

УДК 621.63:622.271

Ю.А. Гордиенко, канд. техн. наук,
П.В. Кондрахин, канд. техн. наук, ООО «Аэровент»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ШАХТНОГО ВОЗДУХА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ ЗАБОЕВ

Усовершенствована математическая модель проветривания тупиковых выработок. Дополнения касаются возможности учета наличия местных сопротивлений в вентиляционном трубопроводе. Изучено влияние на характеристику трубопровода подключенных к нему средств кондиционирования шахтного воздуха. Определены основные показатели эффективности проветривания выработок при оснащении их шахтными кондиционерами типа КПШ.

вентилятор местного проветривания, шахтный кондиционер, эффективность проветривания, тупиковая выработка

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Значительную сложность представляет обеспечение допустимых с точки зрения санитарных норм температурных условий в проходческих забоях. Это обусловлено как увеличением глубины ведения горных работ, так и значительным ростом энерговооруженности проходческого оборудования и, соответственно, теплоотдачи от него. Внедрение шахтной воздухоохладительной техники позволяет эффективно решать вопрос нормализации температурных условий [1, 2]. Конструкция шахтного кондиционера подразумевает наличие воздухообрабатывающего блока (ВОБ) который последовательно включается в воздухоподающий став системы «вентилятор местного проветривания (ВМП) – трубопровод - выработка». Аэродинамическое сопротивление ВОБ может оказывать значительное влияние на параметры и показатели эффективности системы проветривания тупиковых выработок. Однако оценка указанного влияния не проводилась. С учетом того, что сопротивление ВОБ может достигать значительных величин, приобретает актуальность вопрос оценки его влияния на эффективность проветривания выработок.

Анализ исследований и публикаций. Задача моделирования вентиляционных систем тупиковых выработок «ВМП - гибкий неплотный трубопровод» рассмотрена в [3]. В данной работе математическая модель (ММ) проветривания позволяет определить показатели эффективности проветривания выработок за все время их проведе-

ния, однако не позволяет оценить влияние местных сопротивлений на эти показатели. Эти оценки необходимы для оптимального проектирования ВМП, работающих в комплексе с шахтными системами кондиционирования воздуха.

Постановка задачи. Целью данной работы является оценка влияния дополнительного аэродинамического сопротивления, вызванного подключением к вентиляционному ставу воздухоохлаждающего оборудования, на показатели эффективности проветривания. Для достижения цели необходимо провести доработку ММ вентиляционной системы «ВМП – гибкий неплотный трубопровод». В ММ необходимо обеспечить учет наличия местных сопротивлений в трубопроводе. Сопротивления обусловлены включенным в став ВОБ. Также ММ должна учитывать его перемещение вслед за продвигающимся проходческим забоем.

Изложение материала и результаты. Схема расположения оборудования в тупиковой выработке при использовании шахтного кондиционера представлена на рисунке 1.

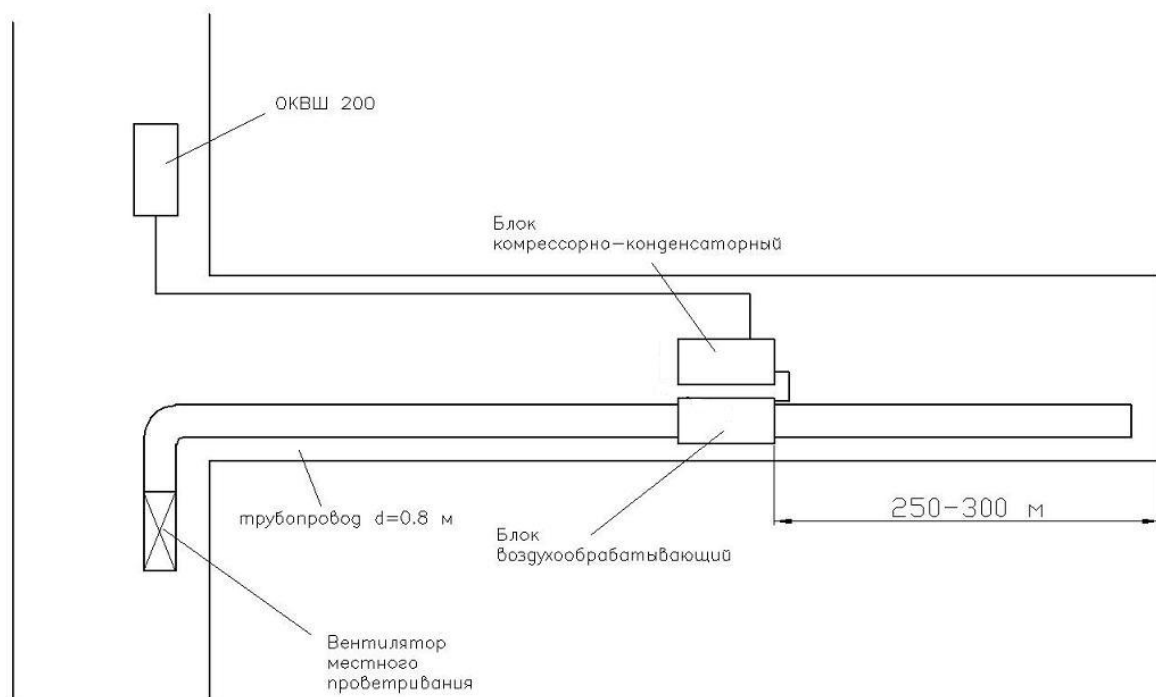


Рисунок 1. Схема расположения блоков шахтного кондиционера в проводимой выработке

Как видно из схемы, в став вентиляционного трубопровода включен ВОБ, обладающий аэродинамическим сопротивлением. На рисунке 2 представлена расчетная схема для составления уравнения характеристики вентиляционного трубопровода для такого случая.

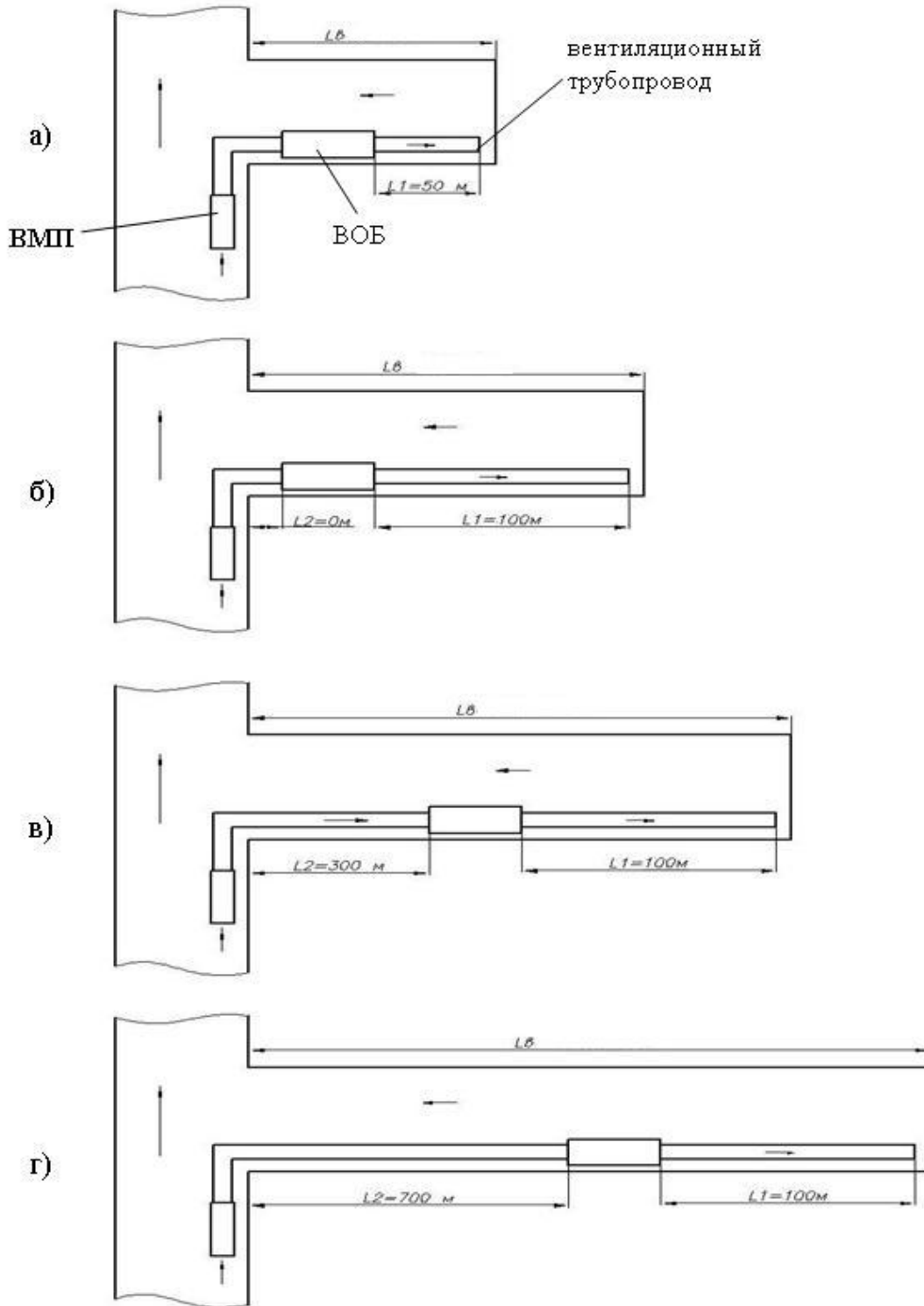


Рисунок 2. Расчетная схема для составления уравнения характеристики вентиляционного трубопровода

Как известно, характеристика вентиляционного трубопровода представляет собой зависимость депрессии от расхода воздуха. В случае гибкого шахтного трубопровода при переменной его длине данная зависимость является функцией двух переменных – расхода воздуха в начале трубопровода и его длины. Зависимость является

нелинейной в связи с наличием утечек и, соответственно, переменным расходом по длине трубопровода. Для приведенной на рисунке 2 схемы источниками потерь давления в трубопроводе являются:

- участок трубопровода L_2 проходящий от ВМП до ВОБ. Потери давления имеют распределенный характер и описываются уравнением, предложенном в [3];

- ВОБ. Является местным сопротивлением, потери давления в котором описываются уравнением $h = \varepsilon \frac{\rho V^2}{2}$ (1), где h – потери давления в местном сопротивлении, Па; ε – коэффициент местного сопротивления, ρ – плотность среды, кг/м³; V – скорость движения среды в местном сопротивлении, м/с;

- участок трубопровода L_1 от ВОБ до призабойной зоны. Потери давления аналогичны участку L_2 . Длина участка L_1 принимается постоянной и равной 100 м;

- потери динамического давления на выходе из трубопровода. Определяются по формуле $h = \frac{\rho V^2}{2}$ (2).

Предложенная ранее ММ проветривания выработки [3] имеет вид системы уравнений, которые описывают характеристику гибкого шахтного вентиляционного трубопровода как функцию расхода воздуха в его начале и его длины, а также характеристику вентилятора, как функцию его подачи.

$$\begin{cases} h_g = f(q_g, l) \\ h_g = g(q_g) \end{cases} \quad (3)$$

где $h_g = f(q_g, l)$ – уравнение характеристики гибкого неплотного трубопровода;

$h_g = g(q_g, l)$ – уравнение характеристики ВМП; (4)

q_g – подача вентилятора, м³/с;

l – длина трубопровода, м;

Решением данной системы являются подача q и развиваемое давление h вентилятора при заданной длине трубопровода l .

Суммируя потери давления по длине, получим уравнение характеристики трубопровода для случая, когда в став включен ВОБ:

$$h_g(q_g, l_1, l_2) = q_g^2 R_{mp.z}(l_1) \left(\frac{0,59}{K_{y.mp}(q_g, l_1)} + 0,41 \right)^2 +$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[\varepsilon \left(\frac{q_{\text{в}}}{\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_1)} \right)^2 \cdot \frac{8\rho}{\pi^2 \cdot d_m^4} \right] + \quad (5) \\
 & + \left(\frac{q_{\text{в}}}{\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_1)} R_{\text{тп.з}}(l_2) \left(\frac{0,59}{\kappa_{\text{у.тп}}\left(\frac{q_{\text{в}}}{\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_1)}, l_2\right)} + 0,41 \right)^2 + \right. \\
 & \left. + \left[\left(\frac{q_{\text{в}}}{\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_1) \kappa_{\text{у.тп}}\left(\frac{q_{\text{в}}}{\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_1)}, l_2\right)} \right)^2 \cdot \frac{8\rho}{\pi^2 \cdot d_m^4} \right] \right];
 \end{aligned}$$

где $\kappa_{\text{у.тп}}(q_{\text{в}}, l_{1(2)})$ – коэффициент утечек при расходе в начале трубопровода (у ВМП) $q_{\text{в}}$ и длине трубопровода $l_{1(2)}$; $R_{\text{тп.з}}(l_{1(2)})$ – аэродинамическое сопротивление трубопровода длиной $l_{1(2)}$; d_m – диаметр трубопровода, м.

Совместное решение уравнений (4) и (5) позволяет определить параметры рабочего режима ВМП и показатели эффективности проветривания выработки за все время ее проведения. Показатели эффективности обоснованы в работе автора [3].

Рассмотрим процесс проветривания выработки оснащенной трубопроводом с $d_m=0,8$ м, шахтным кондиционером КПШ-300, максимальная (проектная) длина выработки 1000 м. Длина 1000 м при $d_m=0,8$ м принята на основе результатов, полученных в [5]. В качестве ВМП рассмотрим ВМЭ2-8 и вентилятор новой серии ВМЭВО-6,7А. Характеристики трубопровода, а также аэродинамические характеристики ВМП представлены на рисунке 3. Семейство характеристик трубопровода получено для диапазона $q_{\text{в}} = 0 \dots 16$ м³/с и $l = 0 \dots 1000$ м с шагом $dl=100$ м.

Для сравнительного анализа влияния местного сопротивления на характеристики трубопровода на рисунке 4 показаны характеристики трубопровода с $d_m=0,8$ м в котором отсутствует ВОБ.

Анализ показывает, что в диапазоне длин $l=0 \dots 400$ м наличие ВОБ значительно влияет на характеристику трубопровода. При такой длине трубопровода утечки невелики, следовательно, расход воздуха у ВОБ достигает значений 7...8 м³/с. Составляющая потеря, вызванная местным сопротивлением, достигает 1500 Па и существенно уве-

личивает кривизну характеристики. При длине выработки, близкой к максимальной (проектной), утечки воздуха по длине значительны. Расход воздуха у ВОБ – $3...4 \text{ м}^3/\text{с}$. Влияние местного сопротивления на кривизну характеристики при этом снижается.

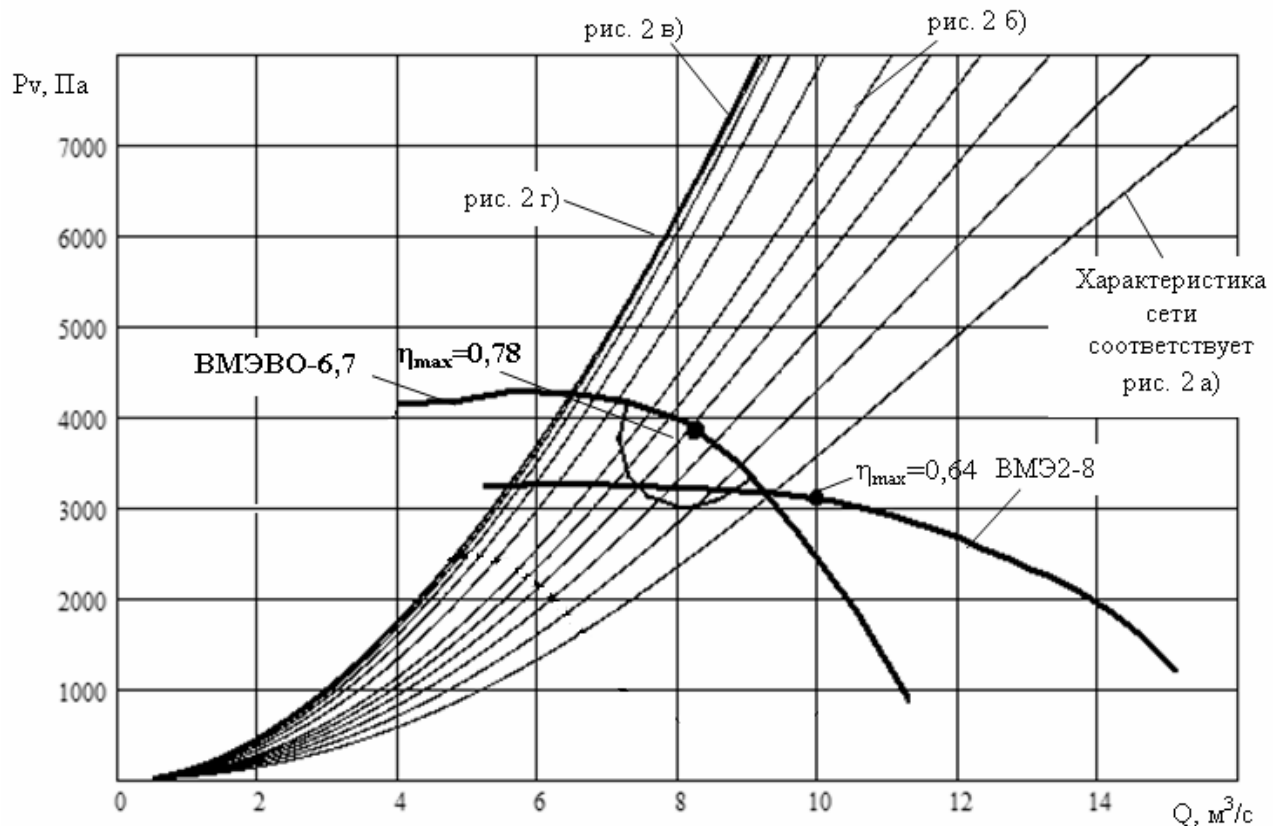


Рисунок 3. Аэродинамические характеристики ВМП и характеристики трубопровода, построенные с учетом сопротивления ВОБ

С точки зрения работы ВМП включение в сеть местного сопротивления и увеличение крутизны характеристики трубопровода приводит к уменьшению диапазона изменения режимов ВМП. При этом уменьшается время работы вентилятора в зоне характеристики с большими значениями подачи ($q_v = 9...15 \text{ м}^3/\text{с}$). На этих режимах работа вентилятора сопровождается высокой потребляемой мощностью.

Влияние местного сопротивления приводит к тому, что ВМП VMЭВО-6,7A все время проветривания работает на режимах с КПД более 0,68, вентилятор VMЭ2-8 работает в зоне максимального КПД только на начальном этапе проведения выработки (до длин $300...400 \text{ м}$).

Полученные в результате моделирования проветривания выработки вентиляторами VMЭВО-6,7A и VMЭ2-8 значения показателей эффективности проветривания составили: суммарные энергозатраты

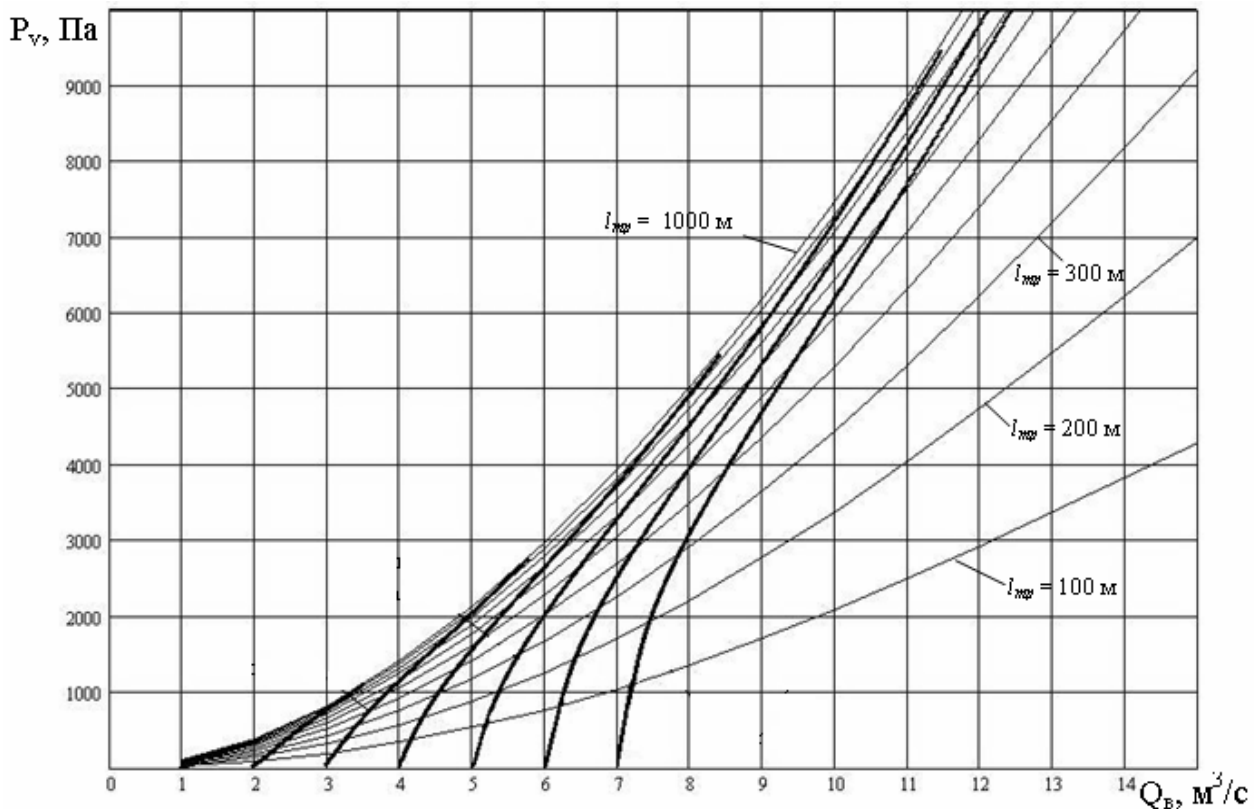


Рисунок 4. Характеристики гнучкого вентиляційного трубопровода

(без урахування затрат енергії на охолодження повітря) – $3,6 \cdot 10^5$ кВт·ч і $3,7 \cdot 10^5$ кВт·ч, сумарний об'єм повітря, поданого в забій – $1,9 \cdot 10^8$ м³ і $1,76 \cdot 10^8$ м³, середневзвешений КПД – 0,71 і 0,52, відповідно. Температура додаткового нагрівання повітря в ВМП – 1°С і 2,6°С. Дані отримані для значення швидкості проведення вироботки 80 м/мес. В обох випадках вентилятори забезпечували витрату повітря в забій не менше допустимого. Для вироботок сеченим до 10 м² мінімальний витрату становить 1,9 м³/с.

Висновки і напрямлення подальших досліджень.

По результатам даної роботи можна зробити наступні висновки:

- застосування шахтних кондиціонерів типу КПШ для охолодження повітря, подаваного в забій, є ефективним засобом забезпечення допустимих санітарних норм в забій. Робота в комплексі з застосовуваними на шахтах ВМП, дані установки забезпечують витрату повітря в забій не нижче допустимого;

- наявність ВОБ, включеного в повітроподаючий став, призводить до значительного збільшенню крутизни характеристики трубопровода при його довжинах до 300...500 м. При цьому витрату повітря у ВМП становить 8,5...9 м³/с, а в місці установки ВОБ – 6...7 м³/с. По

мере увеличения длины выработки вплоть до проектных (максимальных) значений, влияние ВОБ на характеристику уменьшается в связи со значительными утечками воздуха по длине трубопровода и, соответственно, к малым расходом воздуха непосредственно в месте установки ВОБ (3...4 м³/с);

– наиболее эффективным для работы в комплексе со средствами кондиционирования шахтного воздуха ВМП при диаметре трубопровода 0,8 м является ВМЭВО-6,7А. По основным показателям эффективности проветривания данный вентилятор превосходит аналог старой серии ВМЭ2-8. Так, суммарное энергопотребление у ВМЭВО-6,7А ниже на 3%, суммарное количество воздуха, поданного в забой больше на 8%, средневзвешенный КПД больше в 1,4 раза. При этом температура дополнительного нагрева воздуха в ВМП при применении ВМЭВО-6,7А меньше в 2,6 раза по сравнению с аналогом.

Актуальными для дальнейших исследований являются вопросы определения показателей эффективности проветривания для всех применяемых в комплексе со средствами кондиционирования шахтного воздуха ВМП и трубопроводов диаметром 0,6 м и 1 м. А также с получающими все большее распространение трубопроводами диаметром 1,2 м.

Для рассматриваемых систем проветривания характерным является скачкообразное снижение температуры воздуха по мере движения по трубопроводу. Вопрос значимости факта уменьшения температуры (а, следовательно, и плотности) воздуха после попадания в ВОБ и последующего движения по конечному участку трубопровода требует дополнительного изучения.

Список источников:

1. Яковенко А.К. и др. Передвижная холодильная установка с кондиционером КПШ-130-2-0. Уголь Украины. – 1996. – №3. – С. 17-20.
2. Алабьев В. Р. и др. Результаты приемочных испытаний опытного образца шахтного передвижного кондиционера КПШ-300. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – 2008. – Вып. 20. С.99-109.
3. Кондрахин П.В. Математическая модель вентиляционной системы «Вентилятор местного проветривания – гибкий трубопровод»//Наукові праці ДонНТУ. Випуск 104. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2006 – С.91-97.
4. Руденко В.А., Гордиенко Ю.А., Кондрахин П.В. Аналитическое представление характеристик гибких вентиляционных трубопроводов, предназначенных для проветривания тупиковых забоев// Зб. наук. праць. ДонНТУ. Серія: гірничо електромеханічна. Вип. 99. Донецьк, – 2005. – С. 189-194.
5. Кондрахин П.В. Анализ статистических параметров тупиковых горнах выработок, оснащенных ВМП // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 13 (123). Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2007 – С. 84-90.

Ю.А. Гордієнко, П.В. Кондрахін. Оцінювання впливу засобів кондиціонування шахтного повітря на показники ефективності провітрювання прохідницьких вибоїв. Удосконалено математичну модель провітрювання тупикових виробок. Доповнення відносяться до можливості врахування місцевих опорів у вентиляційному трубопроводі. Вивчено вплив на характеристику трубопроводу засобів кондиціонування шахтного повітря, які підключено. З'ясовано основні показники ефективності провітрювання виробок, які оснащені шахтними кондиціонерами типу КПШ.

вентилятор місцевого провітрювання, шахтний кондиціонер, ефективність провітрювання, тупикова виробка

Y.A. Gordienko, P.V. Kondrakhin. Estimation of influence of the mine air conditioner on characteristics of the blind-workings ventilation efficiency. *Mathematical model (MM) of "Local fan – flexible duct with leakages" system is upgraded. Local aerodynamic resistance is considered. Mine air-conditioner's influence over duct aerodynamic characteristics is investigated. Efficiency rates of the ventilation of mine workings, equipped with air-conditioner, is defined.*

local fan, mine air conditioner, efficiency of ventilation, blind working

Стаття надійшла до редколегії 08.09.2010

Рецензент: зав. отделом шахтного водоотлива

ОАО «НИИГМ им. М.М.Федорова», д-р техн. наук, проф. Э.И.Антонов

© Ю.А.Гордиенко, П.В.Кондрахин, 2010