

УДК 622.831.322

Д-р техн. наук Г.А. Шевелев,
м.н.с. В.Н. Сапегин
(ИГТМ НАН Украины)

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ И ПРИЗАБОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ВЫБРОСОВ УГЛЯ, ПОРОДЫ И ГАЗА

Приведено узагальнення сучасних способів захисту ШВМ від впливу раптових викидів вугілля, породи і газу. На основі фізичного моделювання показана можливість обмеження викинутої маси за рахунок управління газовим потоком.

THE METHODS OF PROTECTION OF THE MINE VENTILATION NETWORK AND COAL-FACE EQUIPMENT FROM EFFECTING OF FLUX OF BLOWOUTS COAL, ROCK AND GAS.

In this paper modern methods of protection MVN from effecting of the sudden blowouts of coal, rock and gas are integrated. Possibility of the limitation of blowout mass by control gas blow-out flux are described on the basis of the physical modeling.

Аэродинамические параметры газового потока выбросов могут быть соизмеримы и даже превосходить по дебиту и напору соответствующие параметры вентиляторов главного проветривания [1]. Внезапно возникающие мощные источники тяги от выбросов приводят к нарушению вентиляционного режима шахты, изменению потокораспределения воздуха в вентиляционной сети, опрокидыванию свежих вентиляционных струй, загазированию окружающих выработок и, как следствие, к созданию аварийной ситуации в шахте.

Длительность протекания внезапных выбросов изменяется от нескольких секунд, до нескольких минут, дебит газового потока может достигать $1000\text{ м}^3/\text{с}$. Массовый расход разрушенного и выброшенного песчаника и угля зависит от массы выброса и изменяется от $28 \cdot 10^3$ до $156 \cdot 10^3$ кг/с [1]. Объемы выделившегося газа находятся в пределах $150\text{-}15000 \text{ м}^3$ и выше. Избыточное давление газа может достигать $(0,1\text{-}3) \cdot 10^5$ Па, скоростной напор газового потока – $0,05 \cdot 10^5$ Па. Полное давление газового потока выброса может достигать при выбросах песчаника $12,5$ гПа.

Восстановление нормального потокораспределения по направлению потоков вентиляционной сети в зависимости от мощности источника газовыделения (массы выброса) может длиться от нескольких минут до нескольких часов [1].

Процесс разгазирования аварийного участка и горных выработок в зависимости от массы выбросов и степени нарушения вентиляционного режима составляет от нескольких часов до нескольких смен.

Для того, чтобы снизить отрицательные воздействия внезапных выбросов на шахтную вентиляционную систему (ШВС) и повысить безопасность и производительность труда, следует осуществить следующие мероприятия:

- 1) уменьшить зону загазирования;

2) предотвратить опрокидывание свежих вентиляционных струй в воздухоподающих выработках;

3) предотвратить или уменьшить зону загазирования воздухоотводящих выработок;

4) снизить время разгазирования аварийного участка;

5) осуществить подачу свежего воздуха на аварийный участок.

Осуществить вышеперечисленные требования возможно в следующих случаях: а) при проведении подготовительных и капитальных выработок буровзрывным способом; б) при проведении подготовительных и капитальных выработок комбайновым способом с дистанционным управлением; в) при гидродинамическом воздействии на угольный пласт под защитой герметичной перемычки; г) в лавах при безлюдной добыче угля.

В ИГТМ НАН Украины разработан способ прогноза участков ШВС, опасных по опрокидыванию свежих вентиляционных потоков [1] в случае возникновения внезапных выбросов. Расчеты показывают, что опрокидывание вентиляционных струй происходит при дебите газового потока, на 25% превосходящего расход воздуха по выработке в нормальных условиях. При дебите метана 5-10 м³/с возможно загазирование участков воздухоподающих выработок. При дебите метана более 70-120 м³/с происходит опрокидывание свежих струй в стволах. Для каждой шахты при составлении плана ликвидации аварий осуществляется прогноз участков вентиляционной сети шахты, опасных по опрокидыванию при выбросах, разрабатываются маршруты вывода людей, застигнутых выбросом, при ведении горноспасательных работ и разработке мероприятий по управлению газовым потоком выброса.

В основу управления газовым потоком выброса с целью снижения отрицательных последствий на ШВС положено использование специальных регулируемых аэродинамических сопротивлений [1]. При помощи этих сопротивлений резко в течение небольшого времени изменяется аэродинамическое сопротивление выработки (или выработок), примыкающей к месту выброса. Ориентировочно длину зоны загазирования L можно определить по формуле:

$$L = \sqrt{\frac{\Delta P}{R}} \cdot \frac{t_0}{F_b}, \text{ м}$$

где ΔP – перепад давления в узлах сопряжения, Па; R – аэродинамическое сопротивление выработки, Па с²/м⁶; t_0 – время протекания выброса, с; F_b – площадь сечения выработки, м².

Из формулы видно, что с увеличением аэродинамического сопротивления в n – раз длина зоны загазирования уменьшается в \sqrt{n} раз.

Способ управления газовым потоком выбросов основан на локализации метана в объеме воздухоотводящих выработок путем направленного перераспределения газоздушных потоков в выработках, примыкающих непосредственно к месту выброса. Это достигается тем, что на время протекания выброса вели-

чину аэродинамического сопротивления воздухоподводящей выработки увеличивают до максимально возможного значения. Увеличение сопротивления подводящей выработки производят только в случае опрокидывания в ней вентиляционного потока и только на время опрокидывания. Так как при реализации способа производится увеличение сопротивления воздухоподводящей выработки, основная часть газа направляется в систему воздухоотводящих выработок и только незначительная ее часть попадает в воздухоподводящую выработку [1].

По окончании выброса величину аэродинамического сопротивления снижают до минимального значения, обеспечивая тем самым восстановление нормального режима проветривания.

Реализацию способа управления газовым потоком выброса можно осуществить с помощью предварительной установки в выработке, опасной по опрокидыванию, местного регулируемого аэродинамического сопротивления. В подготовительных выработках с небольшим сроком службы в условиях переменного горного давления целесообразно использование мобильных регулирующих устройств типа парашютной перемычки или надувных пневмобаллонных перемычек на колесном ходу [1]. Расход воздуха в выработках с бетонной крепью снижался при установке парашютной перемычки в среднем в 12-15 раз. При этом аэродинамическое сопротивление выработки увеличивалось в 200 раз и достигало значений порядка $40 \text{ Па с}^2/\text{м}^6$. В ходе промышленных испытаний способ и парашютная перемычка были проверены в условиях двух выбросов песчаника массой 360 т и 800 т [1]. В обоих случаях применение способа позволило избежать загазирования воздухоподающих выработок и локализовать газовый поток в объеме тупиковой и воздухоотводящих выработок. При этом подача свежего воздуха на аварийный участок не прекращалась. При массе выброса 800 т максимальное давление на перемычку составило 2,15 кПа. Время установки перемычки, непосредственно перед заряданием забоя, не превышала 3 мин. Минимальная скорость раскрытия парашютной перемычки составила 0,8 м/с при ее разложении на почве выработки и 0,4 м/с при ее закреплении в нескольких точках кровли выработки. В капитальных выработках с большим сроком службы необходимо устанавливать стационарные регулируемые аэродинамические устройства (железобетонные перемычки). Капитальные регулирующие устройства устанавливают в грузовой и порожняковой воздухоподающих выработках горизонта клетового ствола околоствольного двора в зависимости от его типа (круговой, петлевой). Конструкции защитных регулирующих устройств и места их установки в выработках показаны в работе [1].

Достоинствами их работы являются: простота конструкции, минимальное аэродинамическое сопротивление (минимальные потери депрессии) в нормальном положении и использование для работы энергии газового потока выбросов.

К недостаткам таких конструкций относятся:

- 1) опасность загазирования выработок с исходящей струей выше допустимой взрывоопасной концентрации, когда исходящая струя попадает в действующие забои и горизонты,

- 2) невозможность утилизации метана,

3) недостаточная прочность мобильной парашютной перемычки, ручная ее установка и демонтаж.

Наиболее перспективной конструкцией защитной перемычки с точки зрения разгазирования и безопасности является та, при которой регулируемое аэродинамическое сопротивление устанавливается в тупиковой части выработки перед узлом сопряжения с выработками, проветриваемыми за счет общешахтной депрессии. Газовый поток частично запирается в объеме тупиковой части выработки, через отверстие в перемычке прокладывается трубопровод, аэродинамически связывающий тупиковую часть выработки с воздухоотводящей и в конце трубопровода устанавливается сопловой насадок, с помощью которого формируется газовая струя которая направляется спутно воздушному потоку в воздухоотводящей выработке (газовый эжектор) [1], [3]. Достоинством такого регулирующего устройства является автоматическое поддержание необходимой концентрации метана в исходящей струе воздухоотводящей выработки. Чем выше дебит и напор газового потока выброса, тем сильнее проявляются эжектирующие свойства устройства, способствующие более интенсивному перемешиванию общих потоков. Такая конструкция регулирующего устройства для защиты ШВС от выбросов на шахтах Украины еще не применялась.

Известен опыт успешного применения защитных взрывоустойчивых полков при углубке стволов на шахтах Центрального района Донбасса при пересечении выбросоопасных угольных пластов в режиме сотрясательного взрывания [1]. Для исключения попадания продуктов взрыва и метана в выработки действующих горизонтов газовый поток и продукты взрыва изолированно отводятся из тупиковой заперемыченной части ствола по трубопроводу, проведенному от взрывоустойчивого полка до вентиляционного ствола.

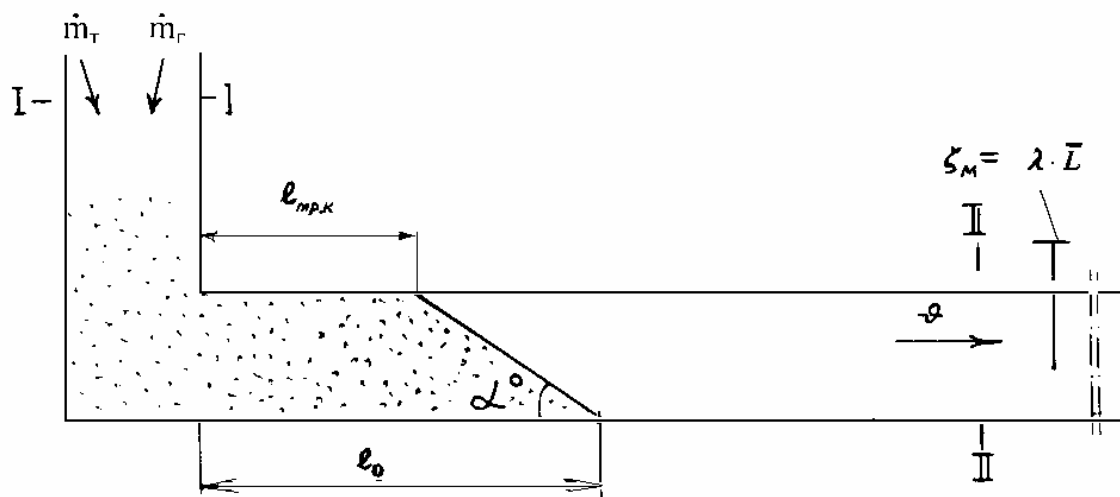
Мобильная парашютная перемычка была успешно применена в условиях шахт им. А.А. Скочинского и им. газеты «Социалистический Донбасс» ПО «Донецкуголь» [1]. Стационарная перемычка использовалась на шахте им. А.А. Скочинского и на шахте Юнком ПО «Орджоникидзеуголь». Во всех случаях опрокидывания свежей вентиляционной струи не происходило. Аэродинамическое сопротивление выработки на период протекания выбросов увеличивалось более чем в 200 раз. Диапазон измеренного статического давления при регистрируемых выбросах изменялся от 2000 Па до 10000 Па. Не смотря на то, что во всех случаях был достигнут положительный результат по управлению газовым потоком выбросов - избежать разрушения призабойной крепи и оборудования не удалось.

Во всех вышеприведенных случаях по управлению газовым потоком выбросов общим недостатком является то, что метан в большом количестве выбрасывается в окружающую атмосферу, загрязняя ее и не утилизируется. Так, например, на шахте им. Артема при вскрытии пласта «Мазурка» южным квершлагом гор. 980 м выделилось 141000 м³ газа и выброшено 4650 т угля. Загазированы были горизонты 740 м и 840 м. Время простоя шахты составило 32 часа. Проветривание загазированных длинных тупиковых выработок после крупных выбросов одними средствами вентиляции занимает длительное время. Для того,

чтобы устранить вышеотмеченные недостатки, следует в защитных устройствах устраивать отверстие, через которое прокладывать дегазационный трубопровод, соединенный с дегазационной сетью шахты. Метановый поток после автоматического срабатывания регулирующего устройства и запертый между забоем выработки и защитной перемычкой отводят по дегазационному трубопроводу в дегазационную систему шахты.. Аэродинамическое сопротивление системы, при котором осуществляется процесс выноса разрушенной горной массы в выработку при выбросах, складывается из сопротивления транспортного канала, сопротивления транспортированию твердой фазы и сопротивления ШВС [1], [4]. Наиболее эффективно уменьшать зону отброса разрушенной массы и локализовать выброс можно путем увеличения аэродинамического сопротивления ШВС за зоной отброса горной массы.

Опытами на лабораторных моделях по моделированию протекания процесса выброса доказано, что увеличением аэродинамического сопротивления выработок, при помощи местных регулирующих устройств, возможно не только предотвратить опрокидывание свежего вентиляционного потока, но и существенно ограничить массу разрушенного угля и песчаника и снизить динамическое воздействие на призабойную крепь и оборудование [4].

Физическое моделирование процесса выноса горной массы при внезапном выбросе осуществлялось на модели (рис. 1), выполненной в масштабе 1:50. Было реализовано квазистационарное моделирование. Процесс выноса твердой фазы продолжался до заштыбовки транспортного канала.



\dot{m}_m, \dot{m}_g – массовые расходы твердой и газовой фаз; l_0 – длина откоса;

$l_{мр.к}$ – длина заштыбовки; α^0 – угол откоса

Рис. 1 – Схема установки для моделирования процесса распространения двухфазного потока выброса в горной выработке

В каждом единичном эксперименте устанавливалось определенное постоянное аэродинамическое сопротивление ШВС $\xi_m = \lambda \bar{L}$ при помощи устройства, типа шибера, плавно изменяющее поперечное сечение модели выработки и рассчитываемое по формуле:

$$\xi_m = \lambda \cdot \bar{L} = \frac{2(P_{01} - P_{02})}{\rho \cdot v^2},$$

где P_{01} – полное давление на входе в канал в сечении 1-1, Па; P_{02} – полное давление на выходе из канала за зоной отброса в сечении 2-2, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; v – скорость газового потока в сечении 2-2, м/с; ξ_m – величина местного регулируемого аэродинамического сопротивления.

Величина полного давления P_{01} зависит от массы выброса. Как показывают данные шахтных замеров, с ростом массы выброса увеличивается и полное давление в газовом потоке выброса [1].

Задавая различные значения полного давления P_{01} в сечении 1-1, можно определить длину заштыбованного транспортного канала $l_{тр.к}$ и длину зоны отброса l_0 .

Во всех опытах расход твердой фазы поддерживался постоянным и составлял $16,8 \cdot 10^{-6}$ м³/с, что, соответствовало, в пересчете на натуру $16,8$ м³/с или массе выброса угля и газа 2800 т. В дальнейшем измерялась и определялась длина откоса ($l_0 - l_{тр.к}$) и изменение угла откоса выброшенной массы α .

Результаты исследований по оценке влияния аэродинамического сопротивления, как управляющего воздействия, на процесс формирования и изменения профиля выброшенной массы при внезапном выбросе представлены в табл. 1 и на рис. 2-6. На рис. 2 показаны результаты опытов по оценке влияния полного давления P_{01} на длину заштыбованного транспортного канала $l_{тр.к}$ для различных аэродинамических сопротивлений. Эти же результаты, но в виде зависимости $l_{тр.к}$ для различных значений полного давления P_{01} , показаны на рис. 3. На рис. 4 представлены зависимости длины откоса ($l_0 - l_{тр.к}$) от величины полного давления на входе в канал P_{01} . Зависимость угла откоса α от величины полного давления P_{01} и различных значений аэродинамического сопротивления показаны на рис. 5.

Из вышеприведенных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) увеличение полного давления P_{01} вызывает увеличение длины откоса;
- 2) увеличение аэродинамического сопротивления ШВС значительно уменьшает длину откоса (массу выброса);
- 3) увеличение энергии выброса (P_{01}) приводит к уменьшению угла откоса, а увеличение аэродинамического сопротивления ШВС к увеличению этого угла.

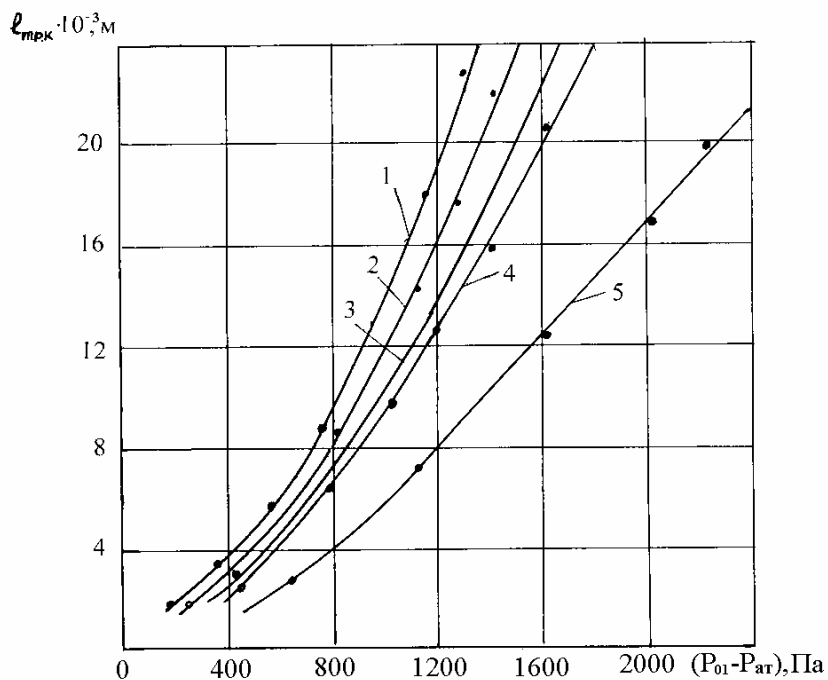
Объясняется это тем, что с ростом величины регулируемого аэродинамического сопротивления резко снижается скорость газового потока выброса несущего твердую фазу и, как следствие, уменьшается скорость полета твердой

фазы, ударяющей по призабойному оборудованию, что приводит к снижению динамических нагрузок на него.

Таблица 1 – Влияние регулируемого аэродинамического сопротивления, установленного за зоной отброса, на процесс формирования профиля выброшенной массы

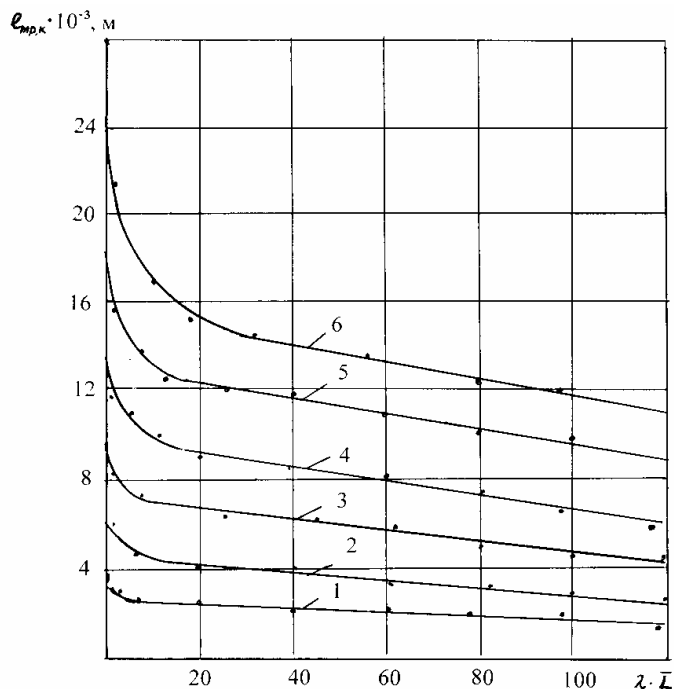
№ пп	$\lambda \cdot \bar{L}$	$(P_{01}-P_{ам}),$ Па	$(P_{02}-P_{ам}),$ Па	$\ell_{тр.к} 10^{-2},$ м	$\ell_0 10^{-2},$ м	$(\ell_0 - \ell_{тр.к}) 10^{-2},$ м	$\alpha,$ град.
1	0.26	160	120	1,5	8,0	6,5	21,0
		360	280	3,0	15,0	12,0	11,8
		560	440	5,3	20,0	14,7	9,6
		760	600	8,5	28,0	19,5	7,3
		960	760	12,0	34,0	22,0	6,5
		1160	920	18,0	40,0	22,0	6,5
2	1.08	400	184	3,0	9,0	6,0	22,6
		600	288	6,0	20,0	14,0	10,1
		800	384	9,0	25,0	16,0	8,9
		1000	480	13,0	35,0	22,0	6,5
		1200	580	16,5	37,5	21,0	6,8
		1400	672	20,7	40,0	19,3	7,4
3	5,35	400	62	2,6	8,5	5,9	23,0
		600	94	4,5	15,5	11,0	12,8
		800	126	7,2	21,5	14,3	9,9
		1000	158	10,5	25,0	14,5	9,8
		1200	192	13,5	29,5	16,0	8,9
		1460	232	19,7	35,0	15,3	9,3
4	15,7	400	23,5	2,2	8,0	5,8	23,3
		600	35,5	4,3	13,0	8,7	16,0
		800	47,5	7,0	18,0	11,0	12,8
		1200	71,5	12,5	26,5	14,0	10,1
		1400	84,0	15,7	29,0	13,3	10,6
		1600	96,0	20,5	34,0	13,5	10,5
5	122	600	5	2,5	7,0	4,5	29,0
		1000	8	6,0	12,0	6,0	22,6
		1600	13	12,5	21,5	9,0	15,5
		1800	15	15,0	22,0	7,0	19,6
		2000	16	16,5	25,0	8,5	16,4
		2200	18	30,1	27,0	6,9	19,9

Влияние регулируемого аэродинамического сопротивления на длину заштыбованной зоны транспортного канала в виде обобщенного графика представлено на рис. 6. Данная зависимость показывает, что во сколько раз уменьшится длина заштыбованного канала (масса выброса) при увеличении аэродинамического сопротивления ШВС в n раз. Анализ данной зависимости показывает, что увеличение сопротивления ШВС в 5 раз приводит к уменьшению длины транспортного канала (массы) на 20%, а стократное увеличение – на 36%. В рамках выполненных экспериментальных исследований показано, что при увеличении аэродинамического сопротивления ШВС в 500 раз длина транспортного канала, а, следовательно, и масса выброса, уменьшается более чем на 60%.



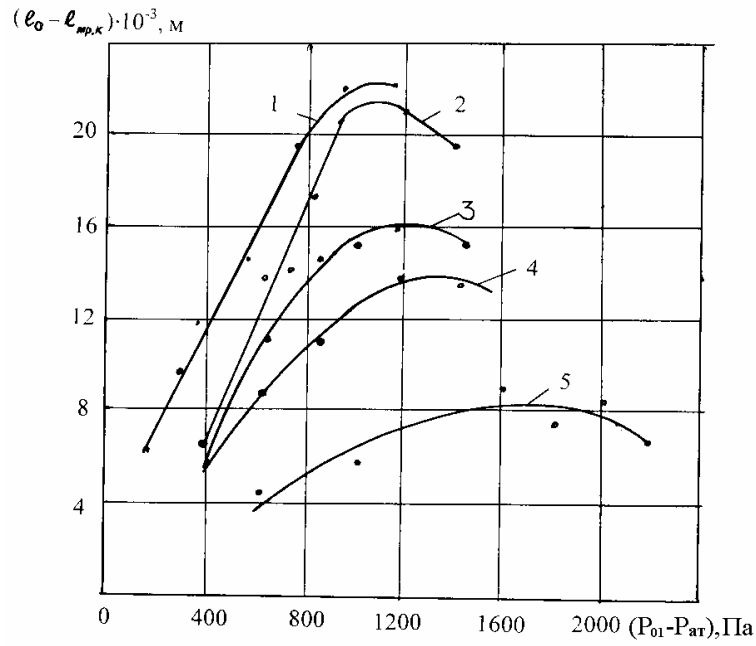
$(\lambda \cdot L)$: 1. – 0,28; 2. – 1,08; 3. – 5,3; 4. – 15,7; 5. – 122

Рис. 2 – Зависимость длины заштыбовки транспортного канала ($\ell_{\text{тр.к}}$) от величины полного давления в устье полости выброса ($P_{01} - P_{\text{ат}}$) при различных значениях регулируемого аэродинамического сопротивления ($(\lambda \cdot L)$)



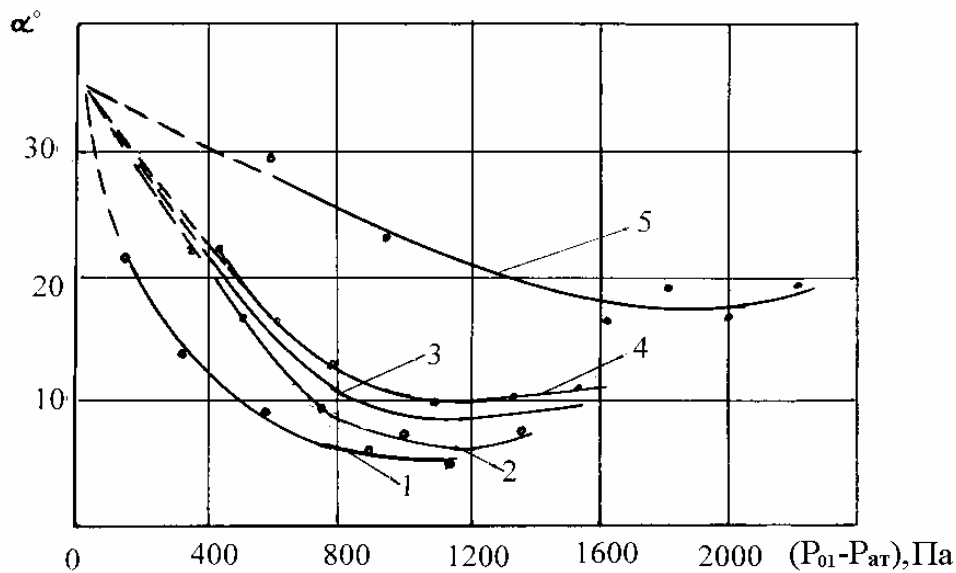
$(P_{01} - P_{\text{ат}})$: 1 – 400 Па; 2 – 600 Па; 3 – 800 Па; 4 – 1000 Па; 5 – 1200 Па; 6 – 1400 Па.

Рис. 3 – Зависимость длины заштыбовки транспортного канала ($\ell_{\text{тр.к}}$) от величины регулируемого аэродинамического сопротивления ($\lambda \cdot \bar{L}$) при различных значениях полного давления в устье выброса ($P_{01} - P_{\text{ат}}$)



$(\lambda \cdot \bar{L})$: 1 – 0,28; 2 – 1,08; 3 – 5,3; 4 – 15,7; 5 – 122

Рис. 4 – Зависимость длины откоса выброшенной массы $(l_0 - l_{mp,k})$ от величины полного давления в устье полости выброса $(P_{01} - P_{at})$ при различных значениях регулируемого аэродинамического сопротивления $(\lambda \cdot \bar{L})$



$(\lambda \cdot \bar{L})$: 1 – 0,28; 2 – 1,08; 3 – 5,3; 4 – 15,7; 5 – 122

Рис. 5 – Зависимость угла откоса выброшенной массы от величины полного давления в устье полости выброса $(P_{01} - P_{at})$ при различных значениях регулируемого аэродинамического сопротивления $(\lambda \cdot \bar{L})$

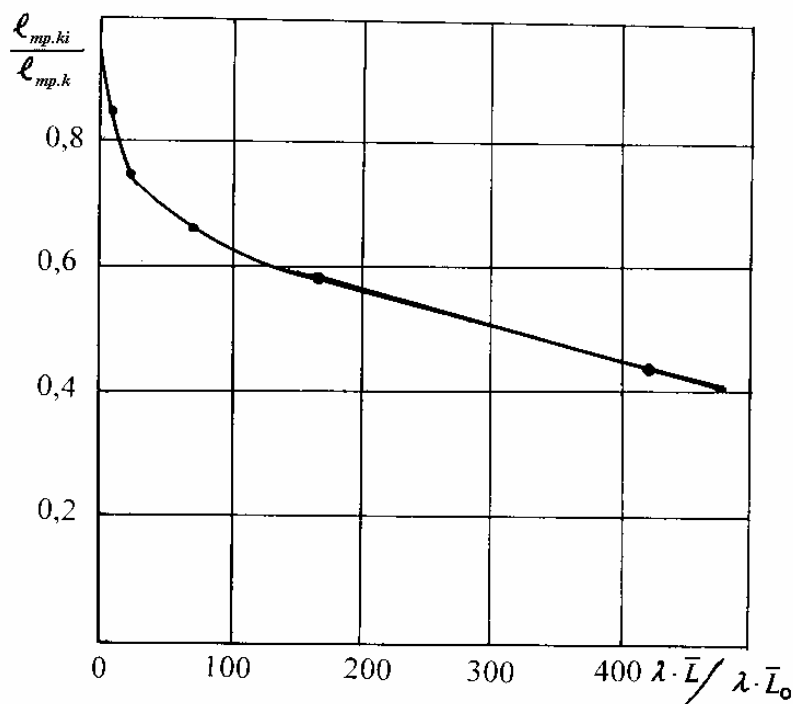


Рис. 6 – Зависимость относительного уменьшения длины заштыбовки транспортного канала ($\ell_{mp.k} / \ell_{mp.k,0}$) от относительного увеличения сопротивления регулируемого аэродинамического сопротивления ($\lambda \cdot \bar{L} / \lambda \cdot \bar{L}_0$).

Таким образом, регулируя величину аэродинамического сопротивления ШВС за зоной отброса можно уменьшать длину зоны отброса более чем в два раза и снижать динамическое воздействие на призабойную крепь. Комбинируя различными управляющими воздействиями (устройствами) можно не только предотвращать опрокидывание и загазирование воздухоподводящих выработок, но и использовать выброшенный метан, изолированный между регулирующим устройством и очагом выброса, для утилизации, производя его сброс в дегазационную систему шахты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля породы и газа. – Киев: Наукова думка, 1989. – 151 с.
2. Шевелев Г.А., Бушева В.А., Трифонова Н.В., Кесарь А.П. Статистический анализ параметров выбросов угля, породы и газа, отражающих динамику процесса // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1980. – Вып. 49. – С. 35-37.
3. А.с. № 857499 СССР, Е 21 с 1/00, 5/00. Способ защиты шахтной вентиляционной сети от воздействия газового потока выброса / Ф.А. Абрамов, Г.А. Шевелев, Б.Л. Заславский, А.П. Кесарь. – Бюл. №32, 1978.
4. Экспериментальные исследования процесса оседания твердой фазы в горной выработке при выбросах / Ф.А. Абрамов, Г.А. Шевелев, Б.Л. Заславский, А.П. Кесарь, В.Н. Сапегин. // Управление вентиляцией и газодинамическими явлениями в шахтах. – Новосибирск: СО АН СССР, 1983. – С. 49-53.