

А.В. Боровский, Б.В. Бокий, Т.В. Бунько,
И.Е. Кокоулин, Н.В. Безкровный

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
С ЦЕЛЬЮ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ПРЕДЕЛАХ
ДОБЫЧНОГО УЧАСТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА
УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА**

Охарактеризовано методику та проведення газоповітряних зйомок на декількох газонасичених виймальних ділянках шахти ім. О.Ф. Засядька. На основі обробки отриманих експериментальних даних зроблено висновки про те, що комбінована схема провітрювання придатна для накопичення та послідуочого відводу з виробленого простору газоповітряної суміші з високим вмістом метану, що дає підставу для розробки технологічного рішення утилізації метану вугільних шахт.

**THE INVESTIGATION OF AIR-GAS DYNAMICAL PROCESSES FOR
THE AIM CONTROL OF AIR-DISTRIBUTION IN THE BOUNDS
OF EXTRACT DISTRICT AND PERFECTION PROCESS UTILISATION
OF THE MINE METHANE**

The method and execution of gas-air surveys on the several gas-saturation extract districts of mine named by A.F. Zaszjadko was characterized. On the foundation of the processing receipting experimental data conclusion about suitable of combination scheme airing for accumulation and subsequent removal from making space of gas-air mixture with high maintenance of methane was made. This gives the base for exploitation technological decision of the utilization methane of coal mines.

Воздухораспределение в пределах добычного участка определяется целым рядом горно-геологических и горнотехнических факторов. Отработка выемочного столба сопровождается дополнительным, по отношению в природному, выделением метана в горные выработки, что обуславливает необходимость изменения количества подаваемого на выемочный участок воздуха, а в ряде случаев – и изменения схемы его проветривания [1, 2].

С другой стороны, в последнее время изменяется отношение к шахтному метану, как исключительно вредной примеси к шахтному воздуху, подлежащей немедленному удалению. Метан является ценным альтернативным видом топлива, поэтому утилизация его представляет не только снижение экологического вреда, но и получение дополнительного энергоносителя как для нужд шахты, так и для региона в целом.

Поэтому интерес представляет комплексное исследование аэрогазодинамических процессов, происходящих в пределах выемочного участка. Одним из важных аспектов такого исследования является проведение натуральных экспериментов.

В течение 2003 года на высокопроизводительных выемочных участках шахты им. А.Ф. Засядько проведены газоздушные съемки и сделан анализ изменения их газообильности в зависимости от применяемых схем проветривания и способов дегазации. К анализу привлечены также результаты наблюдений по некоторым ранее отработанным участкам; они сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Экспериментально апробированные схемы проветривания и способы дегазации

Схемы проветривания и применяемые средства дегазации	Добычные участки								
	по пл. I ₁				по пласту m ₃				
	9 зап.	10 зап.	11 зап.	12 вост.	14 зап.	15 зап.	16 зап.	15 вост.	16 вост.
1-М-Н-в-вт+ГО									+
1-М-Н-в-вт+ВНС					+	+		+	
1-М-Н-в-вт+ВНС+ГО					+	+	+		
2-В-Н-в-пт+ВНС		+							
2-В-Н-в-пт+ВНС	+		+		+	+		+	
1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО	+			+					+
1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО					+	+		+	
1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО			+					+	

Характерным для экспериментов является то, что смена схем проветривания производилась в период отработки одного и того же выемочного столба после соответствующей целенаправленной подготовки вентиляционной сети участка. Оценка эффективности применения этих схем определялась по величине газообильности выемочного участка и содержанию метана в исходящей струе участка. При этом учитывался расход воздуха, подаваемый на участок, нагрузка на очистной забой, эффективность вакуум-насосной системы (ВНС) и газоотвода (ГО).

Анализ полученных результатов показал, что практически на всех высокопроизводительных газообильных добычных участках применяются схемы проветривания с подсвежением 2-В-Н-в-пт или комбинированные схемы 1-К-Н-в-вт, которые обеспечивают обособленное разжижение газовыделений из очистной выработки и выработанного пространства. Эти схемы значительно повышают возможности самой вентиляции, а совместное с ними использование средств дегазации способствует успешному преодолению газового фактора при высоких нагрузках на забой (табл. 2).

Подготовка схем проветривания с обособленным разбавлением и удалением газа по источникам его поступления требует дополнительных затрат, связанных с проведением вспомогательных выработок (воздухоподающая и воздухоотводящая) на фланге шахтного поля или вентиляционных ходков через выработанное пространство ранее отработанного столба. При этом погашения оставляемых вентиляционных выработок, как такового, не производится. Такая предварительная целенаправленная подготовка сети выработок обеспечивает необходимые условия для осуществления экспериментального маневрирования вентиляционными струями. Нисходящее проветривание и изменение направления движения отбитого угля в данной работе не рассматривается.

Переход от одной схемы к другой производится с целью перераспределения выделяющегося метана в пределах добычного участка. Технологический процесс выемки при этом оставался совершенно независимым, а нагрузка на забой высокой.

Таблица 2 – Схемы проветривания и способы дегазации, применяемые на добычных участках шахты им. А.Ф. Засядько

Добычной участок, лава	Схема проветривания и способы дегазации	Нагрузка на забой А, т/сут	Дебит газа, м ³ /мин			Концентрация газа в исходящей струе, %
			с участка, Q _{уч} , м ³ /мин	из выработ. пр., Q _{вп} , м ³ /мин	дегазац. скваж., Q _{скв} , м ³ /мин	
9 зап.	2-В-Н-в-пт+ВНС	3000-4000	83,3	35,0	8,1-8,9	0,9-1,0
то же	1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО	4000-4500	то же	67,0	то же	0,6-0,8
10 зап.	2-В-Н-в-пт+ВНС	3500-4300	81,3	41,8	-	0,5-0,8
11 вост.	2-В-Н-в-пт+ВНС	3000-3500	62,5	28,2	5,9-6,7	1,0-1,1
то же	1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО	то же	то же	43,8	9,8-15,6	0,6-0,7
12 вост.		3500-4000	66,3-75,9	35,7-45,0	23,5	0,5
то же	2-В-Н-в-пт+ВНС	3300-3700	то же	24,5	20,5	0,7-0,9
14 зап.	1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО	то же	78,0	57,3	14,4-20,9	то же
15 зап.	то же	3000-3200	103,0	81,8	13,9-18,5	0,9-1,1
15 вост.	то же	то же	110,0	88,0	15,7-20,2	то же
16 вост.	1-М-Н-в-вт+ВНС	2200-2500	69,9	48,1	21,8	то же
то же	1-К-Н-в-вт+ВНС+ГО	2500-2700	79,6	67,8	12,8	0,9-1,0

На газообильность участка оказывали влияние только изменения, которые происходили в самом аэродинамическом процессе, т.е. в результате изменения аэродинамических параметров, характерных для данной схемы проветривания.

Величина этих аэродинамических параметров рассматривалась во взаимосвязи с газообильностью добычного участка – основного показателя уровня техники безопасности и нагрузки на забой.

В качестве объекта для исследований выбран добычный участок 10-й западной лавы. Отрабатываемый пласт l_1 "Семеновский" мощностью 1,6÷2,5 м имеет природную газоносность 22÷24 м³/т с.б.м., опасен по внезапным выбросам угля и газа. Применяется столбовая система отработки по простиранию. Длина столба 2200 м, очистной выработки – 250 м. В начальный период работы добычного участка проветривается по схеме 2-В-Н-в-пт. Свежий воздух подается по вентиляционному и конвейерному штрекам. В отработанной части столба эти выработки, поддерживаемые (кроме крепи из спецпрофиля) охранными полосами из блоков БЖБТ, постепенно разрушаются под действием сил гравитации. Исходящая участка отводится по оставленному вентиляционному штреку в отработанной части столба в специально пройденную для этого выработку на фланге шахтного поля. На участок подается 2000÷2500 м³/мин воздуха. Среднесу-

точная нагрузка на очистной забой 3300 т. Газообильность участка 80÷90 м³/мин.

Для решения поставленных задач использованы материалы газовой и депрессионных съемок, выполненных в различные периоды отработки столба, в том числе, после смены схемы 2-В-Н-в-пт на комбинированную 1-К-Н-в-вт [3].

Исследование воздухораспределения и газораспределения в выработках добычного участка, в том числе в выработанном пространстве, является составной частью решения задачи об управлении массообменными процессами в замкнутых системах.

На первом этапе исследований, который производился до посадки основной кровли (очистной забой на расстоянии 110 м от разрезной печи), утечки из очистной выработки и конвейерного штрека (рис. 1) распределились равномерно и достигали 100 м³/мин на 40 м их длины (40 м – шаг измерения депрессии микроманометром). В то же время равномерно распределенные притечки газовой смеси в погашаемую часть вентиляционного штрека достигали 400 м³/мин на тот же шаг измерений, длина которого определялась техническими условиями.

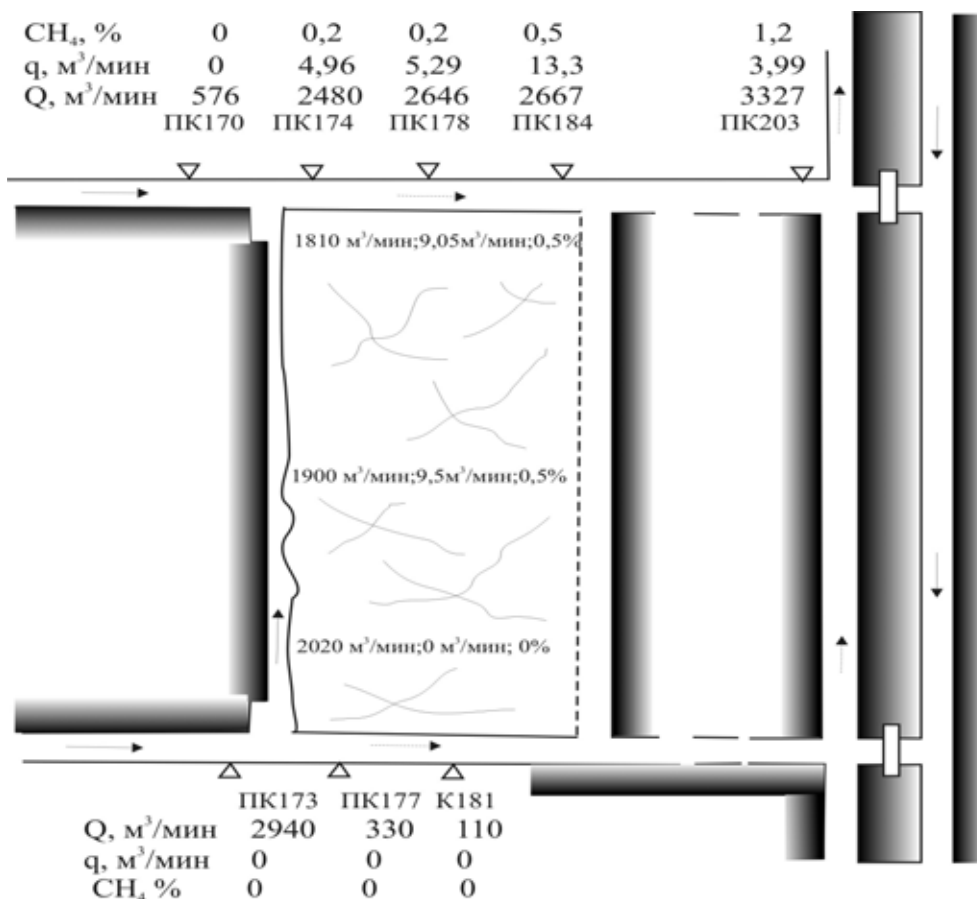


Рис. 1 – Результаты газовой и депрессионной съемки на добычном участке 10-й западной лавы, пл. L₁ (15.04.03)

В этот период работы добычного участка происходило интенсивное проветривание оставляемых позади лавы выработок и выработанного пространства. Этому способствовала применяемая схема проветривания 2-В-Н-в-пт, удовлетворительное состояние оконтуривающих выработок в отработанной части столба (еще не было посадки основной кровли), а также неподготовленность к работе вентиляционных регулирующих устройств. Поэтому утечки из очистной выработки в выработанное пространство представляли собой равномерно сосредоточенное движение газоздушных масс к сопряжению погашаемой части вентиляционного штрека с воздухоотводящей выработкой на фланге шахтного поля. Расход свежего воздуха, подаваемого по конвейерному штреку, составлял $2940 \text{ м}^3/\text{мин}$, а расход подсвежающей струи – $570 \text{ м}^3/\text{мин}$. Газообильность участка на этот период составляла $39,9 \text{ м}^3/\text{мин}$ при нагрузке на забой 3660 т/сут .

На втором этапе исследований аэрогазодинамики добычного участка (рис. 2) очистной забой находился от разрезной печи на расстоянии 230 м . Теперь, после проявления горного давления, посадки основной кровли и деформации вмещающих пород резко снизилась пропускная способность погашаемых выработок. Поперечное сечение погашаемого вентиляционного штрека уменьшилось с $4,5$ до $3,8 \text{ м}^2$, а конвейерного – до $5 \div 4 \text{ м}$.

В соответствии с этим, притечки на вентиляционный в среднем снизились до $90 \text{ м}^3/\text{мин}$, а ближе к разрезной печи – до $40 \text{ м}^3/\text{мин}$ на шаг измерений. В период измерений нагрузка на очистной забой составляла 4300 т/сут , а газообильность участка $74 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Во время проведения третьего этапа измерений - газоздушная и депрессионная съемки (рис. 3) – отработанная часть выемочного столба достигла 470 м . В результате произошедшей деформации вмещающих пород на отдельных участках погашаемой части вентиляционного штрека поперечное сечение уменьшилось до $2,9-2,6 \text{ м}^2$.

Из этого вытекает, что аэродинамическое сопротивление погашаемой части штрека стремится к постоянному росту (рис. 4), а пропускная его способность, наоборот, - к снижению. Поэтому в ближайшей перспективе воздухоотводящая выработка в схеме проветривания 2-В-Н-в-пт не сможет пропустить требуемое количество воздуха по газовому фактору. Последнее ведет к необходимости более раннего ввода в работу средств дегазации выработанного пространства или же замены действующей схемы проветривания 2-В-Н-в-пт на схему 1-К-Н-в-вт.

В период проведения этих исследований на участке 10-й западной лавы введена в работу подземная ВНС для дегазации выработанного пространства. Это позволило при нагрузке на забой 4000 т/сут понизить газообильность добычного участка до $37,9 \text{ м}^3/\text{мин}$.

CH ₄ , %	0	0,8	1,3	1,6	2,0	2,2	2,3	2,5
q, м ³ /мина	0	15,2	29,26	34,56	45,82	51,3	54,07	74,0

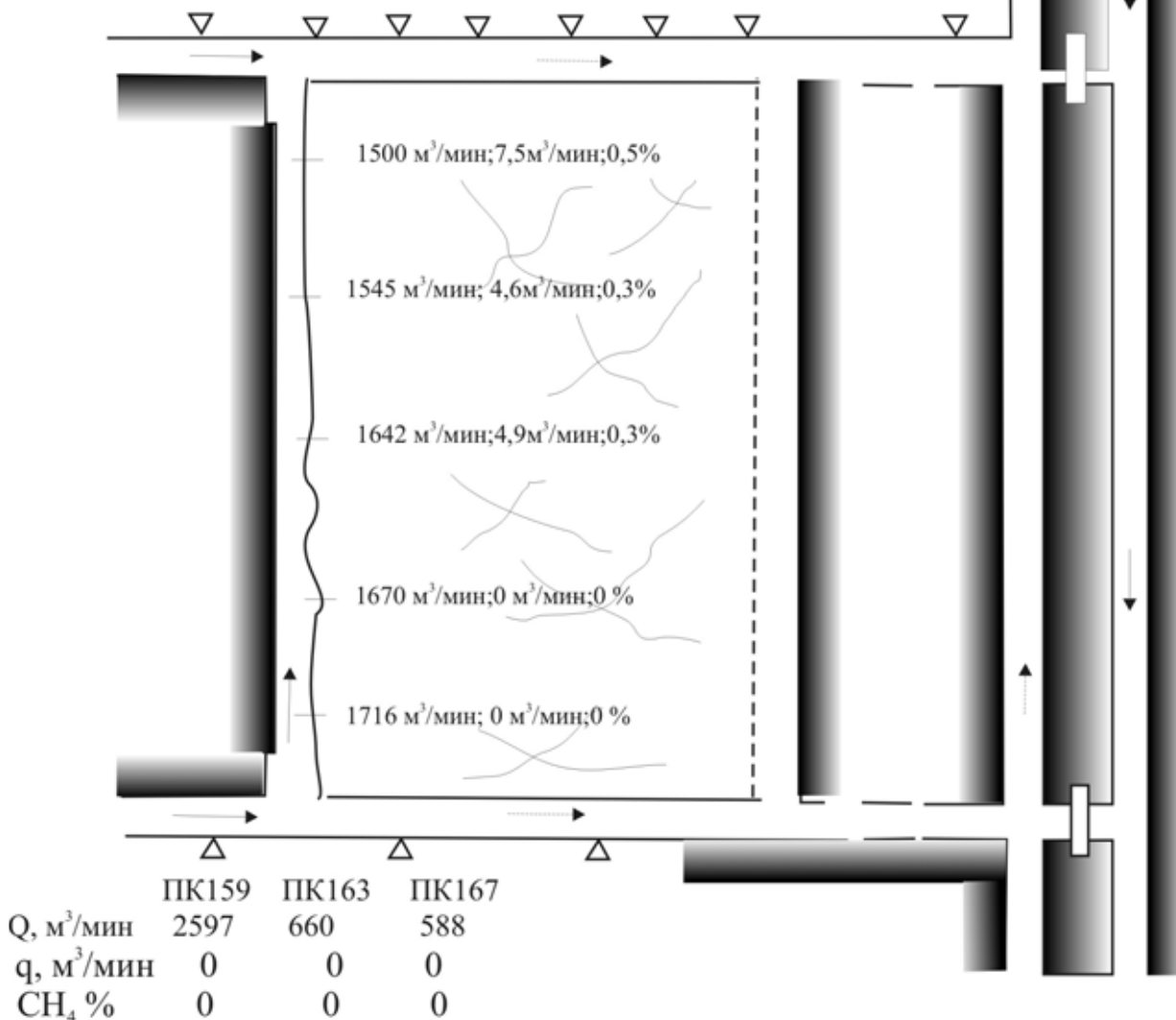


Рис. 2 – Результаты газовой съемки на добычном участке 10-й западной лавы, пл. L₁ (23.05.03)

В рассматриваемой схеме проветривания 2-В-Н-в-пт имеются утечки воздуха, которые движутся через выработанное пространство к сопряжению погашаемой части вентиляционного штрека с воздухоотводящей фланговой выработкой. Это утечки из сопряжения конвейерного штрека с очистной выработкой, а также часть распределенных утечек из очистной выработки (ветвь ВС) и погашаемого конвейерного штрека. Общая сумма всех утечек, движущихся через выработанное пространство, как следует из результатов депрессионной съемки, достигает 800 м³/мин.

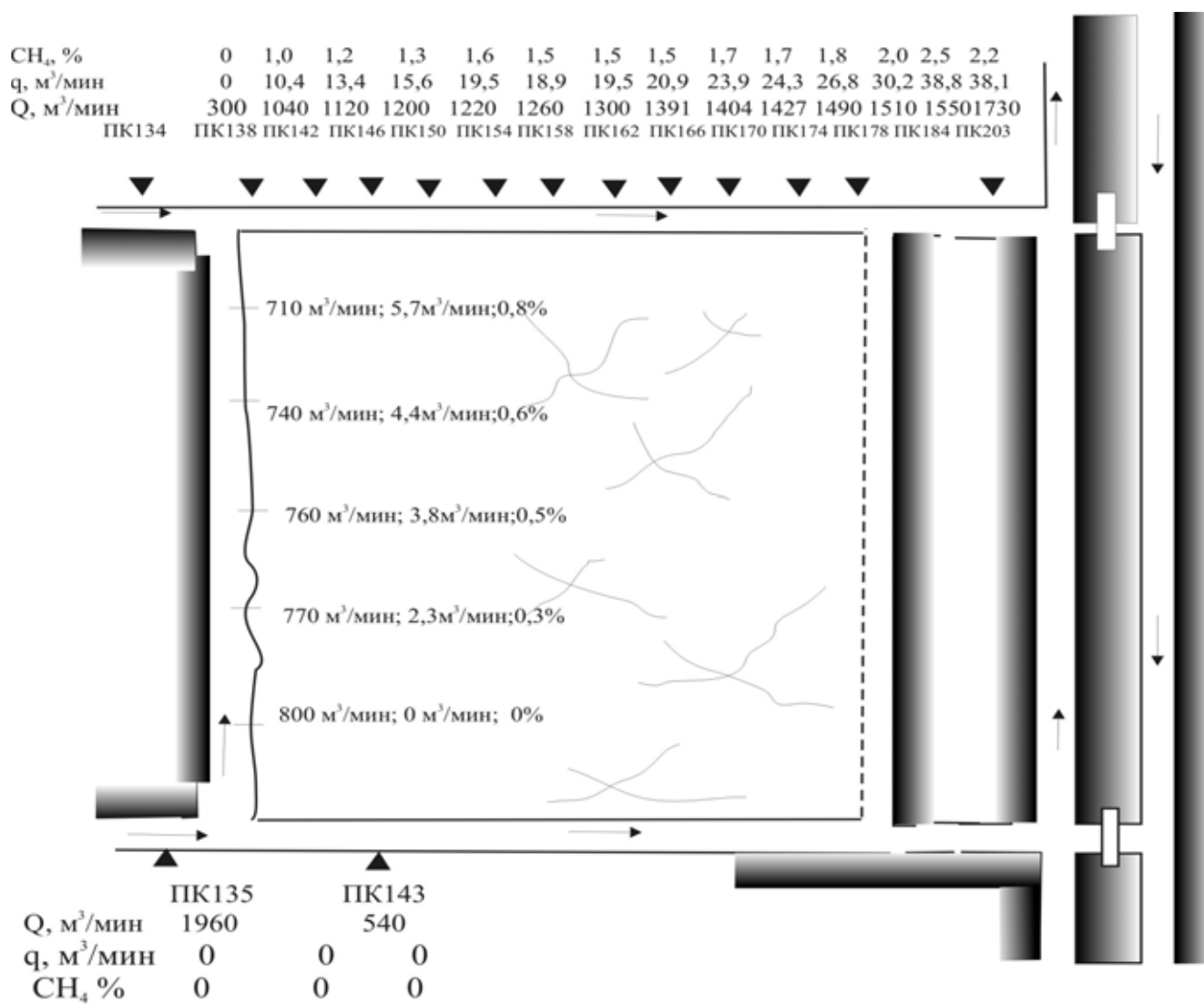


Рис. 3 – Результаты газовой съемки на добычном участке 10-й западной лавы, пл. L₁ (29.07.03)

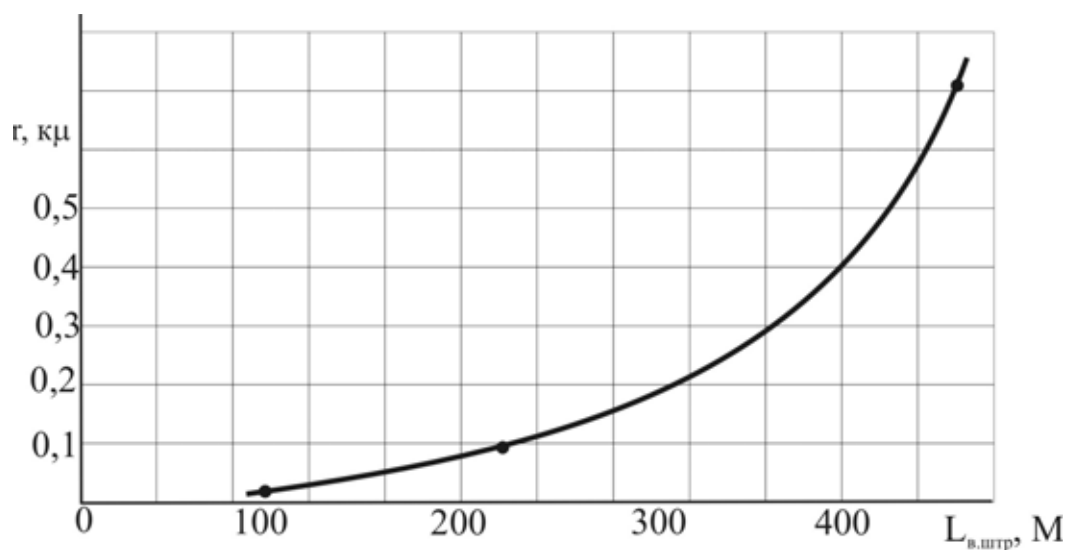


Рис. 4 – Изменение средней величины аэродинамического сопротивления погашаемой части вентиляционного штрека от его длины

После обработки результатов всех трех депрессионных съемок, получаем, что общая депрессия добычного участка 10-й западной лавы $H_{уч}$, проветриваемого по схеме 2-В-Н-в-пт, возрастает по мере увеличения протяженности выработанного пространства и оставленных в нем воздухоотводящих выработок (табл. 3).

Таблица 3 – Изменение аэрогазодинамических параметров схемы проветривания 2-В-Н-в-пт в процессе отработки столба

Депрессионные съемки	Соотношение длин воздухоотвод. выработок к воздухоподающим	Депрессия участка, $H_{уч}$, да-Па	Аэродин. сопротивл. доб. участка	Аэродинамич. сопротивл. параллельных соединений в схеме проветривания 2-В			Газообильность участка (с учетом работы дегазационных систем), $q_{уч}$, м ³ /мин
				воздухоподающ. r'	воздухоотводящ. r''	r''/r'	
I	0,06	274,2	0,10	0,053	0,032	0,6	39,9
II	0,14	328,8	0,12	0,051	0,117	2,3	74,0
III	0,33	560,1	0,40	0,061	0,780	12,8	110,0
IV*	0,73	1021,0	0,70	0,056	3,24	57,9	144,8

*Результаты получены с помощью метода графических построений.

Как показывают результаты, рост аэродинамического сопротивления воздухоподающих выработок связан исключительно с проводимым отрицательным регулированием расхода подсвежающей струи, а рост того же сопротивления воздухоотводящих – с проявлением горного давления и деформацией выработок, оставленных в выработанном пространстве. С удалением очистного забоя от разрезной печи состояние оставленных выработок быстро ухудшается. Об интенсивном характере этого процесса свидетельствует скачкообразный рост соотношений аэродинамического сопротивления между воздухоотводящими и воздухоподающими выработками r''/r' в схеме проветривания 2-В-Н-в-пт. В конечном итоге, все это ведет к снижению пропускной способности воздухоотводящих выработок, снижению расхода воздуха, необходимого для разжижения выделяющегося метана и, как следствие, - к повышению газообильности добычного участка (рис. 5).

Такая ситуация на участке наступает при пятикратном превышении соотношения между аэродинамическими сопротивлениями r''/r' выработок в схеме проветривания 2-В. Последнее, в свою очередь, ведет к необходимости перевода добычного участка на другую – комбинированную схему проветривания 1-К-Н-в-вт. Ее преимущество заключается в снижении аэродинамического сопротивления воздухоотводящих выработок, т.к. при такой схеме отвод газозадушной смеси осуществляется одновременно по 2-м параллельным выработкам.

Выбор момента перехода от схемы проветривания 2-В-Н-в-пт к комбинированной 1-К-Н-в-вт определяется точкой пересечения (рис. 5) кривых роста аэродинамического сопротивления воздухоотводящих выработок r'' и газообильности участка $q_{уч}$. Проекция этой точки на ось абсцисс указывает оптимальное

расстояние, пройденное очистным забоем от разрезной печи (т.е. длину воздухоотводящих выработок, оставленных в выработанном пространстве $L_{вп}$), после которого следует переходить от схемы проветривания с подсвежением 2-В-Н-в-пт к комбинированной 1-К-Н-в-вт. Исходные данные для построения зависимостей $r''=(L_{вп})$ и $q_{уч}=(L_{вп})$ получают из результатов периодически проводимых на добычном участке газовоздушных и депрессионных (1 раз в месяц) съемок.

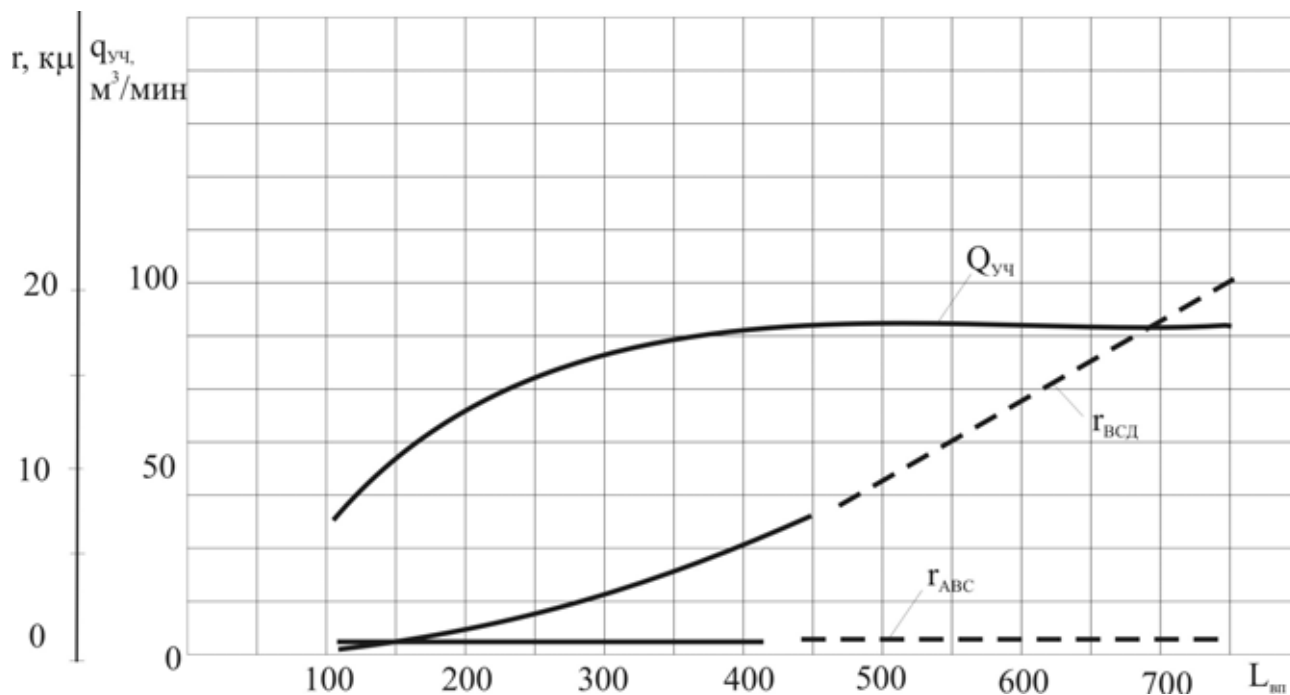


Рис. 5 - Характер взаимосвязи аэродинамических и газодинамических параметров добычного участка, проветриваемого по схеме 2-В-Н-в-пт

Необходимость смены схем проветривания (2-В на 1-К) следует связывать с проявлением временного фактора – быстрого "старения" воздухоотводящих выработок, оказавшихся в отработанной части столба, снижения их пропускной способности и, как следствие, повышения газообильности добычного участка. С момента перехода на комбинированную схему проветривания в пространстве оконтуривающих выработок происходит перераспределение газовоздушных масс (рис. 6). Теперь большая часть воздушных масс направлена в сторону выработанного пространства с целью его изоляции от очистной выработки. Смена схемы проветривания дала возможность снизить содержание метана в исходящей струе участка и повысить нагрузку на забой по газовому фактору на 1000 т в сутки. Так, до перехода на схему 1-К среднесуточная нагрузка составляла 2400 т, после перехода – 3350 т/сут.

Характерной особенностью комбинированной схемы проветривания, вызванной перераспределением воздушных масс, является повышенная газообильность выработанного пространства. Это наблюдается и на других добычных участках с такой схемой проветривания (табл. 2).

Из выработанного пространства обогащенная газовоздушная смесь направ-

ляется в погашаемый вентиляционный штрек и далее в воздухоотводящую выработку на фланге, где разжижается до допустимых норм. Содержание метана в смеси зависит от факторов, влияющих на интенсивность газовыделения, и регулируется расходом воздуха, поступающего в выработанное пространство. Одновременно в местах возможных скоплений метана устанавливают "свечи" для отбора и изолированного отвода метана (газовоздушной смеси с высоким содержанием метана) по дегазационному трубопроводу с помощью подземных вакуум-насосов.

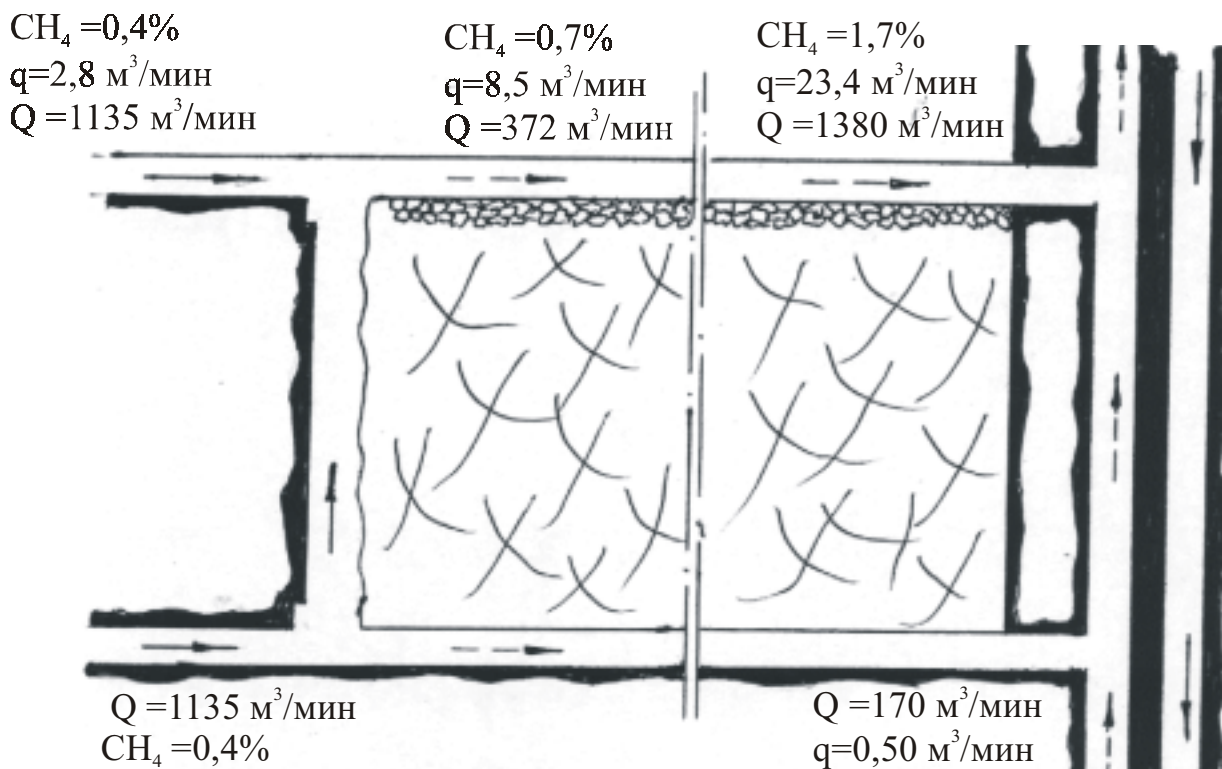


Рис. 6 – Результаты газовой съемки на добычном участке 10-й западной лавы после перехода на комбинированную схему проветривания 1-К-Н-в-вт

Таким образом, комбинированная схема проветривания позволяет в широких пределах управлять аэрогазодинамическим процессом, а также пригодна для накопления и последующего отвода из выработанного пространства газовой смеси с высоким содержанием метана. Последнее дает основание для разработки технического решения утилизации метана угольных шахт.

Предположительно, технологическая схема отбора газовой смеси сводится к оптимизации режима движения утечек через выработанное пространство, согласованию их расхода с производительностью ВНС, определению места установки "свечей", способа перемещения последних, а также шага их передвижки с учетом необходимого взаимодействия градиентов депрессии вентиляционного потока и газозаборного устройства.

В результате анализа проведенных экспериментальных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что в период отработки столба переход от одной схемы проветривания к другой производится с целью перераспределения газоздушных масс в пределах добычного участка. Момент перехода от схемы с подсвечением к комбинированной схеме определяется точкой пересечения кривых роста аэродинамического сопротивления воздухоотводящих выработок и газобильности участка. Так, переход на комбинированную схему (10-я зап. лава по пл. 1₁) обеспечил снижение содержания метана в исходящей струе участка и позволил повысить нагрузку на очистной забой по газовому фактору на 1000 т/сут.

2. Показано, кроме того, что комбинированная схема проветривания пригодна для накопления и последующего отвода из выработанного пространства газоздушной смеси с высоким содержанием метана, что дает основание для разработки технологического решения утилизации метана угольных шахт.

3. При проведении дальнейших исследований необходимо уточнить оптимальные параметры схемы дегазации выработанного пространства, решить вопросы обеспечения газовой защиты и автоматического управления аэрогазодинамическим процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / МУП СССР.- Макеевка-Донбасс, 1986. - 333 с.
2. Правила безопасности в угольных шахтах / ДНАОП 1.1.30-1.01-96 // Утверждено приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 18 января 1996 г. № 7.-К.: Основа, 1996. - 207 с.
3. Проветривание и газовый режим шахты имени А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования/ Е.Л. Звягильский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов, Б.В. Бокий, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин.- Донецк-Днепропетровск, 2003.- 228с.