в вертикальной плоскости и создает условия для выделения дополнительной порции метана в призабойное пространство. На рис.3 место расположения этих зон обозначено цифрой 4.

Таким образом, эти две зоны наиболее ослабленного угля непрерывно обновляются

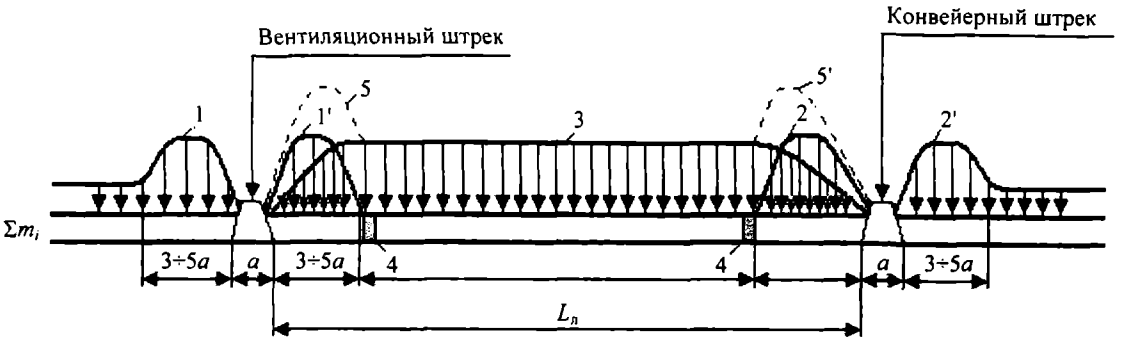



Рис.3. Схема формирования напряженного состояния горного массива впереди лавы и выработок, примыкающих к очистному забою:

1-1' – зона опорного давления от действия вентиляционного штрека; 2-2' – зона опорного давления от действия конвейерного штрека; 3 – зона опорного давления впереди лавы; 4 – зона ослабленных пород, являющаяся дополнительным источником поступления метана в лаву; 5 – суммарная эпюра напряжений в области, где имеется одновременное действие опорного давления от штрека и лавы; $L_л$ – длина лавы; $a$ – пролет штрека

при каждом новом цикле выемки угля. При этом происходит непрерывная подпитка вентиляционной струи лавы порциями метана из двух зон независимо от того, идет отбойка угля в лаве или нет. Дебит метана из этих зон характеризуется неравномерностью, связан с рабочими циклами в лаве и колебаниями депрессии воздуха в лаве. Визуально находить такие зоны сложно, так как истинная картина состояния контакта пласта и кровли всегда скрыта за зоной отжима угля. Зоны ослабленного угля существуют при любой технологии выемки угля длинными забоями. Ранее их определяли по усилию проникновения бурового снаряда при ведении работ по увлажнению угля в массиве. В современных условиях такие работы производятся крайне редко. При малых скоростях подвигания очистных забоев (до 4-5 м/сутки) эти зоны не меняли существенно общей картины метановыделения в лавах. Значительно увеличение скоростей подвигания лав существенно изменило характер газовыделения.

Если принять ширину ослабленной зоны 3 м, глубину проникновения в массив 10 м, плотность угля в массиве 1,3 т/м$^3$, то при вынимаемой мощности пласта 2,5 м и газообильности пласта 9,8 м$^3$/т с.д. в пределах зоны могло находиться более 950 м$^3$ метана. По закону Дарси через щель шириной 3 м и раскрытием 0,01 м при депрессии воздуха в лаве 190-200 Па из этой области могло ежесекундно проходить более 1 м$^3$ метана.

Возможная реконструкция возникшего взрыва метана на шахте «Ульяновская» показана на рис.4. Лава была оборудована механизированной крепью Юрмаш 16/32 с комбайном SL 300 фирмы Eikchoff. Комплекс работал в диапазоне вынимаемых мощностей от 2,2 до 2,65 м. В лаве длиной 265 м было смонтировано 153 секции крепи. Перед взрывом метана комбайн простоял 20 мин и начал двигаться вниз. За 2 мин до взрыва комбайн находился на 22-й секции крепи, начал зарубку в сторону нижнего сопряжения лавы со штреком. Корпус комбайна имеет ширину выступающей части 1,25 м без ширины шнеков (0,8 м), сверху комбайна установлен предохранительный щиток на гидродомкратах для предохранения рабочих от обрушающихся кусков угля из груди забоя. Таким образом, призабойное пространство на ширину не менее 1,25 м и вынимаемую мощность пласта 2,5 м было перекрыто корпусом комбайна.

При подходе к ослабленной зоне пространство было заполнено метаном, так как струя воздуха имела нисходящее направление и была перекрыта корпусом комбайна. Если в простейшем случае принять форму заполняемого газом пространства в виде клина и длину зоны плохо проветриваемого участка лавы равной длине комбайна примерно 8 м, то на момент

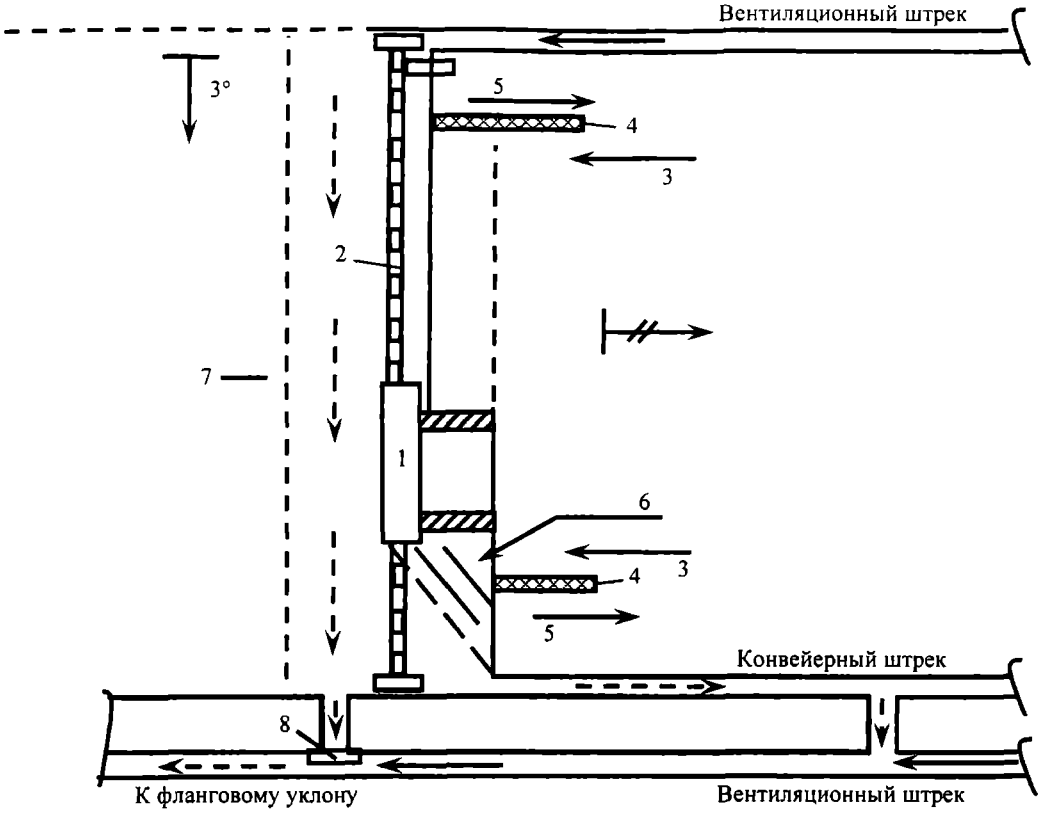



Рис.4. Схема проветривания лавы на момент возникновения взрывоопасной ситуации

1 – комбайн; 2 – конвейер; 3 – направление хода угля в сторону лавы; 4 – зона ослабленного угля; 5 – направление сил, препятствующих движению угля в сторону призабойного пространства; 6 – зона скопления метана; 7 – выработанное пространство; 8 – смесительная камера

взрыва перед комбайном находилось не менее $1/2 \cdot 1{,}25 \cdot 8 \cdot 2{,}5 = 12$ м$^3$ метана, что вполне достаточно для таких разрушений.

После инициирования взрыв распространялся на свежую струю. На пути распространения ударной волны встретилась зона выделения метана у вентиляционного штрека, что усилило эффект распространения взрывной волны. В результате взрыва были полностью разрушены все вентиляционные сооружения в пределах выемочного столба. Местные скопления метана не могут быть зафиксированы датчиками метана, так как место их установки определено на выходе исходящей струи воздуха из лавы.

Для предотвращения местных скоплений метана в длинных забоях и недопущения подобных ситуаций наиболее реальным путем улучшения проветривания очистного забоя является разделение потоков воздуха в пределах проходного для воздуха сечения лавы и управление ими. Разделение потоков воздуха в лаве можно производить как в продольном, так и поперечном направлениях. При продольном разделении воздушного потока призабойное пространство может быть отделено путем установки на секциях крепи прозрачной управляемой шторы или специальной сетки. Это позволит с помощью вентиляционных устройств увеличить скорость движения струи воздуха в призабойном пространстве и довести ее до предельно допустимой [1]. При поперечном делении рекомендуется устанавливать на каждой секции крепи трубопроводы, служащие для отсоса метана из верхней части призабойного пространства и соединения их с дегазационным трубопроводом [2]. Согласно требованиям ПБ [4] в таких трубопроводах допускается концентрация метана до 3,5 %, а скорость воздушной струи в трубопроводе не регламентируется. Трубопроводы и газо-

отсасывающие патрубки могут быть изготовлены из пластмассы, иметь гибкие соединения и располагаться в местах, где они не могли бы создавать помехи технологическим процессам.

## Выводы

1. Нагрузку на очистной забой необходимо проверять по фактору вентиляции с учетом дополнительных объемов метана, поступающего из ослабленных зон.

2. В связи со слабой изученностью данного явления необходимо иметь дополнительный резерв производительности по фактору вентиляции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2256076 РФ. Устройство для разделения воздушных потоков в шахтных вентиляционных сетях / С.А.Толстунов, С.П.Мозер. Опубл. 10.07.2005. Бюл. № 19.

2. Патент № 2258077 РФ. Устройство для разделения воздушных потоков в шахтных вентиляционных сетях / С.А.Толстунов, С.П.Мозер. Опубл. 10.08.2005. Бюл. № 22.

3. *Петросян А.Э.* Выделение метана в угольных шахтах. М.: Наука, 1975.

4. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05 618 03) / ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» М., 2005.

5. *Скрицкий В.А.* Взрывы метана на шахтах: трагедия на «Ульяновской» // Горная промышленность. 2008. № 3.

6. *Слесарев В.Д.* Механика горных пород. М.: Углетехиздат, 1947.

### REFERENCES

1. Patent of the Russian Federation N 2256076. Device for division of air streams in mine ventilating networks / S.A.Tolstunov, S.P.Mozer. Pubd.10.07.2005. Bul. N 19.

2. Patent of the Russian Federation N 2258077. Device for division of air streams in mine ventilating networks / S.A.Tolstunov, S.P.Mozer. Pubd.10.08.2005. Bul. N 22.

3. *Petrosyan A.E.* Allocation of methane in collieries. Moscow: Nauka, 1975.

4. Safety rules for collieries (ПБ 05 618 03) / State Unitary Enterprise «scientific and technological centre» Industrial safety», Moscow, 2005.

5. *Skritsky V.A.* Vzryvy of methane on mines: tragedy on «Ulyanovsk» // The Mining industry, 2008. N 3.

6. *Slesarev V.D.* Mechanics of rocks. Moscow: Ugletechizdat, 1947.