

УДК 622.465.3:519.242 (075)

Евстратенко Л. И., аспирант
(Криворожский национальный университет)

Юрченко А. А., канд. техн. наук, доцент,

Столбченко Е. В., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОВЕТРИВАНИЕМ ШАХТ**

Євстратенко Л.І., аспірант

(Криворізький національний університет)

Юрченко А. А., канд. техн. наук, доцент,

Столбченко О.В., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ
ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ
ПРОВІТРЮВАННЯМ ШАХТ**

Yevstratenko L.I., Doctoral Student

(National University of Krivoy Rog)

Yurchenko A. A. Ph.D. (Tech.), Associate Professor,

Stolbchenko Ye. V. Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(State HEI "NMU")

**APPLICATION OF METHODS OF INDUSTRIAL EXPERIMENT
PLANNING FOR SOLVING PROBLEMS WITH MINE VENTILATION
CONTROL**

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований по применению методов планирования промышленных экспериментов для определения режимов работы, последовательно работающих вентиляторов при комбинированной схеме проветривания рудной шахты. Такой подход позволяет получить математическую модель управления распределением воздуха по потребителям и утечками воздуха через зону обрушения.

Исследование этой модели дает возможность определить значения регулирующих устройств главных вентиляционных установок оптимального режима проветривания шахты, при которых обеспеченность воздухом подземных потребителей соответствует их расчётным значениям, а утечки воздуха через зону обрушения будут минимальными.

Ключевые слова: рудная шахта, промышленный эксперимент, распределение воздуха, вентиляционная система.

Введение. Решение задач управления проветриванием шахт расчётными методами требуют знания исходной информации высокой достоверности о параметрах шахтной вентиляционной сети, вентиляционных устройств, утечек, направлении и величине естественной тяги, аэродинамических характеристиках

вентиляторов главного проветривания. Большинство этих параметров изменяются в пространстве и времени, так как топология шахтной сети, длина и сечение горных выработок не остаются постоянными в процессе отработки запасов полезного ископаемого. Кроме этого, естественная тяга изменяется из-за сезонных и суточных колебаний температуры атмосферного воздуха, режим утечек через зоны обрушения недостаточно изучен, аэродинамические характеристики вентиляторов отличаются от паспортных из-за ремонта лопаток осевого направляющего аппарата центробежных вентиляторов и др. Поэтому расчётные методы управления проветриванием шахт требуют частой корректировки исходных данных, а также установления действительных аэродинамических характеристик вентиляторов.

В настоящей работе предложен сравнительно простой метод решения этих задач с использованием теории проведения промышленных экспериментов. Он позволяет для данной конкретной шахты при неполном знании параметров горных выработок и вентиляционных сооружений, топологии вентиляционной сети, утечек воздуха, аэродинамических характеристик вентиляторов определить значения параметров регулирующих устройств вентиляторов, при которых исследуемые параметры, например, распределение свежего воздуха по подземным потребителям, будут равны требуемым (расчётным) значениям.

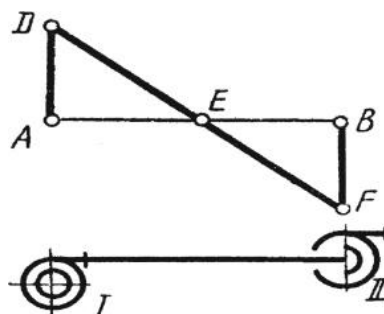
Применение в настоящее время высокопроизводительной технологии добычи полезных ископаемых подземным способом с использованием систем разработки с обрушением руды и покрывающих пород приводит к образованию зон обрушения, оказывающих существенное влияние на обеспеченность свежим воздухом подземных потребителей. Снижение утечек через эти зоны в значительной мере обеспечивается за счет применения комбинированного способа проветривания шахт. Определение режимов совместно работающих вентиляторов расчётными методами, при которых обеспечивается требуемое распределение воздуха в сети горных выработок при минимальных утечках через зону обрушения, представляет собой сложную задачу. В настоящей работе представлены результаты теоретических исследований по решению этой задачи.

Анализ исследований и публикаций. Применение в настоящее время высокопроизводительной технологии добычи полезных ископаемых подземным способом с использованием систем разработки с обрушением руды и покрывающих пород приводит к образованию зон обрушения, оказывающих существенное влияние на проветривание горных выработок. Фильтрация воздуха через зоны обрушения приводит к значительным непроизводительным его потерям, в результате чего нарушается требуемое распределение воздуха в подземных горных участках, блоках, камерах и отдельных забоях [1, 2, 3, 4]. Значительное влияние на величину утечек (притечек) воздуха через зону обрушения оказывает способ проветривания шахты. Например, при проветривании одной и той же шахты подсос воздуха через зону обрушения составляет: при всасывающем способе – 63,5%, при нагнетательном – 51%, при комбинированном – 9% [2]. Таким образом, наиболее эффективный способ проветривания шахт с зонами обрушения – комбинированный, что объясняется наличием точки с ну-

левой депрессией. Если эта точка находится под обрушением, то наблюдается уменьшение аэродинамической связи с поверхностью в связи с уменьшением разности давлений между выработками шахты и дневной поверхностью. В работах [1,5] приведены данные по эффективности действия зоны нулевой депрессии с количественной оценкой утечек воздуха через зоны обрушения, которые могут быть использованы в расчетах при проектировании вентиляции. В работе [5] изложены результаты экспериментальных исследований по влиянию зоны с нулевой депрессией на характер движения воздуха через зоны обрушений. В настоящее время разработаны достаточно эффективные методы управления зоной с нулевой депрессией [9]. Однако в алгоритмах вычислений не используются методы планирования промышленных экспериментов для определения режимов работы последовательно работающих вентиляторов при комбинированной схеме проветривания рудной шахты.

Цель работы – выполнить теоретические исследования по определению режимов работы вентиляторов на вентиляционную сеть при комбинированной схеме проветривания шахты, при которых обеспеченность воздухом подземных потребителей соответствует их расчётным значениям, а утечки воздуха через зону обрушения будут минимальными.

Основная часть. Появление зоны с нулевой депрессией (точка E, рис. 1) возможно только при работе двух вентиляционных установок, одна из которых должна работать на нагнетание (в точке A, рис. 1), а другая (в точке B) – на всасывание [6]. То есть, имеем последовательное включение двух вентиляторов, расположенных на разных концах вентиляционной сети с зоной обрушения.



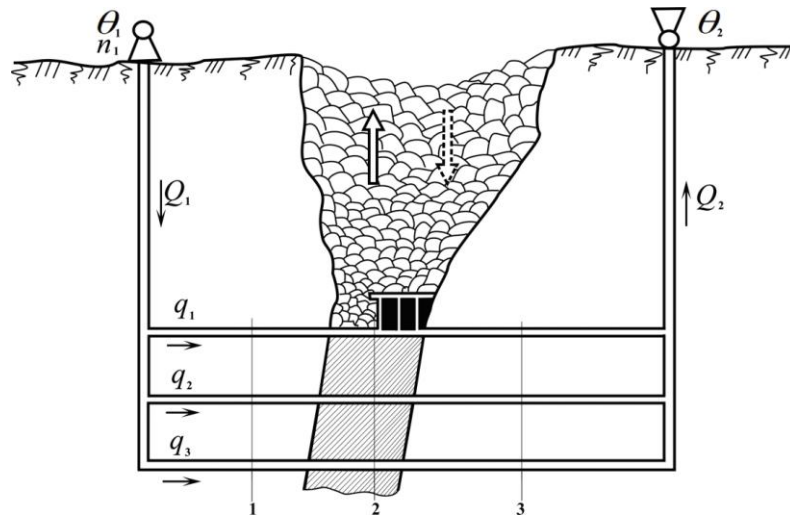
I – вентилятор главного проветривания, работающий на нагнетание; II – вентилятор главного проветривания, работающий на всасывание; AD – напор первого вентилятора; BF – депрессия второго вентилятора; E – точка нулевой депрессии

Рисунок 1 – Эпюра статического давления при включении вентиляторов в последовательную работу

Таким образом, для снижения утечек (притечек) воздуха через зону обрушения необходимо смещение зоны нулевой депрессии в место ведения очистных работ, что возможно осуществить только путём регулирования режимов работы вентиляторов главного проветривания. При этом разность статических давлений на поверхности зоны обрушения и у её подошвы будет близка к нулю, а утечки воздуха будут минимальны (рис. 2).

Для определения значений параметров регулирующих устройств вентилято-

ров, которые определяют их режим работы, могут быть использованы методы математической статистики, в частности, методы планирования промышленных экспериментов при поиске оптимальных условий [7, 8].



Q_1, Q_2 – подача первого и второго вентилятора соответственно, $\text{м}^3/\text{с}$; θ_1, θ_2 – угол установки лопаток осевого направляющего аппарата первого и второго вентилятора соответственно, град.; n_1 – частота вращения рабочего колеса первого вентилятора, об/с; q_1, q_2, q_3 – расходы свежего воздуха по подземным потребителям, $\text{м}^3/\text{с}$; 1, 2, 3 – возможные места нахождения точки с нулевой депрессией

Рисунок 2 – Схема вентиляционной системы шахты с зоной обрушения

При этом вентиляционная система представляется как кибернетическая система с входными и выходными параметрами (рис. 3). Такой подход позволяет определить режимы работы вентиляторов главного проветривания, при которых утечки воздуха через зону обрушения будут минимальны при нормируемом распределении воздуха между потребителями.



θ_1, θ_2 , – углы установок лопаток направляющих аппаратов вентиляторов, град; n_1 – частота вращения рабочего колеса первого вентилятора, об/с; q_1, q_2, \dots, q_n – расходы воздуха по подземным потребителям, $\text{м}^3/\text{с}$; n – количество подземных потребителей; Q_1, Q_2 – подача первого и второго вентилятора соответственно, $\text{м}^3/\text{с}$; Φ – критерий оптимизации (функция цели решаемой задачи)

Рисунок 3 – Схема вентиляционной системы шахты с зоной обрушения

В качестве входных параметров системы приняты значения параметров, характеризующие положения устройств, регулирующих производительность и депрессию (напор) установленных вентиляторов главного проветривания. Примем, для примера, что первый центробежный вентилятор, работающий на нагнетание, оборудован осевым направляющим аппаратом и системой управления приводным электродвигателем, позволяющей изменять частоту вращения рабочего колеса. Второй центробежный вентилятор, допустим, оборудован только осевым направляющим аппаратом. В этом случае входными параметрами кибернетической системы будут:

- угол установки лопаток осевого направляющего аппарата первого вентилятора θ_1 , град;
- частота вращения рабочего колеса первого вентилятора n_1 , об/с;
- угол установки лопаток осевого направляющего аппарата второго вентилятора θ_2 , град,

В качестве выходных параметров вентиляционной системы с зоной обрушения принимаем параметры, которые характеризуют обеспеченность воздухом подземных потребителей и подачи вентиляторов.

Утечки (притечки) через зону обрушения, как отмечалось выше, зависят от положения зоны нулевой депрессии в сети горных выработок. Если она находится в выработках висячего бока (точка 1, рис. 2), то в этом случае интенсивность работы первого вентилятора, работающего на нагнетание, занижена и будут наблюдаться притечки воздуха через зону обрушения под воздействием депрессии второго вентилятора, работающего на всасывание. При этом подача второго вентилятора (Q_2) будет выше, чем подача первого вентилятора (Q_1), на величину притечек. При значительном снижении интенсивности работы второго вентилятора зона нулевой депрессии смещается в выработки лежачего бока (точка 3, рис. 2) и наблюдается обратная картина. В этом случае статическое давление в зоне ведения очистных работ будет выше атмосферного и будут иметь место утечки воздуха через зону обрушения. Подача первого вентилятора (Q_1) при этом будет выше, чем подача второго вентилятора (Q_2), на величину утечек. Если подобрать режимы работы вентиляторов таким образом, чтобы зона нулевой депрессии находилась в месте ведения очистных работ у подошвы зоны обрушения (точка 2, рис. 2), то в этом случае утечки и притечки воздуха через зону обрушения будут отсутствовать, а подачи обоих вентиляторов сравняются ($Q_1=Q_2$).

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к определению режимов работы вентиляторов главного проветривания, при которых обеспеченность свежим воздухом подземных потребителей будет наиболее близка к расчётной, а подачи вентиляторов будут равны между собой. Это задача поиска оптимальных условий протекания производственных процессов, математический аппарат которого хорошо развит [7, 8]. Прежде всего необходимо разработать критерий оптимизации (функцию цели) решаемой задачи (Φ), который принимаем в виде:

$$\Phi = \left| \frac{q_1 - q_{1p}}{q_{1p}} \right| + \left| \frac{q_2 - q_{2p}}{q_{2p}} \right| + \dots + \left| \frac{q_n - q_{np}}{q_{np}} \right| + \left| \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \right|, \quad (1)$$

где $q_1, q_2 \dots q_n$ – расходы воздуха по подземным потребителям, м³/с; $q_{1p}, q_{1p}, \dots, q_{np}$ – расчётные расходы воздуха подземных потребителей соответственно, м³/с; Q_1, Q_2 – подача первого и второго вентиляторов соответственно, м³/с.

Определение оптимальных режимов вентиляторов главного проветривания, при которых критерий оптимизации Φ будет наилучшим (минимальным), можно осуществить с помощью методов математической статистики [7, 8]. Эти методы позволяют при неполном знании внутренних связей исследуемого процесса путём проведения экспериментов определить аналитическую зависимость показателя Φ от входных регулируемых параметров θ_1, n_1, θ_2 .

Перед проведением факторного эксперимента необходимо установить диапазон варьирования входных параметров θ_1, n_1, θ_2 . Определяют максимальное значение каждого параметра в натуральных единицах измерения, что в кодированных значениях параметра соответствует +1. Аналогично минимальное значение каждого параметра соответствует -1, а среднее значение называют нулевым уровнем, что в кодированном выражении соответствует 0. С учётом этого выбираем следующие диапазоны варьирования входных регулируемых параметров модели:

- угол установки лопаток направляющего аппарата первого вентилятора θ_1 : верхний уровень – $\theta_{1\max}$ (+1); нижний уровень – $\theta_{1\min}$ (-1); нулевой уровень – $\theta_{10} = \frac{\theta_{1\max} + \theta_{1\min}}{2}$ (0); шаг варьирования – $(\theta_{1\max} - \theta_{10}) = \Delta\theta_1$;

- частота вращения рабочего колеса первого вентилятора n_1 : верхний уровень – $n_{1\max}$ (+1); нижний уровень – $n_{1\min}$ (-1); нулевой уровень – $n_{10} = \frac{n_{1\max} + n_{1\min}}{2}$ (0); шаг варьирования – $(n_{1\max} - n_{10}) = \Delta n_1$;

- угол установки лопаток направляющего аппарата второго вентилятора θ_2 : верхний уровень – $\theta_{2\max}$ (+1); нижний уровень – $\theta_{2\min}$ (-1); нулевой уровень – $\theta_{20} = \frac{\theta_{2\max} + \theta_{2\min}}{2}$ (0); шаг варьирования – $(\theta_{2\max} - \theta_{20}) = \Delta\theta_2$.

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) предусматривает проведение 2^k опытов, где k – количество варьируемых входных параметров (факторов) [7, 8]. Для трёх факторов ($k=3$) опыты проводят при комбинациях, соответствующих координатам вершин куба, который имеет центр в точке с нулевым уровнем факторов $(\theta_{10}, n_{10}, \theta_{20})$, а ребро имеет длину в два шага варьирования. Задают план ПФЭ с помощью матрицы эксперимента. Если поменять начало отсчёта, т.е. перенести его в точку нулевого уровня, и изменить масштаб осей с натуральных значений $(\theta_1, n_1, \theta_2)$ в шаги варьирования $(\Delta\theta_1, \Delta n_1, \Delta\theta_2)$, то план ПФЭ можно записать в виде соответствующей матрицы.

В новой системе координат $(\bar{\theta}_1, \bar{n}_1, \bar{\theta}_2)$ точки проведения опытов выражены в кодированных величинах (в шагах варьирования), которые принимают значения +1 или -1 (табл. 1).

Таблица 1 – План проведения полного факторного эксперимента ($\kappa = 3$)

Номер опыта	$\bar{\theta}_1$	\bar{n}_1	$\bar{\theta}_2$
1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1
4	-1	-1	+1
5	+1	+1	-1
6	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1
8	-1	-1	-1

Для перехода с кодированных значений факторов в натуральные и наоборот используют зависимости перехода:

$$\bar{\theta}_1 \cdot \Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_{10}; \quad \bar{n}_1 \cdot \Delta n_1 = n_1 - n_{10}; \quad \bar{\theta}_2 \cdot \Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_{20}, \quad (2)$$

где θ_1, n_1, θ_2 - натуральные значения входных параметров; $\bar{\theta}_1, \bar{n}_1, \bar{\theta}_2$ - кодированные значения входных параметров; $\Delta\theta_1, \Delta n_1, \Delta\theta_2$ - шаги варьирования входных параметров; $\theta_{10}, n_{10}, \theta_{20}$ - нулевые значения входных параметров.

Для получения аналитической зависимости критерия оптимизации от входных параметров, то есть математической модели управления распределением воздуха по подземным потребителям и утечками через зону обрушения, в каждом опыте необходимо производить измерение расходов воздуха по каждому подземному потребителю (q_1, q_2, \dots, q_n) и подач вентиляторов (Q_1, Q_2).

По результатам измерений выходных параметров по выражению (1) рассчитывают значение критерия оптимизации Φ в каждом опыте. Результаты измерений и вычислений сводят в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты измерений выходных параметров при проведении эксперимента

№ опыта	Входные параметры			Выходные параметры					
	$\bar{\theta}_1$	\bar{n}_1	$\bar{\theta}_2$	q_1	q_2	q_n	Q_1	Q_2	Φ
1	+1	+1	+1	q_{11}	q_{21}	q_{n1}	Q_{11}	Q_{21}	Φ_1
2	-1	+1	+1	q_{12}	q_{22}	q_{n2}	Q_{12}	Q_{22}	Φ_2
3	+1	-1	+1	q_{13}	q_{23}	q_{n3}	Q_{13}	Q_{23}	Φ_3
4	-1	-1	+1	q_{14}	q_{24}	q_{n4}	Q_{14}	Q_{24}	Φ_4
5	+1	+1	-1	q_{15}	q_{25}	q_{n5}	Q_{15}	Q_{25}	Φ_5
6	-1	+1	-1	q_{16}	q_{26}	q_{n6}	Q_{16}	Q_{26}	Φ_6
7	+1	-1	-1	q_{17}	q_{27}	q_{n7}	Q_{17}	Q_{27}	Φ_7
8	-1	-1	-1	q_{18}	q_{28}	q_{n8}	Q_{18}	Q_{28}	Φ_8

Таким образом, после определения значений коэффициентов получаем зависимость (3) в кодированных значениях переменных, т.е. в шагах их варьирования.

Полученная таким образом математическая модель управления распределением воздуха между подземными потребителями позволяет определить режимы работы вентиляторов главного проветривания, при которых все потребители обеспечены требуемым количеством воздуха, а утечки через зону обрушения будут минимальными.

Для определения значений входных регулируемых параметров системы, при которых показатель Φ минимален, то есть относительная разница выходных параметров системы и их нормируемых значений наименьшая, необходимо вначале получить аналитическую зависимость $\Phi = (\theta_1, n_1, \theta_2)$ в натуральных значениях входных параметров.

Воспользовавшись выражением (2), зависимость (3) можно получить в натуральных значениях переменных в следующем виде:

$$\hat{O} = b_0 + b_1\theta_1 + b_2n_1 + b_3\theta_2 + b_{12}\theta_1n_1 + b_{13}\theta_1\theta_2 + b_{23}n_1\theta_2 + b_{123}\theta_1n_1\theta_2, \quad (4)$$

где b_0 – свободный член уравнения; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты при линейных членах; $b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты при нелинейных членах; θ_1, n_1, θ_2 – натуральные значения входных параметров.

Оптимальные значения входных параметров можно определить, исследовав выражение (4) на экстремум (минимум), при котором достигается равенство нулю частных производных функции Φ . Процедура исследования сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_1} &= b_1 + b_{12}n_1 + b_{13}\theta_2 + b_{123}n_1\theta_2, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial n_1} &= b_2 + b_{12}\theta_1 + b_{23}\theta_2 + b_{123}\theta_1\theta_2, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \theta_2} &= b_3 + b_{13}\theta_1 + b_{23}n_1 + b_{123}\theta_1n_1. \end{aligned}$$

Разработанный метод может быть предложен для определения режимов работы вентиляторов главного проветривания, при которых утечки (приточки) воздуха через зоны обрушения сведены к минимуму при расчётном распределении воздуха по подземным потребителям.

Выводы. 1. В результате теоретических исследований с использованием методов теории планирования промышленных экспериментов дана оценка режимов работы вентиляторов, работающих последовательно на вентиляционную сеть, которая позволяет оценить эффективность проветривания подземных горных выработок.

2. На основании проведенного факторного эксперимента получена матема-

тическая модель управления распределением воздуха в шахте при комбинированном способе проветривания, позволяющая определять режимы работы вентиляторов главного проветривания, при которых обеспеченность свежим воздухом подземных потребителей будет наиболее близка к расчётной при минимальных утечках воздуха через зону обрушения.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черных, А.Д. Открыто-подземная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, Б.Н. Андреев, И.Н. Ошмянский. – К.: Техника, 2010. – 520 с.
2. Повышение эффективности управления вентиляционными режимами железорудных шахт Украины: / В.И. Голинько, И.А. Евстратенко, Г.П. Кривцун, Л.И. Евстратенко. – Кривой Рог: Діоніс, 2012 – 172 с.
3. Oshmyansky, I.B. and Yevstratenko, L.I. (2014), “Substantiation of parameters of filtration flows in mining collapsed areas”, *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 373 – 378.
4. Изменение газовой проницаемости в напряженных горных породах / В.Г. Перепелица, В.С. Кулинич, Г.А. Шевелев, С.В. Кулинич // Уголь Украины. - 2006. - № 3. - С. 33-35.
5. Мохирев, Н. Н. Эффективные способы вентиляции подземных горнодобывающих предприятий / Н. Н. Мохирев // Горная промышленность. – 2004. - №5. – С. 26-31.
6. Бодунов, А.В. Насосы, вентиляторы, компрессоры / А.В. Бодунов.– Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2005. – 108 с.
7. Засименко, В.М. Основи теорії планування експерименту / В.М. Засименко.– Львів: Держ. ун-т «Львівська політехніка», 2000. – 204с.
8. Пінчук, С.Й. Організація активного експерименту / С.Й. Пінчук, І.Г. Рослик. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2003. – 87 с.
9. Совершенствование метода расчета реконфигурируемых шахтных вентиляционных систем с использованием параллельных вычислений / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 119. – С. 87-99.

REFERENCES

1. Chernikh, A. D., Andreev, B. N. and Oshmianski, I. B. (2010), *Otkryto-podzemnaya razrabotka rudnikh mestorozhdeniy* [Opencast-underground of ore deposits], Tehnika, Kiev, Ukraine.
 2. Golinko, V.I., Yevstratenko, I.A., Krivtsun, G.P. and Yevstratenko, L.I. (2012), *Povysheniye effektivnosti upravleniya ventilatsionnymi rezimami zhelezorudnikh shakht Ukrainy* [Improving management effectiveness of the ventilation modes iron ore mines in Ukraine], Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.
 3. Oshmyansky, I.B. and Yevstratenko, L.I. (2014), “Substantiation of parameters of filtration flows in mining collapsed areas”, *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 373 – 378.
 4. Perepelitsa, V.G, Kulinich, V.S., Shevelev, G.A. and Kulinich, S.V. (2006) «Changes in gas permeability in stressed rocks», *Coal of Ukraine*, no. 3, pp. 33-35
 5. Mokhiev, N. N. (2004) «Effective methods of ventilation of underground mining», *Mining Industry*, no. 5, pp. 26-31.
 6. Bodunov, A. C. (2005) *Nasosy, ventilyatory, kompressory* [Pumps, fans, compressors], Nizhny Novgorod state architect.-builds University, N. Novgorod, Russia.
 7. Zasimenko, C. M. (2000) *Osnovy teorii planuvannya eksperimentu*[Fundamentals of the theory of experiment planning], State University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine.
 8. Pinchuk, S. I. and Roslik, I. G. (2003) *Organizatsiya aktivnogo eksperimentu* [Organization of the active experiment], Systemny tekhnologiy, Dnepropetrovsk, Ukraine.
 9. Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye., Zhalilov, A.Sh. and Bokiyy, A.B. (2014), «Perfection of method of calculation of the rekonfigured mine ventilanion systems with the use of parallel calculations», *Geo-Technical Mechanics*, no. 119, pp. 87-99.
-

Об авторах

Евстратенко Лилия Игоревна, аспирант кафедры рудничной аэрологии и охраны труда, Криворожский национальный университет Министерства образования и науки Украины, Кривой Рог, Украина, Liliya.evstratenko@gmail.com

Юрченко Аннета Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры экологии, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, anneta_yurchenko@ukr.net

Столбченко Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, elena_aot@ukr.net

About the authors

Yevstratenko Lilia Igorevna, Doctoral Student, Department of Mine Aerology and Labour Protection, National University of Krivoy Rog Ministry of Education and Science of Ukraine, Krivoy Rog, Ukraine, Liliya.evstratenko@gmail.com

Yurchenko Anneta Anatoliievna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of Ecology Department, State Higher Educational Institution "National Mining University (SHEI "NMU")", Dnepropetrovsk, Ukraine, anneta_yurchenko@ukr.net

Stolbchenko Yelena Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor in Department of Aerology and Protection Of Labour, State Higher Educational Institution "National Mining University (State HEI "NMU")", Dnepropetrovsk, Ukraine, elena_aot@ukr.net

Анотація. Наведено результати теоретичних досліджень щодо застосування методів планування промислових експериментів для визначення режимів роботи послідовно працюючих вентиляторів при комбінованій схемі провітрювання рудної шахти. Такий підхід дозволяє отримати математичну модель управління розподілом повітря по споживачах і витокami повітря через зону обвалення.

Дослідження цієї моделі дає можливість визначити значення регулюючих пристроїв головних вентиляційних установок оптимального режиму провітрювання шахти, при яких забезпеченість повітрям підземних споживачів відповідає їх розрахункових значень, а виток повітря через зону обвалення будуть мінімальними.

Ключові слова: рудна шахта, промисловий експеримент, розподіл повітря, вентиляційна система.

Abstract. The article represents theoretical results on applying methods of industrial experiment planning for specifying operational modes for series operating ventilators at combined scheme of the ore-mine airing. This approach provides a mathematical model of the air-distribution control among the users and air leakage from the caving zone.

The model helps specifying optimal values for regulators in the main ventilating plant for proper operation of the mine airing when air provision for the underground users corresponds to their projects values and air leakage from the caving zone is minimal.

Keywords: ore mine, industrial experiment, air distribution, ventilation system.

Статья поступила в редакцию 7.01.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько