

УДК 622.272

В.В. Мельник, Л.И. Шулятьева, А.В. Шабловский

ООСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Изложены результаты исследований, позволившие установить взаимосвязь параметров вентиляционных систем шахты с параметрами технологических схем вскрытия и подготовки новых горизонтов шахт. Предложена модель обоснования параметров технологических схем вскрытия и подготовки по фактору вентиляции как строящихся, так и действующих шахт.

Ключевые слова: схемы вентиляции, параметры технологической схемы, параметры вентиляции, вентиляционной системы, совместная оптимизация.

Семинар № 16

Подсистема «вентиляция шахты» призвана обеспечивать безаварийную и безопасную работу других ее подсистем. Расчет параметров технологического процесса подсистемы «вентиляция», к которым относятся количество воздуха, подаваемого в шахту основан на инструкциях и правилах безопасности работы угледобывающих предприятий [74, 80, 83, 84, 100, 105, 106], а численность рабочих, занятых на процессе определяется в соответствии с расстановкой по рабочим местам на основании нормативов, используемых в угольной промышленности. Задачей исследования процесса состоит в изучении его развития во взаимосвязи с другими процессами и подсистемами шахты. В связи с этим возникает необходимость изучить состояние обеспечения шахт воздухом и его распределения по объектам проветривания.

Современное состояние вентиляционной системы шахт Карагандинского бассейна связано с различными этапами развития шахтного фонда и особенностями горно-геологических условий угленосных районов. Обединение нескольких шахт в единую вентиляционную систему, проведение

дополнительных вентиляционных стволов существенно усложнили топографию вентиляционных систем, обусловили трудности управления вентиляцией. Шахты Саранского участка, построенные позднее шахт Промышленного участка, имеют стволы и шурфы, расположенные на выходах пластов. По мере углубления горных работ пути подвода воздуха к ним удлинялись, поэтому при вскрытии более глубоких горизонтов необходимо было проводить новые воздухоподающие и вентиляционные стволы, приближенные к горным выработкам.

Впоследствии, в результате реконструкции шахт, проблемы со сложностью вентиляции удалось решить. Характерной особенностью шахт Чурубай-Нуринского и Тентекского районов является большая протяженность шахтных полей по простираннию и большое количество вентиляционных шурfov. В среднем по бассейну в сутки подается около 7100 м^3 на одну тонну добычи. Анализ показал, что из этого количества только около 54 % воздуха идет на проветривание очистных и подготовительных забоев.

Таблица 1
Основные технические характеристики вентиляционных стволов действующих шахт Карагандинского бассейна

Наименование шахт	Количество стволов		Максимальная пропускная способность стволов, м ³ /с	
	Воздухоподающие	Вентиляционные	Воздухоподающие	Вентиляционные
1. им.Костенко	4	5	1004	1207
2. им.Кузембаева	1	3	454	573
3. Саранская	2	3	673	794
4. Абайская	2	3	534	793
5. Казахстанская	3	5	795	916
6. им.Ленина	6	7	930	1024
7. Шахтинская	2	3	531	534
8. Тентекская	3	4	806	608
9. им.Горбачева	3	4	773	1172
10. Кировская	4	6	604	646
11. им.Байжанова	2	3	422	496

Около 35 % используется для проветривания поддерживаемых выработок, что объясняется большой их протяженностью, сложной топологией сети, а также нерациональным распределением воздуха в шахте.

В табл. 1 приведены основные технические характеристики действующих вентиляционных стволов шахт Карагандинского бассейна. Из таблицы видно, что все шахты бассейна обеспечены воздухом с превышением над расчетным количеством, то есть имеют резервы прироста мощности по добыче.

Иная картина складывается с использованием воздухоподающих стволов: более половины из них используются по пропускной способности только на 50...60 %. Такая разница с использованием воздухоподающих и вентиляционных стволов объясняется тем, что, как правило, на всех шахтах при вскрытии новых горизонтов проходились новые воздухоподающие стволы, рассчитанные в большинстве случаев на обеспечение воздухом на длительный период эксплуатации шахты. С увеличением глубины разработки этот резерв будет постоянно сокращаться.

До проведения реструктуризации шахтного фонда в Карагандинском бассейне насчитывалось 180 вертикальных и 25 наклонных стволов (в среднем по 7 стволов на одну шахту). Кроме того, планировалось проведение еще 40 стволов. Однако, согласно анализу результатов депрессионных съемок, использование максимальной пропускной способности стволов относительно фактического количества подаваемого воздуха, колебалось в пределах 50...80%. Кроме того, концентрация газа метана в общих исходящих струях была и остается до настоящего времени значительно ниже предельно допустимых норм и колеблется в пределах 0,25...0,40% (по ПБ допускается 0,75%). Однако из этого не следует, что шахты имеют значительные резервы в обеспечении воздухом, что обусловлено весьма сложной схемой проветривания. Анализ распределения воздуха в шахтах показал, что для проветривания очистных забоев в среднем расходуется около 54 % от общего его количества, на проветривание подготовительных забоев эта величина почти в 2 раза меньше. Однако на некоторых шахтах с высокой газообильностью

расход воздуха, поступающего в подготовительные забои превышает его величину для проветривания очистных работ.

Изменение средств механизации очистных работ, характеризующихся, главным образом, их производительностью, определяет необходимость пересмотра методов формирования параметров технологической схемы (ТС) шахты и отдельных её подсистем.

В современных условиях развития горного производства, как при обосновании рациональных схем вскрытия, подготовки и систем разработки пластов, так и при исследовании процессов подземных горных работ, как объективная необходимость применяется системный подход при выборе проектных и технологических решений. Шахта рассматривается как сложная система, состоящая из взаимосвязанных в пространстве и во времени подсистем. При этом подсистемы определяются в зависимости от цели, задач и предмета исследований. Для обоснования параметров технологических схем при проектировании шахт нового технического уровня шахта представлена как сложная система, формируемая путём синтеза рациональных технологических схем подсистем и их параметров. До настоящего времени такое обоснование осуществлялось с использованием среднебассейновых или среднеотраслевых нормативов, что приводило к созданию статических (то есть неспособных развиваться в пространстве и времени) моделей, решающих ограниченный круг задач. Такие математические модели ограничивали сам процесс обоснования, что и приводило к необходимости разработки механизма оптимизации для конкретной задачи исследования.

Использование высокопроизводительного оборудования на проведе-

нии горных выработок и добыче угля привело к необходимости рассматривать во взаимосвязи параметры ТС вскрытия, подготовки и систем разработки и параметров технологических процессов в шахте. С этой целью предлагается использовать новый подход к формированию модели обоснования рациональных параметров ТС, сформированной путём создания интегрированной динамической системы вскрытия, подготовки и отработки запасов. При её разработке основополагающими условиями выделения подсистем приняты:

- их функциональная и технологическая однородность;
- четко выраженная иерархия внутреннего построения;
- внутренняя логическая взаимосвязь и многовариантность развития.

В соответствии с этим выделены подсистемы шахты первого порядка:

I - подсистема «Запасы», её элементы – запасы вскрытые, подготовленные, готовые к отработке

II - технологические схемы вскрытия, подготовки и системы разработки пластов – подсистема;

III - технологические схемы процессов, реализующих данные технологические схемы во времени и пространстве, в свою очередь рассматриваемые как сложные системы второго порядка.

Технологическая схема «вентиляция шахты» рассматривается как сложная система, параметры которой зависят от множества факторов, в том числе от схем вскрытия, подготовки и систем разработки количества одновременно действующих очистных и подготовительных забоев, от протяжённости поддерживаемых горных выработок. В значительной степени определяются объёмами и эффективностью проведения дегазационных мероприятий в период подготовки

запасов к выемке. То есть параметры ТС вентиляции формируются под воздействием как качественных, так и количественных параметров других подсистем технологической схемы шахты.

Объектами исследования приняты ТС по вскрытию (X_1), подготовке (X_2) и системам разработки (X_3) шахтного (выемочного) поля, а также технологическое оборудование по вентиляции шахты. Предметом исследования являются параметры объектов и их взаимосвязь. Цель исследования состоит в установлении закономерностей формирования параметров технологического процесса проветривания шахты в целом по влиянию параметров ТС и технологического оборудования.

Множество расчетных вариантов проектных решений ($\bar{N}_{\text{пр}}$) есть сочетание числа вариантов, представляющих собой возможные совместимые комбинации ТС X_1 , X_2 , X_3 , формирующих параметры подсистемы второго порядка, то есть

$$\bar{N}_{\text{пр}} = \{X_1, X_2, X_3\},$$

тогда параметры вентиляционной сети могут быть определены как

$$Q_{\text{в}} = \{X_1, X_2, X_3, X_c\}, \text{ м}^3/\text{мин.},$$

$$X_c = \{T_{c_1}, T_{c_2}, T_{c_3}, T_{c_4}\}$$

где $T_{c_1}, T_{c_2}, T_{c_3}, T_{c_4}$ - совокупность параметров процессов соответственно очистных и подготовительных работ, поддержания горных выработок и вентиляции шахты.

Формирование параметров вентиляционных сетей шахты осуществляется на основе распределения количества воздуха по объектам проветривания очистных и подготовительных забоев, а также системы горных выработок. Исходной информацией

при расчете параметров ТС вентиляции шахты являются параметры технологических процессов других ее подсистем, горно-геологические условия залегания пластов, горнотехнические характеристики элементов вентиляционных сетей шахт.

Проведенные исследования, на основе анализа большого числа наблюдений по распределению воздуха в шахтах согласно данным вентиляционных журналов, позволили получить зависимости потребности воздуха, подаваемого для проветривания шахты:

-на очистных работах ($\text{м}^3/\text{мин.}$):

$$Q_{\text{в}}^{\text{оч}} = k_{\text{п}}^{\text{оч}} 2000(0,443m_{\text{оз}} - 0,185) \times \quad (1)$$

$$\times (0,846q^{0,79} - 1,014),$$

на подготовительных работах ($\text{м}^3/\text{мин.}$)

$$Q_{\text{в}}^{\text{пр}} = 1200k_{\text{п}}^{\text{пр}}[0,05\exp(0,15m_{\text{пз}}) + 0,81] \times \quad (2)$$

$$\times (0,971 + 0,286L_{\text{уд}})(0,869q^{0,617} - 3,119),$$

-на поддержании выработок ($\text{м}^3/\text{мин.}$):

$$Q_{\text{в}}^{\text{пв}} = k_{\text{п}}^{\text{пв}} 1200(0,964 + 0,00001L_{\text{под}}) \times \quad (3)$$

где $L_{\text{уд}}$ - удельный объем проведения горных выработок, $\text{м}/1000$ т добычи; $L_{\text{под}}$ - протяженность поддерживаемых выработок на шахте, м ; $m_{\text{оз}}$ и $m_{\text{пз}}$ - количество соответственно очистных и подготовительных забоев, одновременно работающих в шахте; q - абсолютная метанообильность шахты, $\text{м}^3/\text{мин.}$

$k_{\text{п}}^{\text{оч}}$, $k_{\text{п}}^{\text{пр}}$, $k_{\text{п}}^{\text{пв}}$ - коэффициент потерь воздуха соответственно в очистных, проводимых и поддерживаемых выработках.

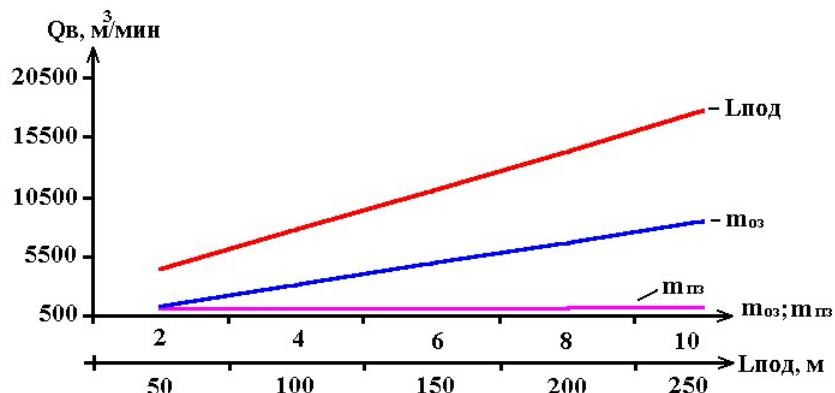


Рис. 1. Графики зависимости количества воздуха, подаваемого для проветривания поддерживаемых выработок, одновременно действующих очистных и подготовительных забоев: Q_b – количество воздуха; $L_{\text{под}}$ – длина поддерживаемых выработок; $m_{\text{оэ}}$, $m_{\text{пз}}$ – количество очистных и подготовительных забоев

Графики полученных зависимостей приведены на рис. 1.

Анализ распределения воздуха, подаваемого в шахту, по объектам проветривания дает возможность представить величину его общего объема как

$$Q_b = 1,10 \times 1,05 \times 1440 (Q_{\text{оэ}}^{\text{пр}} + Q_{\text{пз}}^{\text{пр}} + Q_{\text{в}}^{\text{пр}}), \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (4)$$

где 1,10 - коэффициент неравномерного распределения воздуха в шахте; 1,05, - коэффициент, учитывающий расход воздуха на проветривание прочих объектов.

Количество воздуха, подаваемое в шахту в момент времени t ($Q_{b,t}$), должно обеспечивать безопасную работу всех подсистем шахты. При строительстве новых шахт обоснование параметров вентиляционной сети основывается на обеспечении максимальной нагрузки на шахту. Это определяет выбор схем вскрытия, оптимальное местоположение стволов, их диаметр и глубину залегания. Основой формирования вентиляционной сети в данном случае является возможная по горно-геологическим ус-

ловиям залегания и техническим характеристикам очистного оборудования нагрузка на очистной забой, а также количество одновременно действующих очистных забоев. Последовательность формирования параметров в этом случае может быть следующей: товарная добыча угля с учётом рыночной потребности, метанообильность шахты, суточная нагрузка на очистной забой, количество очистных забоев, схема подготовки и система разработки, протяжённость горизонтальных и наклонных выработок, схема вскрытия, потребное количество воздуха для нормального проветривания, схема вентиляции шахты, параметры вентиляционной системы. Строительство новых горизонтов действующей шахты предполагает необходимость увязки параметров технологических схем вскрытия и подготовки с параметрами существующей вентиляционной системы и с её техническими возможностями. Это обусловлено тем, что стволы, задействованные в вентиляционной системе шахты невозможно реконструировать для увеличения количества подаваемого воздуха. Следовательно, при

обосновании параметров технологических схем (ТС) вскрытия и подготовки новых горизонтов необходима их увязка с параметрами вентиляционной системы шахты. Обоснование параметров ТС шахты должно основываться, помимо проверки по прочим критериям, и на проверке по критерию обеспечения необходимым количеством воздуха всех подсистем подземной угледобычи. Обоснование параметров ТС и эффективность работы системы вентиляции может быть произведено с использованием модели

$$Q_{B_t} - \sum_g^G Q_{B_{ti}} \geq 0,$$

$$\sum_u^U Q_{\text{вент}_{tiu}} - Q_{B_{ti}} \geq 0,$$

при условии, что

$$\frac{\alpha_{aэ} \times P_{стv} \times H_{стv} \times \sum_i^n Q_{B_{ti}}}{S_{cb}^3} \leq h_{\text{max}}$$

где i - индекс вентиляционной сети, $i=1,2,\dots,n$; u - индекс вентилятора, $u=1,2,\dots,U$; $Q_{B_{ti}}$ - количество воздуха для проветривания i -й сети в момент времени t , $\text{м}^3/\text{мин.}$,

$$Q_{B_{ti}} = \sum_g^G Q_{B_{tig}}$$

$Q_{B_{tig}}$ - количество воздуха для проветривания g -го объекта в момент времени t , $\text{м}^3/\text{мин.}$; h_{max} - максимально допустимая величина общешахтной депрессии, мм вод.ст. ; $\alpha_{aэ}$ - коэффициент аэродинамического сопротивления, $\text{kgs} \times \text{с}^2/\text{м}^4$; $P_{стv}, H_{стv}$ - соответственно периметр ствола и его глубина, м ; $Q_{\text{вент}_{tiu}}$ - производительность i -й вентиляционной установки, $\text{м}^3/\text{мин.}$

Анализ соотношения расчётного количества воздуха, необходимого для подачи в шахту, к максимально возможной пропускной способности воздухоподающих стволов, при современном состоянии развития горных работ показывает, что обеспеченность шахт воздухом составляет 110...160 %, то есть очистные и подготовительные работы на 100% обеспечены воздухом, однако имеют место значительные потери воздуха. Приведенные данные о состоянии пропускной способности стволов действующих шахт Карагандинского бассейна подтверждают наличие резервов в обеспеченности шахт воздухом.

Обоснование параметров вентиляции шахты осуществляется на разработанной модели формирования прямых затрат

Зависимости количества воздуха, подаваемого для проветривания от влияющих факторов (1), (2), (3), а также общий объем воздуха, подаваемого в шахту (4) являются основой для моделирования затрат по процессу.

Моделирование затрат на вентиляцию шахты (руб./сут.) производится по элементам: материалы (C_{bm}), амортизация (C_{va}), электроэнергия (C_{ve}), заработка на плате (C_{vzpt}). Затраты по вентиляции на 1 т добычи в целом по шахте в момент времени t составят:

$$C_{B_t} = \frac{C_{bm_t} + C_{va_t} + C_{ve_t} + C_{vzpt_t}}{\sum_{j \in t}^{m(t)} D_{cyt_j} + \sum_{l \in t}^{L(t)} D_{cyt_{tl}}},$$

ден.ед./т,

Затраты на электроэнергию:

$$C_{ve} = W_b \times \bar{P}_{эл} \times k_{max N}, \text{ден.ед./сут.},$$

где W_b - общий расход электроэнергии по всем вентиляторам, $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{сут.}$

$$W_B = \sum_{k=1}^K W_{\text{вент}_k},$$

k - индекс вентилятора, $k=1,2,\dots,K$;
 $W_{\text{вент}_k}$ - расход электроэнергии на k -м вентиляторе, квт·ч/сут., для k -го вентилятора [122]

$$W_{\text{вент}} = \frac{9,81 \cdot 24 \cdot Q_B h}{102 \eta_B \eta_{\text{дв}}}, \text{ квт·ч/сут.}$$

η_B - КПД вентилятора; $\eta_{\text{дв}}$ - КПД двигателя вентилятора; h - депрессия общешахтная; Q_B - производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с.}$

Затраты на амортизацию

$$C_{\text{ва}} = k_{\text{пв}} \sum_{b=1}^B \bar{C}_{\text{воб}}_b N_{\text{ав}}_b, \text{ ден.ед./сут.},$$

где $k_{\text{пв}}$ - коэффициент, учитывающий стоимость прочего оборудования, для укрупненных расчетов $k_{\text{пв}} = 1,25$; $N_{\text{ав}}_b$ - суточная норма амортизации оборудования по вентиляции, $N_{\text{ав}}_b = 0,0085$; $\bar{C}_{\text{воб}}_b$ - балансовая стоимость оборудования по вентиляции на шахте, ден.ед..

Затраты на материалы:

$$C_{\text{вм}} = \frac{k_{\text{пв}} k_{\text{зчв}}}{T_g} \sum_{b=1}^B \bar{C}_{\text{воб}}_b, \text{ ден.ед./сут.},$$

где $k_{\text{зчв}}$ - коэффициент, учитывающий затраты на материалы и запчасти, для укрупненных расчетов $k_{\text{зчв}}=0,06$.

Затраты на заработную плату:

$$C_{\text{взп}} = k_{\text{дв}} N_{\text{см}} \sum_{b=1}^B N_{\text{обс}}_b T_b, \text{ ден.ед./сут.},$$

где $k_{\text{дв}}$ - коэффициент доплат рабочим к тарифным ставкам, $k_{\text{дв}}=1,74$; $N_{\text{обс}}_b$ - норма обслуживания b -го вентилятора, чел/см.

Затраты по шахте на 1 м^3 воздуха, подаваемого в шахту:

$$\bar{C}_B = \frac{C_{\text{вм}} + C_{\text{ва}} + C_{\text{вэ}} + C_{\text{взп}}}{Q_B},$$

ден.ед./ м^3 .

При разработке модели совместной оптимизации параметров технологических процессов и технологических схем подсистем шахты вводятся ограничения по пропускной способности воздухоподающих и вентиляционных стволов, а также проверка соответствия технических характеристик вентиляторных установок величине общешахтной депрессии с привязкой к пакету прикладных программ, применяемых на шахтах для расчёта вентиляции. **ГИАБ**

Коротко об авторах –

Мельник В.В. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Подземной разработки пластовых месторождений, smsu-prpm@yandex.ru
Шулятьева Л.И. – кандидат технических наук, докторант кафедры Подземной разработки пластовых месторождений,
Шабловский А.В. – аспирант,
 Московский государственный горный университет,
 Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

