ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(12):147-155
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.4:622.019.3 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-147-155

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЕТВЕЙ-ДИАГОНАЛЕЙ В ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

В.К. Ушаков

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: vk.ushakov@misis.ru

Аннотация: Проблема охраны труда в горной промышленности решается, в первую очередь, путем обеспечения надежности и эффективности функционирования (НЭФ) шахтных вентиляционных систем (ШВС). На первом этапе повышения НЭФ ШВС применяется рациональная тактика восстановления работоспособности системы без корректировки ее базового варианта. В рамках задачи разработки метода выбора мероприятий, обеспечивающих рациональную тактику устранения текущих отказов системы, необходимо сформулировать т.н. тактические правила. Исходной информацией при применении тактических правил являются список кодов отказов потребителей воздуха и матрица ветвей-диагоналей. Они должны быть сформированы на основе анализа надежности и эффективности базового варианта ШВС при имитационном моделировании процесса его функционирования. Разработан алгоритм выявления запрещенного по Правилам безопасности (ПБ) последовательного проветривания потребителей (т.н. их «загрязнения») и выбора ветвей-диагоналей и ветвей-утечек. Он основан на динамической иерархической сегментации ШВС по прохождению как свежей, так и исходящей струй. Результатом выполнения алгоритма является построение матрицы, содержащей номера ветвей-диагоналей и ветвей-утечек. В силу динамики ШВС выявление ветвей-диагоналей и ветвей-утечек выполняется динамически на основе расчета воздухораспределения в момент наступления очередного отказа. Это позволяет при выборе рациональной тактики восстановления работоспособности ШВС реализовать динамическое оптимальное регулирование воздухораспределения. Результатом повышения восстанавливаемости ШВС является как улучшение безопасности горного производства по фактору вентиляции, так и обеспечение комфортных условий труда шахтеров.

Ключевые слова: шахтная вентиляционная система, надежность, эффективность, принцип рациональной тактики восстановления работоспособности, запрещенное последовательное проветривание потребителей воздуха, ветви-диагонали, ветви-утечки.

Для цитирования: *Ушаков В.К.* Алгоритм выявления ветвей-диагоналей в шахтных вентиляционных системах для обеспечения безопасности труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 147–155. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-147-155.

Identification algorithm of diagonal branches in mine ventilation systems for higher safety in operation

V.K. Ushakov

National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: vk.ushakov@misis.ru

© В.К. Ушаков. 2020.

Abstract: Operating safety in mining is achieved through efficient and reliable performance of mine ventilation systems (MVS). The early-stage enhancement of efficient and reliable performance of MVS involves rehabilitation of the system without its re-design. When developing the procedure of choice of activities to ensure a rational current emergency maintenance tactics, it is necessary to formulate prestrategic rules. The source information in this case is the list of fault codes and a matrix of diagonal branches in the system of air consumers based on the simulation modeling of reference MVS performance to analyze its efficiency and reliability. The identification algorithm is developed to determine unsafe prohibited sequential ventilation (i.e. pollution) of air consumers and to select diagonal branches and air leakage points. The algorithm uses dynamic hierarchical segmentation of MVS with respect to fresh air flow and return ventilation current. The algorithm allows construction of a matrix of diagonal branches and leakage points. In view of dynamic nature of MVS, identification of diagonal branches and leakage points is performed in a real time in the form of air distribution calculation at the moment of a fault. This enables a real-time and optimized air distribution control when selecting efficient MVS rehabilitation tactics. Enhanced recoverability of MVS improves safety of mining by ventilation criterion and provides comfortable operation conditions for mine personnel.

Key words: mine ventilation system, efficiency, reliability, rational rehabilitation tactics, prohibited sequential ventilation of air consumers, diagonal branches, air leakage points.

For citation: Ushakov V.K. Identification algorithm of diagonal branches in mine ventilation systems for higher safety in operation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):147-155. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-147-155.

Введение

Проблема охраны труда в горной промышленности предъявляет высокие требования к надежности и эффективности функционирования (НЭФ) шахтной вентиляционной системы (ШВС) [1—4]. Поэтому особую актуальность приобретает разработка теоретических основ, методов и средств синтеза надежной и эффективной ШВС [5—12].

При моделировании процесса функционирования ШВС может быть сделан вывод о необходимости повышения показателей ее надежности и эффективности.

Выбор рациональной тактики восстановления работоспособности ШВС позволяет повысить восстанавливаемость системы и, как следствие, приводит к повышению показателей как надежности, так и эффективности ее функционирования.

Рациональная тактика восстановления работоспособности ШВС применяется для выбора мероприятий, обеспечивающих устранение текущих отказов системы.

Мероприятия по устранению отказов выбираются на основе анализа состояния ШВС в момент отказа. Для каждого потребителя воздуха проверяется, удовлетворяет ли величина расхода воздуха в нем интервалу допустимых по Правилам безопасности (ПБ) значений, а также выявляется наличие последовательного проветривания потребителей.

На этапе прогнозирования НЭФ базового варианта ШВС выявление на основе рассчитанного воздухораспределения фактов запрещенного последовательного проветривания потребителей и выбор ветвей-диагоналей выполняется работниками службы ВТБ, что в силу ряда объективных причин не исключает возможность принятия неверных решений по регулированию воздухораспределения [13—16].

На этапе повышения НЭФ ШВС при применении метода рациональной тактики восстановления работоспособности системы запрещенное последовательное проветривание потребителей и ветви-диагонали определяются на основе алгоритмически корректно выполненной сегментации ШВС [17], которая позволяет выявить аэродинамические связи между потребителями, что обеспечивает правильный выбор ветвей-диагоналей.

Алгоритм выявления ветвей-диагоналей и ветвей-утечек

Алгоритм выявления запрещенного последовательного проветривания потребителей и выбора ветвей-диагоналей и ветвей-утечек заключается в следующем.

На основе рассчитанного в_момент отказа t_j воздухораспределения $Q(t_j)$ выполняется иерархическая сегментация ШВС (по прохождению как свежей, так и исходящей струй). При этом для каждого i-го потребителя определяются множества узлов $\Omega_1^{(i)}$ и $\Omega_2^{(i)}$ — соответственно те узлы, через которые струя воздуха подводится к потребителю (включая начальный узел ветви-потребителя), и те узлы, через которые струя воздуха отводится от потребителя (включая конечный узел ветви-потребителя). В результате каждый m-ый узел сети получает два векторных кода — $\overline{C}_1^{(m)}$ и $\overline{C}_2^{(m)}$, в которых i-ый разряд соответствует i-му потребителю.

Затем путем сопоставления множеств узлов $\Omega_2^{(i)}$ и $\Omega_1^{(j)}$ для разных потребителей выявляются те пары потребителей i и j (далее называемых соответственно «загрязнитель» и «загрязняемый»), для которых $\Omega_2^{(i)} \cap \Omega_1^{(j)} \neq \varnothing$. Это значит, что имеются узлы, через которые часть исходящей струи из i-го потребителя поступает к j-му потребителю и «загрязняет» его (у этих узлов значения кодов — $C_2(i) = 1$, $C_1(j) = 1$). При этом рассматриваются только те пары потребителей, для которых такое последовательное проветривание запрещено по ПБ, что определяется на основании задаваемой в исходных данных матрицы кодов допустимости последовательного проветривания $K_{seq}(n_{к.р.}, n_{к.р.})$ (где $n_{к.р.}$ — количество всевозможных типов потребителей, $K_{seq}(i,j)$ — код допустимости поступления в потребитель i-го типа исходящей струи из потребителя j-го типа). Таким образом формируется матрица кодов наличия последовательного проветривания потребителей $K_{sqp}(n_{pot}, n_{pot})$ (где n_{pot} — количество потребителей).

Затем, в общем случае, множество потребителей-загрязнителей разбивается на подмножества $I_1, \ldots, I_m$, а множество потребителей-загрязняемых — на подмножества $J_1, \ldots, J_m$ так, что: 1) потребители из множества I_k (и только они) загрязняют потребителей из множества J_k (и только их); 2) более мелкое дробление множеств потребителей с сохранением этого свойства невозможно. Пару множеств (I_k, J_k) назовем k-ой группой относительно последовательного проветривания.

Процедура формирования таких групп выполняется следующим образом. Выбирается одна из выявленных пар потребителей i и j — загрязнитель и загрязняемый. Если i-ый потребитель не подает свою исходящую струю на вход какого-либо иного потребителя (j_1-го), а на вход j-го потребителя, в свою очередь, не подается исходящая струя от какого-либо иного потребителя (i_1-го), то эта пара ($\{i\},\{j\}$) является группой потребителей относительно последовательного проветривания (т.е. в этом случае множества потребителей I_k и J_k содержат всего лишь по одному потребителю). В противном случае в группу включаются в качестве соответственно загрязнителей и загрязняемых также все i_1-ые и j_1-ые потребители.

Процедура формирования k-ой группы завершается, если множества I_k и J_k после очередного пополнения их i_1-ми и j_1-ми потребителями соответственно уже содержат в себе все загрязнители и загрязняемые для этих новых потребителей.

Далее путем анализа кодов $\overline{C}_1$ и $\overline{C}_2$ узлов сети определяется множество $\Delta\Omega_k$ тех узлов, через которые исходящая струя из множества потребителей-загрязнителей I_k проходит во множества потребителей-загрязняемых J_k:

$$\Delta\Omega_k = \left(\bigcup_{j\in J_k}\Omega_1^{(j)}\right)\bigcap\left(\bigcup_{i\in I_k}\Omega_2^{(i)}\right). \quad (1)$$

Граничными ветвями множества $\Delta\Omega_k$ назовем те ветви, у которых только один из узлов принадлежит $\Delta\Omega_k$.

Они разделяются на четыре класса:

1. ветви, соответствующие потребителям-загрязнителям из множества I_k (у этих ветвей множеству $\Delta\Omega_k$ принадлежат только конечные узлы);

2. ветви, соответствующие потребителям-загрязняемым из множества J_k (у этих ветвей множеству $\Delta\Omega_k$ принадлежат только начальные узлы);

3. т.н. ветви-подводы, по которым свежая струя попадает во множество узлов $\Delta\Omega_k$;

4. т.н. ветви-отводы, по которым исходящая струя покидает множество узлов $\Delta\Omega_k$.

Для каждого l-го отвода определяется свое подмножество узлов $\Delta\Omega_{kl}$ из $\Delta\Omega_k$, через которые исходящая струя из множества загрязнителей I_k (точнее, из некоторого подмножества I_{kl}) достигает этого отвода.

Аналогично для каждого s-го подвода определяется свое подмножество узлов $\Delta\Omega_{ks}$ из $\Delta\Omega_k$, через которые свежая струя из этого подвода поступает в подмножество потребителей $J_{ks} \subset J_k$.

Задача устранения запрещенного последовательного проветривания, т.е. разделения исходящей и свежей струй, для k-ой группы обычно имеет решение (посредством смены направления струи в отдельных ветвях-диагоналях с помощью РРВ или же путем перекрытия ее с помощью изолирующих вентсооружений) в том случае, когда через некоторое множество отводов проходит часть исходящей струи из всех потребителей множества I_k и через некоторое множество подводов свежая струя попадает во все потребители множества J_k; причем множества узлов $\Delta\Omega_{Ik}$ и $\Delta\Omega_{Jk}$, через которые проходит воздух соответственно на указанные отводы и от указанных подводов, не имеют пересечений, т.е. $\Delta\Omega_{I_k} \bigcap \Delta\Omega_{J_k} = \varnothing$. В этом случае в качестве ветвей-диагоналей выбираются некоторые из ветвей, соединяющие эти множества узлов.

Задача разделения множества узлов $\Delta\Omega_k$ на подмножества $\Delta\Omega_{Ik}$ и $\Delta\Omega_{Jk}$ решается путем перебора всевозможных сочетаний подводов и отводов. На практике тех и других было не более четырех (по отдельности), так что этих сочетаний не более $2^8 = 256$.

Задача разделения множества узлов $\Delta\Omega_k$, вообще говоря, может иметь несколько решений, т.к. может существовать несколько вариантов сочетания отводов и подводов, при которых обеспечивается разделение исходящей и свежей струй. В каждом из вариантов разделения $\Delta\Omega_k$ на $\Delta\Omega_{Ik}$ и $\Delta\Omega_{Jk}$ в качестве ветвей-диагоналей можно выбирать либо ветви, начальные узлы которых лежат в $\Delta\Omega_{Ik}$, а конечные — в $\Delta\Omega_k|\Delta\Omega_{Ik}$, либо ветви, конечные узлы которых лежат в $\Delta\Omega_{Jk}$, а начальные — в $\Delta\Omega_k|\Delta\Omega_{Jk}$.

Затем выбирается наилучший из возможных вариантов разделения $\Delta\Omega_k$. Для этого пользователю в интерактивном режиме (при компьютерной реализации тактического метода повышения НЭФ

ШВС) предлагается на выбор один из следующих критериев оценки вариантов:

- минимальное количество выделенных ветвей-диагоналей;
- максимальный расход воздуха до регулирования в выделенных ветвях-диагоналях имеет наименьшее значение;
- суммарный расход воздуха до регулирования в выделенных ветвях-диагоналях имеет наименьшее значение.

В результате выбирается оптимальный вариант разделения множества узлов $\Delta\Omega_k$, т.е. выбирается наилучшая пара подмножеств (одно подмножество — из множества отводов, другое — из множества подводов), при которой выделяется множество ветвей-диагоналей (наименьшее, в зависимости от выбранного критерия, по количеству диагоналей, максимальному или суммарному расходу воздуха в этих диагоналях) такое, что перекрытие этих диагоналей (или опрокидывание струи в них) не мешает отводу или подводу воздуха.

Далее номера выделенных ветвей-диагоналей записываются в матрицу $D_{diag}(n_{pot}, n_{diag})$. Она содержит номера ветвей, в которых при регулировании должны быть обеспечены требуемые направления движения воздуха. В i-ой строке матрицы находятся номера тех ветвей-диагоналей, по которым к свежей струе i-го потребителя поступает недопустимое загрязнение. При этом в строке ветви-диагонали упорядочены по убыванию расхода воздуха в них, т.е. по убыванию их доли в загрязнении i-го потребителя. Затем в i-ую строку дописываются также номера тех ветвей-утечек, по которым часть свежей струи i-го потребителя поступает в обход него на исходящую струю некоторого j-го потребителя, причем последовательное проветривание i-го потребителя через j-ый потребитель недопустимо.

Процедура выявления таких ветвей-утечек аналогична описанной выше процедуре выявления ветвей-диагоналей. В этом случае вместо загрязнителей и загрязняемых рассматриваются граничные ветви сегмента утечек [15] — соответственно те его ветви-подводы, у которых начальный узел имеет $C_1(i) = 1$, и те его ветви-отводы, конечный узел которых имеет $C_2(j) = 1$. В i-ой строке матрицы D_{diag} ветви-утечки также упорядочены по убыванию расхода воздуха в них и следуют после ветвей-диагоналей. Для того, чтобы отличить номера ветвей-утечек от номеров ветвей-диагоналей последние записываются со знаком минус.

Построением матрицы D_{diag} завершается выполнение алгоритма выявления запрещенного последовательного проветривания потребителей и выбора ветвей-диагоналей и ветвей-утечек. При последующем регулировании воздухораспределения в ветвях, указанных в матрице D_{diag}, будет задаваться в качестве требуемого положительное направление движения воздуха. Поэтому перед регулированием проверяется необходимость корректировки номинальных направлений некоторых из этих ветвей так, чтобы рассчитанный до регулирования расход воздуха в ветвях-диагоналях был бы со знаком минус и, следовательно, при регулировании будет предпринята попытка опрокинуть его и устранить недопустимое загрязнение, а в ветвях-утечках — со знаком плюс и, следовательно, при регулировании его направление будет сохранено и не возникнет новое, «наведенное» регулированием, недопустимое загрязнение.

Матрица $D_{diag}(n_{pot},n_{diag})$ и список кодов отказов потребителей $K_{ref}(n_{pot})$ характеризуют состояние ШВС в момент отказа и являются исходной информацией при применении тактических правил выбора мероприятий, обеспечивающих рациональную тактику устранения текущих отказов системы.

Результаты выявления ветвей-диагоналей и ветвей-утечек в реальных ШВС

В практике исследования различных ШВС случаи, когда разделение исходящей и свежей струй было невозможно, сводились к тому, что между загрязнителями и загрязняемыми имелось не более двух последовательных ветвей и отсутствовали соответственно подводы непосредственно к начальному узлу ветви загрязняемого потребителя и отводы непосредственно от конечного узла ветви потребителя-загрязнителя. Очевидно, что в этом случае исходящая струя может быть лишь разбавлена свежей, а последовательного проветривания избежать нельзя.

Задача разделения множества узлов на подмножества и решается путем перебора всевозможных сочетаний подводов и отводов. На практике тех и других было не более четырех (по отдельности), так что этих сочетаний не более $2^8 = 256$.

Обсуждение результатов выявления ветвей-диагоналей и ветвей-утечек в реальных ШВС

Заметим, что в тех случаях, когда разделение (т.е. исходящей и свежей струй) невозможно, следует выбирать такую пару подмножеств отводов и подводов, при которой количество узлов, одновременно служащих подводу свежего и отводу загрязненного воздуха, минимально.

Предложения по направлению будущих исследований

Направлением будущих исследований является разработка тактических правил по устранению отказов ШВС, что позволит повысить восстанавливаемость системы без изменения топологии сети. При этом сокращается время восстановления и снижаются затраты на устранение отказов и, следовательно, повышаются как надежность, так и эффективность функционирования ШВС.

Заключение

Таким образом, разработан алгоритм выявления запрещенного по ПБ последовательного проветривания потребителей и выбора ветвей-диагоналей и ветвей-утечек, использующий динамическую иерархическую сегментацию ШВС по прохождению как свежей, так и исходящей струй. Результатом выполнения алгоритма является построение матрицы, содержащей номера ветвей-диагоналей и ветвей-утечек. Эта матрица характеризует состояние ШВС в момент отказа и является исходной информацией при применении тактических правил выбора мероприятий, обеспечивающих рациональную тактику устранения текущих отказов системы, а также мест их проведения. Алгоритм выявления ветвей-диагоналей и ветвей-утечек в ШВС может быть использован в различных компьютерных программах [6, 11, 13—16, 18, 19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пучков Л. А.*, *Каледина Н. О. Кобылкин С. С.* Естественнонаучный анализ рисков развития кризисных процессов // Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 4—7.

2. *Скопинцева О. В.*, *Баловцев С. В.* Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 74–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

3. *Баловцев С. В.* Оценка аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт, опасных по взрывам газа и пыли // Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 91—93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.

4. *Скопинцева О. В.*, *Вертинский А. С.*, *Иляхин С. В.*, *Савельев Д. И.*, *Прокопович А. Ю.* Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 17—20.

5. *Ушаков В. К.* Анализ затрат на создание и эксплуатацию шахтных вентиляционных систем с целью повышения безопасности труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 6. — С. 214—221. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-214-221.

6. *Пучков Л. А.*, *Каледина Н. О. Кобылкин С. С.* Системные решения обеспечения метанобезопаности угольных шахт // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 12—16.

7. *Rodriguez-Diaz O.-O., Novella-Rodriguez D. F., Witrant E., Franco-Mejia E.* Control strategies for ventilation networks in small-scale mines using an experimental benchmark // Asian Journal of Control. 2020. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/asjc.2394. DOI: 10.1002/asjc.2394.

8. *Pei X., Wang, K, Jiang S., Wu Z., Shao H.* Experimental study on ventilation supply–demand matching to dispense the stope gas disaster risk of coal mines // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2020. Vol. 11. Pp. 1299—1318. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1788172. DOI: 10.1080/19475705.2020.1788172.

9. *Mishra D. P., Panigrahi D. C., Kumar P., Kumar A., Sinha P. K.* Assessment of relative impacts of various geo-mining factors on methane dispersion for safety in gassy underground coal mines: an artificial neural networks approach // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. Vol. 150. No 119392. https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-04974-9. DOI: 10.1007/s00521-020-04974-9.

10. *El-Nagdy K.A.* Stability of multiple fans in mine ventilation networks // International Journal of Mining Science and Technology. 2013. Vol. 23. No 4. Pp. 569—571. DOI: 10.1016/j.ijmst.2013.07.016

11. *Batugin A. S.*, *Kobylkin A. S.*, *Musina V. R.* Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps // Eurasian Mining. 2019. No 2. Pp. 64—69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.

12. *Коликов К. С.*, *Каледина Н. О.*, *Кобылкин С. С.* Кафедра «Безопасность и экология горного производства»: прошлое, настоящее и будущее // Горный журнал. — 2018. — № 3. — С. 15—26. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04.

13. *Шкундин С. З.*, *Петров А. Г.*, *Лупий М. Г.*, *Вановский В. В.*, *Танцов П. Н.* Программный комплекс динамического расчета воздухораспределения для угольных шахт // Уголь. — 2017. — № 12. — С. 32—34.

14. *Dziurzynski W., Krach A., Palka T.* A reliable method of completing and compensating the results of measurements of flow parametres in a network of headings // Archives of Mining Sciences. 2015. Vol. 60. No 1. Pp. 3—24.

15. *Brickey A.J.*, *Lopes T.V.* F. Incorporation Ventilation into Production Scheduling / Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium, June 17—22, 2017. Pp. 2-23—2-28.

16. *Castilla-Gomez J., Herrera-Herbert J., Campillos-Prieto A.* Modelling and optimization of a ventilation network in underground mines // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Conference Proceedings. 2015, Book 1, Vol. 3. Pp. 469—475.

17. *Ушаков В. К.* Динамическая иерархическая сегментация шахтных вентиляционных систем при моделировании способов повышения аэрологической безопасности труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 76—85. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-76-85.

18. *Landry M.J.* The coset construction for non-equilibrium systems. JHEP 07, 200 (2020) DOI: 10.1007 / JHEP07(2020)200 [arXiv:1912.12301[hep-th]].

19. *Landry M.J.* Dynamical chemistry: non-equilibrium effective actions for reactive fluids. [arXiv:2006.13220[hep-th]]. ГИАБ

REFERENCES

1. Puchkov L.A., Kaledina N.O. Kobylkin S.S. Natural science-based analysis of critical pro-cess hazards. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no 5, pp. 4—7. [In Russ].

2. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 6-1, pp. 74–83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

3. Balovtsev S.V. Aerological risk assessment in working areas of gas and dust explosion-hazardous coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no 5, pp. 91—93. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.

4. Skopintseva O.V., Vertinskiy A.S., Ilyakhin S.V., Savelev D.I., Prokopovich A.Yu., Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no 5, pp. 17—20. [In Russ].

5. Ushakov V.K. Cost estimate of mine ventilation system design and operation towards enhanced labor safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 6, pp. 214—221. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-214-221.

6. Puchkov L.A., Kaledina N.O., Kobylkin S.S. System solutions of provision of methane safety of coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no 5, pp. 12—16. [In Russ].

7. Rodriguez-Diaz O.-O., Novella-Rodriguez D.F., Witrant E., Franco-Mejia E. Control strategies for ventilation networks in small-scale mines using an experimental benchmark. *Asian Journal of Control.* 2020. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/asjc.2394. DOI: 10.1002/asjc.2394.

8. Pei X., Wang, K, Jiang S., Wu Z., Shao H. Experimental study on ventilation supply–demand matching to dispense the stope gas disaster risk of coal mines. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020. Vol. 11. Pp. 1299—1318. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1788172. DOI: 10.1080/19475705.2020.1788172.

9. Mishra D.P., Panigrahi D.C., Kumar P., Kumar A., Sinha P.K. Assessment of relative impacts of various geo-mining factors on methane dispersion for safety in gassy underground coal mines: an artificial neural networks approach. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Vol. 150. No 119392. https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-04974-9. DOI: 10.1007/s00521-020-04974-9.

10. El-Nagdy K.A. Stability of multiple fans in mine ventilation networks. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2013. Vol. 23. No 4. Pp. 569—571. DOI: 10.1016/j.ijmst.2013.07.016

11. Batugin A.S., Kobylkin A.S., Musina V.R. Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps. *Eurasian Mining*. 2019. No 2. Pp. 64—69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.

12. Kolikov K.S., Kaledina, N.O., Kobylkin, S.S. Mining safety and ecology department: Past, present and future. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 3, pp. 15—26. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04.

13. Shkundin S.Z., Petrov A.G., Lupiy M.G., Vanovsky V.V., Tantsov P.N. Software complex for dynamic coal mines air distribution. *Ugol'*. 2017, no 12, pp. 32—34. [In Russ].

14. Dziurzynski W., Krach A., Palka T. A reliable method of completing and compensating the results of measurements of flow parametres in a network of headings. *Archives of Mining Sciences*. 2015. Vol. 60. No 1. Pp. 3—24.

15. Brickey A.J., Lopes T.V. F. Incorporation Ventilation into Production Scheduling. *Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium, June 17—22, 2017*. Pp. 2-23—2-28.

16. Castilla-Gomez J., Herrera-Herbert J., Campillos-Prieto A. Modelling and optimization of a ventilation network in underground mines. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Conference Proceedings*. 2015, Book 1, Vol. 3. Pp. 469—475.

17. Ushakov V.K. Dynamic hierarchical segmentation of mine ventilation systems in modeling methods of improvement of aerological safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 12, pp. 76–85. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-76-85.

18. Landry M.J. *The coset construction for non-equilibrium systems.* JHEP 07, 200 (2020) DOI: 10.1007 / JHEP07(2020)200 [arXiv:1912.12301[hep-th]].

19. Landry M.J. *Dynamical chemistry: non-equilibrium effective actions for reactive fluids.* [arXiv:2006.13220[hep-th]].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ушаков Владимир Кимович — д-р техн. наук, профессор,
НИТУ «МИСиС», e-mail: vk.ushakov@misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.K. Ushakov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: vk.ushakov@misis.ru,
National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 03.08.2020; получена после рецензии 01.10.2020; принята к печати 10.11.2020.
Received by the editors 03.08.2020; received after the review 01.10.2020; accepted for printing 10.11.2020.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА МАСЛЯНОГО НАСОСА С ЗУБЧАТО-ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДВИЖЕНИЯ

(2020, № 10, СВ 33, 12 с.)

Сафрончук Кристина Альбертовна[1] — аспирант, e-mail: Safronchuk.ks@gmail.com,
Князькина Валерия Ивановна[1] — аспирант, *Иванов Сергей Леонидович*[1] — д-р техн. наук, профессор,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.

Поршневые насосы, применяемые при проведении смазочно-запарочных работ на горных машинах, имеют червячный редуктор. КПД червячной передачи менее 60%, она быстро изнашивается, требует ухода и частого ремонта. Предложено использовать зубчато-эксцентриковый механизм преобразования возвратно-поступательно движения поршневого насоса высокого давления с оптимизированной геометрией зубчатого зацепления привода поршня и изменяемой величиной его хода в конструкции насоса. Установлено влияние заданного эксцентрика на изменение угла между зубчатыми колесами от угла поворота зубчатого колеса. Показано влияние заданного эксцентрика на изменение хода поршня от угла поворота зубчатого колеса. Выведен закон движения поршня, т.е. зависимость хода поршня от угла поворота зубчатого колеса. Данный механизм упрощает конструкцию насосного агрегата, повышает его надежность, исключает необходимость в червячной передаче.

Ключевые слова: насос, смазочно-заправочные работы, возвратно-поступательное движение, эксцентриситет, ТОиР, горная машина.

ESTIMATION OF PARAMETERS OF THE OIL PUMP MECHANISM WITH GEAR-ECCENTRIC MOTION CONVERTER

K.A. Safronchuk[1], Graduate Student, e-mail: safronchuk.ks@gmail.com,
V.I. Knyazkina[1], Graduate Student, *S.L. Ivanov*[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
[1] Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Piston pumps, applicable for lubricating and parking operations on mining machines, have a built-in worm gearbox. It is known that the efficiency of a worm gear does not exceed 60%, and this gear also wears out quickly and requires constant maintenance and frequent repairs. It is proposed to use a gear-eccentric mechanism for converting the reciprocating motion of a high pressure piston pump with optimized gear geometry of the piston drive and its variable stroke in the pump design. The influence of a given eccentric on the change in the angle between the gears from the angle of rotation of the gear wheel is established. The influence of a given eccentric on the change in the piston stroke from the angle of rotation of the gear wheel is shown. The law of piston motion is deduced, i.e. dependence of the piston stroke on the angle of rotation of the gear.

Key words: pump, gear-eccentric mechanism, mining machine, angle of rotation of the gear.