

УДК 622.44

В.Н. Макаров, Е.В. Леонтьев

ГЕНЕЗИС ПРОВЕТРИВАНИЯ ГАЗООБИЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЕЁ РЕАЛИЗАЦИИ

На основе обработки статистических данных произведен анализ эффективности способов проветривания газовых шахт. Рассмотрены основные этапы, динамика развития способов проветривания газообильных угольных шахт по мере роста интенсификации угледобычи. Предложено при комбинированном проветривании применять вентиляторы местного проветривания с высокой аэродинамической нагруженностью и возможностью регулирования режимов работы в широком диапазоне.

Ключевые слова: прямоточный вентилятор, вихреисточник, газообильность, аэродинамическая нагруженность, комбинированное проветривание, вентиляционная система, очистная выработка, выработанное пространство.

Газообильные угольные шахты составляли более 75% от их общего количества. Для шахт опасных по газу и пыли основным показателем соответствия вентиляции их производственной мощности служит концентрация метана в общешахтной исходящей струе воздуха.

С учетом требований Правил безопасности и для обеспечения высокой производительной мощности шахты расчетная концентрация метана в общешахтной исходящей струе воздуха должна быть не более 0,75 %, но менее 0,5 %.

По принципу обеспечения эффективного проветривания выемочных полей угольных шахт, стабилизации концентрации метана в указанном диапазоне различают три способа проветривания газовых шахт: общешахтная вентиляция с предварительной дегазацией, комплексная вентиляция с дегазацией, комбинированное проветривание.

Применение того или иного из вышеперечисленных способов проветривания обусловлено горно-геологическими, технологическими условиями, производительностью механизированных добычных комплексов.

Требования, предъявляемые к режимам проветривания газообильных угольных шахт, существенно большая их вентиляционная энергоемкость, делают актуальной проблему надежного и экономичного проветривания и, как следствие, разработку высокоэффективных вентиляторных комплексов проветривания (ВКП) газообильных угольных шахт, включающих в себя вентиляторные установки главного проветривания (ВУГП), газоотсасывающие вентиляторные установки (ГВУ), вентиляторы местного проветривания (ВМП) и дегазационные установки (ДУ).

Комплекс шахтных вентиляторов, осуществляющих проветривание газообильных угольных шахт должен обеспечивать такое поле распределений депрессий и расходов потоков в вентиляционной сети, ограниченной выемочными участками и прилегающими к ним зонами выработанного пространства, при котором устраняются проявления метаноопасности и газового барьера.

Многосвязная комбинированная вентиляционная система угольных шахт представляет собой аэрогазодинамически соединенные вентиляционную и газоотводящую сети, причем последняя состоит из выработанного пространства газоотводящих выработок и скважин. Специфика газоотводящей сети, ее аэрогазодинамическая связь с вентиляционной общешахтной сетью приводит к взаимозависимости режимов работы вентиляторов в составе ВКП, при всем разнообразии горно-геологических и технологических условий.

Следует заметить, что обеспечение аэрогазодинамической изоляции с помощью ДУ основано на утверждении, что в процессе дегазации исключается попадание метана в очистную выработку из выработанного пространства, то есть имеет место статическая газоизоляция очистной выработки. Дифференцированный анализ вентиляционных режимов угольных шахт позволил установить закономерности и взаимозависимость режимов работы ГВУ и ВУГП [1]. Малые эквивалентные отверстия газоотводящих сетей, требующие соответственно низкую удельную быстроходность газоотсасывающих вентиляторов, то есть большую их аэродинамическую нагруженность по сравнению с вентиляторами главного проветривания, и необходимость обеспечения аэрогазодинамической изоляции приводят к необходимости рассмотрения ВМП как регулируемого источника изменения поля депрессий и расходов в зоне сепарации метановоздушной смеси.

Функциональная эффективность структуры, состоящей из ГВУ, ВУГП, ВМП и многосвязной комбинированной вентиляционной системы в большей степени обусловлена обеспечением аэрогазодинамической изоляции очистных выработок от выработанного пространства с изолированным отводом метановоздушной смеси через выработанное пространство. При этом интегральным показателем, характеризующим эффективность данного процесса, является оптимальная величина коэффициента распределения воздуха, определяемая отношением расхода метановоздушной смеси через газоотводящую сеть к подаче воздуха в очистную выработку через общешахтную вентиляционную сеть.

Исследования функционирования аэрогазодинамической системы, включающей ВКП и многосвязную комбинированную вентиляционную сеть с использованием системного подхода позволяет определить основные критерии оценки ее эффективности, а также технические требования, предъявляемые к входящим в состав комплекса вентиляторам местного и главного проветривания, дегазационным установкам в общем случае, и газоотсасывающим вентиляторам при комбинированном проветривании [2]. Функциональная эффективность системы определяется эффективностью реализации основного назначения ВКП, заключающегося в обеспечении нормированных санитарно-гигиенических условий, устранении проявлений метаноопасности, газового барьера, загазовывания действующих выработок при аварийной остановке ВГП. Экономическая эффективность ВКП характеризуется уровнем энергозатрат при реализации функциональных параметров. В работе [3] дано обоснование и формулы для расчета системных критериев оценки функциональной и экономической эффективности шахты.

Для установления вышеуказанного и обоснования пути дальнейшего совершенствования вентиляторов, входящих в состав ВКП приведена статистическая обработка изменения метанобильности от коэффициента распределения воздуха K_p и нагрузки на очистной забой A_H .

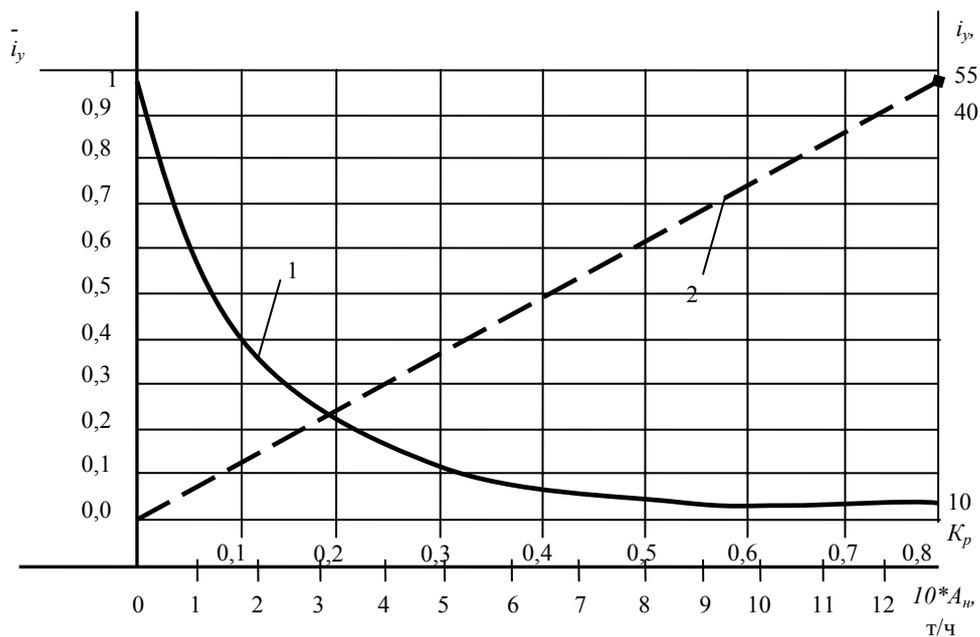


Рис. 1. Графики зависимостей удельной относительной и абсолютной метанообильности шахты от нагрузки на очистной забой и коэффициента распределения воздуха: 1 – удельная относительная метанообильность; 2 – абсолютная метанообильность

На рис. 1 приведены результаты исследований зависимости удельной относительной \bar{i}_y и абсолютной метанообильности i_y шахты от нагрузки на очистной забой и коэффициента распределения воздуха.

Из анализа рис. 1 видно, что статистически с увеличением нагрузки на очистной забой наблюдается практически линейный рост абсолютной газообильности шахты и явно нелинейное снижение относительной газообильности. Таким образом, функциональная и экономическая эффективность вентиляции при проветривании газообильных угольных шахт определяется оптимизацией аэродинамических параметров вентиляторов местного проветривания и газотсасывающих вентиляторов в зависимости от режима работы вентилятора главного проветривания.

На рис. 2 приведены результаты исследований зависимости интегрального коэффициента энергоэффективности вентиляции $K_э$ для различных способов её реализации в угольных шахт от абсолютной газообильности.

Из анализа рис. 2 видно, что 1-й способ эффективен при нагрузке на очистной забой до 1500 т/сут и газообильности до 5 м³/мин; 2-ой способ эффективен при нагрузке на очистной забой до 4—5 т/сут и газообильности до 15 м³/мин; 3-й способ эффективен при нагрузке на забой до 30 т/сут и газообильности до 50 м³/мин.

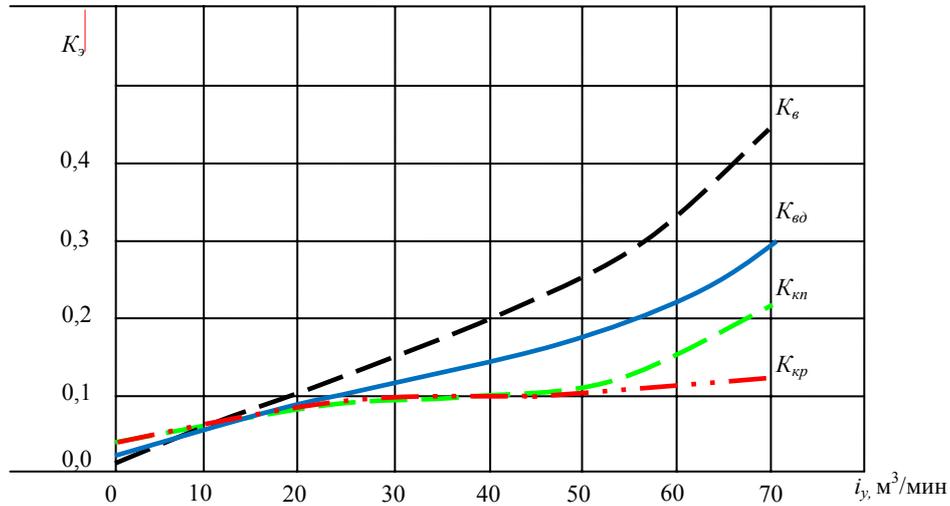


Рис. 2. Относительные удельные затраты на вентиляцию в структуре себестоимости добычи угля: 1 – K_v – общешахтная вентиляция с предварительной дегазацией; 2 – $K_{вд}$ – комплексная вентиляция с дегазацией; 3 – $K_{кп}$ – комбинированное проветривание; 4 – $K_{кр}$ – комбинированное проветривание с регулированием ВМП и дегазацией

В условиях общешахтной вентиляции и дегазации $K_p = 0$, то есть аэрогазодинамическая изоляция обеспечивается за счет соответствующего поля депрессий в выработанном пространстве и производительности дегазационных установок.

При комбинированном проветривании необходимо обеспечивать аэрогазодинамическую изоляцию за счет сепарации метановоздушного потока путем регулирования режима работы ВКП и создания необходимого поля депрессий.

Тогда с учетом [1] коэффициент функциональной эффективности ВКП, включающего ВМП получим в виде:

$$K_{\Phi} = \frac{F_{\text{Э ШВС}} \bar{d}_2^{BLГ} \omega^{ВП}}{F_{\text{Э ГВС}} \left(\bar{d}_2^{ВП} \omega^{ВЛГ} + \bar{d}_2^{ВМП} \omega^{ВМП} \right)} \quad (1)$$

Коэффициент экономической эффективности ВКП получим в виде:

$$K_{\text{э}} = \frac{E_B}{E_y} \quad (2)$$

где E_B — энергозатраты на вентиляцию в расчете 1 т угля; E_y — суммарные энергозатраты на добычу 1 т угля.

Тогда уравнение для расчета функциональной адаптивности, обеспечивающей аэродинамическую изоляцию в зоне сепарации метановоздушных потоков с максимальной энергоэффективностью можно выразить в виде:

$$\frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \frac{d\psi_{\text{ст}}^{\text{ГВУ}}}{dq_{\text{ГВУ}}} dq_{\text{ГВУ}} + \int_{q_{\min}}^{q_{\max}} dq_{\text{ВУГП}}}{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} dq_{\text{ГВУ}} * \left(\frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \frac{d\psi^{\text{БЛГ}}}{dq_{\text{ш}}} dq_{\text{БЛГ}}}{dq_{\text{БЛГ}}} + \frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \frac{d\psi^{\text{ВМП}}}{dq_{\text{ш}}} dq_{\text{ВМП}}}{dq_{\text{ВМП}}} \right)} = K_{\Phi}^2 \quad (3)$$

где q — коэффициент расхода вентилятора; $\psi_{\text{ст}}$ — коэффициент статического давления вентилятора; $F_{\text{Э ШВС}}$, $F_{\text{Э ГВС}}$ — эквивалентные отверстия шахтной и газоотсасывающей вентиляционных сетей.

Поскольку

$$F_{\text{Э ШВС}}(A_H) = F_{\text{Э ШВС}}^O \pm F_{\text{оч.в}}^{\text{Л}}(A_H) \quad (4)$$

где $F_{\text{Э ШВС}}^O$ — эквивалентное отверстие общешахтной вентиляционной сети без учета сопротивления очистной выработки; $F_{\text{Э оч.в}}^{\text{Л}}$ — эквивалентное отверстие очистной выработки.

Откуда (3) можно представить в следующем виде

$$K_{\Phi} = \left(\frac{F_{\text{Э оч.в}}^{\text{Л}} * \bar{d}_{\frac{\text{БЛГ}}{2}} \omega^{\text{ВМП}}}{F_{\text{Э ШВС}}^O * \bar{d}_{\frac{\text{ВМП}}{2}} \omega^{\text{БЛГ}}} \right) \quad (5)$$

при условии, что $\Delta Q_{\text{ВМП}} = \Delta Q_{\text{ВУГП}}$ за счет $\Delta \frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \frac{d\psi^{\text{ВМП}}}{dq_{\text{ш}}} dq_{\text{ВМП}}}{dq_{\text{ВМП}}}$

То есть совокупность ВМП в данном случае рассматривается как «активное сопротивление» в зоне сепарации, позволяющее за счет изменения их аэродинамической нагруженности обеспечивать изменение подачи ВУГП в очистной забой без изменения аэродинамических процессов на остальных участках общешахтной вентиляционной сети для обеспечения аэрогазодинамической изоляции.

При этом обеспечение аэрогазодинамической изоляции в зоне сепарации, допустимая концентрация метана в очистной выработке за счет процесса перераспределения метановоздушных потоков исключает поступление метана из очистной выработки в газоотводящую сеть, так как это снижает энергоэффективность вентиляторов поскольку $F_{\text{Э ГВС}} < F_{\text{Э ШВС}}$.

При этом необходимо учитывать, что параметры общешахтной вентиляции для отдельных очистных выработок должны изменяться за счёт ВМП в зоне сепарации метановоздушной смеси при индифферентности остальных вентиляционных участков шахты.

Технические характеристики вентиляторов

№ п/п	Параметры	Аналог ВМЭ-5	Новый вентилятор ВРП-5
1	Номинальный диаметр рабочего колеса, мм	500	500
2	Номинальное полное давление, Па	2000	4600
3	Номинальная подача, м ³ /с	3,6	4,2
4	Максимальный КПД	0,66	0,81
5	Глубина экономичного регулирования	0,33	0,78
6	Масса, кг	270	250

Поэтому с ростом нагрузки на очистной забой существенное влияние на процесс аэрогазодинамической изоляции оказывают изменения геометрических и аэродинамических параметров очистной выработки, характер влияния которых рассматривается в работе [4].

Коэффициент, учитывающий долю выноса метана из призабойного пространства в выработанное определяется как:

$$K_{ГВ} = \frac{I_{ОЗ} * K'_{ГВ} + I_{ВХ} * (1 - K_p)}{I_{ОЗ} + I_{ВХ}} \quad (6)$$

где $K'_{ГВ}$ — коэффициент, учитывающий долю выноса метана из призабойного пространства в выработанное при условии отсутствия метана в поступающей на выемочный участок вентиляционной струе; $I_{ОЗ}$ — расход воздуха в очистной выработке, м³/мин; $I_{ВХ}$ — расход метана в поступающей в очистной забой вентиляционной струе, м³/мин.

Аэродинамическое сопротивление выработанного пространства, $\frac{даПа}{м^3}$ мин, определяется как:

$$R_{ВП} = r_{ВП} * \frac{1,6L_{ВП}}{m_B * I_{ОЗ} * f} = \left[0,8 - \frac{0,75}{\tau} (1 - e^{-\tau}) \right] * \frac{1,6L_{ВП}}{m_B * I_{ОЗ} * f} \quad (7)$$

где $L_{ВП}$ — длина выработанного пространства, м; $r_{ВП}$ — удельное аэрогазодинамическое сопротивление; $I_{ОЗ}$ — длина очистной выработки, м; f — коэффициент крепости пород; $\tau = 0,125 \frac{L_{ВП}}{V_{П}}$; $V_{П}$ — скорость продвижения забоя, м/мин.

Из анализа [4] можно сделать вывод о том, что эквивалентное отверстие общешахтной вентиляционной сети увеличивается с ростом аэродинамического сопротивления, нагрузки на очистной забой, изменения длины очистной выработки, площади призабойного пространства, мощности пласта.

Необходимо рассматривать всю совокупность шахтных вентиляторов, ВКП, обеспечивающих безопасные санитарно-гигиенические условия, устранение

проявления метаноопасности и газового барьера в качестве единого вентиляторного комплекса комбинированного проветривания, так как необходимо создание вентиляторного комплекса местного проветривания, обеспечивающего необходимое поле депрессии в зоне сепарации метановоздушной смеси для достижения аэрогазодинамической изоляции очистной выработки от выработанного пространства при совместной работе с ВУГП и ГВУ. Рост нагрузки на очистной забой неизбежно приведет к быстрому изменению параметров шахтной сети (изменится сопротивление сети, длина выработок и т.д.). Поэтому возникает необходимость разработки ВМП с высокой аэродинамической нагруженностью и возможностью регулирования режимов работы в широком диапазоне. В качестве данного вентилятора может быть применен прямоточный радиально-вихревой вентилятор с энергетическим и частотным регуляторами, позволяющий при тех же массогабаритных параметрах развивать давление в 2,3 раза выше современных аналогов. В таблице приведено сравнение технических характеристик нового вентилятора и его аналога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров В.Н., Волков С.А., Макаров Н.В.* – Анализ газоотводящих вентиляционных режимов угольных шахт // Научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Горнопромышленная декада», – Екатеринбург, УГГУ, 2009 г.
2. *Макаров В.Н., Леонтьев Е.В.* – Анализ известных способов проветривания и пути повышения их энергоэффективности // Научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Горнопромышленная декада», – Екатеринбург, УГГУ, 2010 г.
3. *Макаров В.Н., Горшков О.В.* – Критерии эффективности газоотсасывающих вентиляторных установок // Научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Горнопромышленная декада», – Екатеринбург, УГГУ, 2007 г.
4. *Золотых С.С., Стекольников Г.Г.* – Руководство по проектированию комбинированного проветривания выемочных участков и полей с применением газоотсасывающих вентиляторных установок для шахт ОАО «Компания «Кузбассуголь», Кемерово, 2000 г.

ГЛАС

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Макаров В.Н. – профессор, доктор технических наук. E-mail developrorector@mail.ru.
Леонтьев Е.В. – аспирант. E-mail egor-ka08@mail.ru.
Уральский государственный горный университет, кафедра «Горная механика»



GENESIS AIRIGN GASSY COAL MINES AND EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF ITS IMPLEMENTATION

Makarov V.N., PhD Eng, Professor, Assistant, Chair of Mining Mechanical Engineering,
Leontev E.V., graduate student,
Ural State Mining University.

The set of all mine fans is to be assumed the combined exhaust-and-forced ventilation complex providing safe health conditions, eliminating methane hazard and creating a gas barrier in a mine. In this context, it is required to create a local ventilation fan complex in order to generate the required depression in the zone of air and methane flow separation, with the aim to ensure aerogasdynamic isolation of stopes and mined-out voids, given concurrent operation of main mine fans and gas-suction plants.

The curves of specific relative methane content, absolute methane content, production heading load and air distribution coefficients are presented. Specific relative ventilation expenditure within the coal mining cost structure is shown.

REFERENCES

1. *Makarov V.N., Volkov S.A., Makarov N.V.*, 2009. Analysis of gas exhaust ventilation modes in coal mines, Mining Decade Conf. Proc., Ekaterinburg: UGGU.
2. *Makarov V.N., Leontiev E.V.*, 2010. Analysis of the existing ventilation methods and their efficiency enhancement, Mining Decade Conf. Proc., Ekaterinburg: UGGU.
3. *Makarov V.N., Gorshkov O.V.*, 2007. Efficiency criteria of gas-suction fans, Mining Decade Conf. Proc., Ekaterinburg: UGGU.
4. *Zolotykh S.S., Stekolshchikov G.G.*, 2000. Guidelines on the Combined Ventilation Design Using Gas-Suction Fans for the Sites and Panels in Mines of the Kuzbassugol JSC. Kemerovo.



ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

1. Издательство «Горная книга» приступило к формированию Редакционно-издательских советов по следующим направлениям:

- ◆ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (рук. проф. *Е.Н. Камнев*);
- ◆ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ГЕОФИЗИКА (рук. проф. *В.Л. Шкуратник*);
- ◆ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ (рук. проф. *И.М. Ялтанец*);
- ◆ МАРКШЕЙДЕРИЯ (рук. проф. *В.В. Руденко*).

В задачи Советов входит подбор качественных рукописей для публикации, оценка их содержания и коммерческой привлекательности, определение тиражей и стоимости книг, консультации по распространению и инвестированию.

2. В целях приближения деятельности издательства «Горная книга» к читательскому и авторскому активу планируется создание Общественного совета «Горной книги» из представителей вузов, НИИ, предприятий, коммерческих структур, а также независимых специалистов.