

УДК [622.268.2:519.237.8]:51.007.57

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Кокоулин И.Е.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Головко С.А.**, магистр,  
**Новиков Л.А.**, магистр,  
(ИГТМ НАН Украины),  
**Жалилов А.Ш.**, магистр  
(ГП «Селидовуголь»),  
**Бокий А.Б.**, аспирант  
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

**ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ  
СИСТЕМЫ «ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ – ВЫРАБОТАННОЕ  
ПРОСТРАНСТВО»**

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Кокоулін І.Є.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Головко С.А.**, магістр,  
**Новиков Л.А.**, магістр  
(ІГТМ НАН України),  
**Жалілов О.Ш.**, магістр  
(ДП «Селідоввугілля»),  
**Бокій О.Б.**, аспірант  
(ДВУЗ «ДонНТУ»)

**ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ  
«ГІРНИЧІ ВИРОБКИ - ВИРОБЛЕНИЙ ПРОСТІР»**

**Bunko T.V.**, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**Kokoulin I.Ye.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Golovko S.A.**, M.S. (Tech.),  
**Novikov L.A.**, M.S. (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)  
**Zhalilov A.Sh.**, M.S. (Tech.)  
(SP «Selidovugol»)  
**Bokij A.B.**, Doctoral student  
(SHEI “NMU”)

**CONSTRUCTION OF IMITATION CLUSTER MODEL OF  
THE SYSTEM «MINE ROCKS – PRODUCED SPACE»**

**Аннотация.** Выработанное пространство угольной шахты представляет собой высокопроницаемую среду. Законы движения метановоздушной смеси в нем изучены недостаточно, что приводит к снижению точности расчета водухораспределения в вентиляционной сети шахты. Для описания выработанного пространства предложено использовать элементы кластерных структур. Характеристики кластеров описываются теоретико-множественными моделями. Особенностью кластерного моделирования выработанного пространства является

возможность оценки характера движения фильтрационных потоков, что позволяет направить их к средствам газоотсоса, и предложить эффективное расположение средств вакуумирования в выработанном пространстве. Технические решения, принятые с использованием разработанной кластерной модели системы «горные выработки - выработанное пространство» позволяют уменьшить выход метана из выработанного пространства в исходящую струю шахты и на земную поверхность.

**Ключевые слова:** кластерная модель, проницаемость твердой среды, законы движения воздуха, газоотсос, выработанное пространство.

Выработанное пространство угольной шахты, сложенное из обрушенных блоков и разрыхленных пород основной и непосредственной кровли, представляет собой высокопроницаемую среду. Аэродинамические сопротивления его неконтролируемых элементов определяют, в свою очередь, объемы неконтролируемых потоков воздуха в обрушенной породной среде, которая может содержать значительное количество угля в виде потерь, в частности, при переходе дизъюнктивных нарушений.

Выработанное пространство, как составляющий элемент системы проветривания выемочного участка и шахтной вентиляционной системы (ШВС) в целом, тесно взаимодействует с входящими в ее расчетную схему воздухоподающими и вентиляционными выработками. Несмотря на принимаемые меры (создание ограждающих выработанное пространство полос, организация зоны нулевой депрессии на его границах и др.), не всегда достигается эффект по его изоляции. Выработанное пространство представляет собой своеобразный «черный ящик» (все чаще для характеристики подобных объектов применяется термин «многополюсная структура») с известными значениями аэродинамических параметров только на границах. Замеры их на неподдерживаемой воздухоотводящей выработке показывают значительное увеличение дебита метановоздушной смеси в ней, что нельзя не учитывать при организации эффективного проветривания шахты.

Кроме того, выделяющийся в выработанном пространстве метан представляет как технологическую опасность для работающих в шахте людей, так и экологическую опасность для окружающей среды. Поэтому в систему вентиляции многих действующих шахт включаются системы дегазации различных типов (дегазационными скважинами, газоотсосом и др.). При этом метановыделение из выработанного пространства снижается, что позволяет считать дегазационную систему важным элементом проветривания шахты.

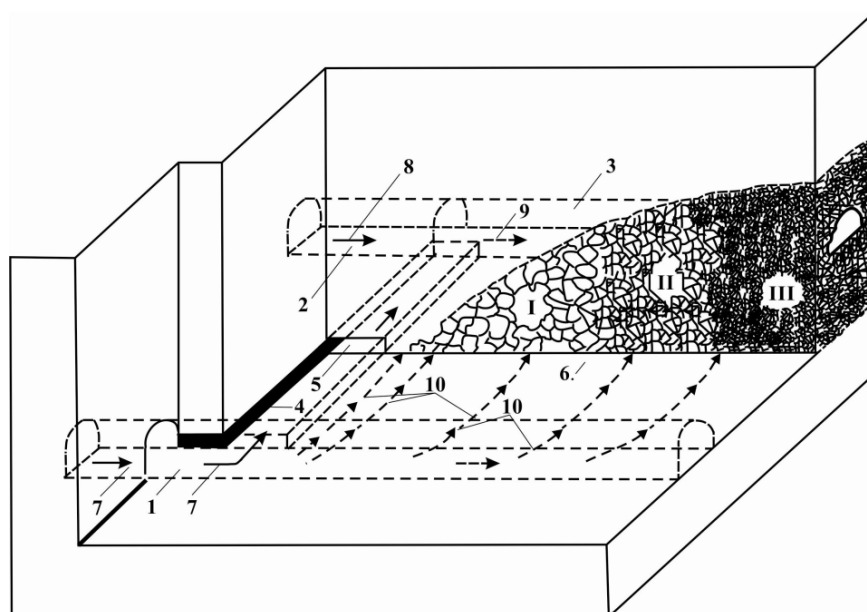
Таким образом, элементами сложной системы проветривания шахты являются горные выработки, выработанные пространства шахты и система газоотсоса. Решение задачи оптимизации функционирования в такой комплексной постановке является важной научно-практической задачей, до сих пор в полной мере не решенной. Отдельные ее элементы изучались учеными и специалистами многих организаций Украины (МакНИИ, ДонУГИ, НИИГД, НГУ, ДонНТУ и др.), а также Российской Федерации, Республики Казахстан, Польши и других зарубежных стран. Если задачи расчета и управления воздухораспределением в ШВС с упрощенным (в виде различных типов утечек воздуха) представлением

выработанного пространства в его расчетной схеме в основном разработаны и эффективно используются, то изучение выработанного пространства и представление его (в составе имитационной модели проветривания) и увязка вентиляционных и дегазационных мероприятий по ее обслуживанию остается сложной задачей.

Математическая модели выработанного пространства приведена Ю.М. Говорухиным (СибГИУ). Для повышения точности при прогнозе распределения проницаемости и макрошероховатости в пределах зоны обрушения рассматривается несколько поперечных сечений, параллельных лаве. При этом рассматривается переход к трехмерной модели выработанного пространства, объем которого задается в качестве исходных данных.

Аналогичный метод предложен А.К. Акимбековым и П.В. Емелиным (Каргандинский ГТУ). В нем с целью осреднения фильтрационных потоков, на основе экспериментальных и теоретических исследований была разработана детерминированная модель квазианалога аэрогазодинамики выработанного пространства добычного участка; в виде сеточной области, покрывающей все выработанное пространство с приданием ветвям, заменяющим ее элементы, осредненных значений свойств параметров фильтрации.

Наиболее полная трехмерная модель предложена в ИГТМ НАН Украины (рис. 1)



1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 - неконтролируемая воздухоотводящая выработка; I, II, III – соответственно зоны выработанного пространства с турбулентным, переходным и ламинарным режимом движения утечек воздуха; 4 – вынимаемый участок пласта; 5 - очистная выработка; 6 – выработанное пространство; 7 – свежая струя; 8 – подсажающая струя; 9 – исходящая струя из очистного забоя; 10 – утечки воздуха

Рисунок 1 – Распределение воздушных масс в системе «горные выработки- выработанное пространство» (схема проветривания выемочного участка прямоточная с подсаживанием 2-В-Н-в-пт)

Введем некоторые определения (соответствующие рис. 1), которые будут в

дальнейшем изложении нами использоваться и в некоторых случаях могут отличаться от общепринятых понятий.

1. Горная выработка – элемент ШВС (в расчетной схеме называется обычно «ветвью»), предназначенный для проведения технологических, транспортных операций, а также доставки свежего воздуха к объектам - потребителям и удаления из них отработанной вентиляционной струи. В нашем рассмотрении (при исследовании комплексной системы проветривания выемочного участка) основными горными выработками являются лава, откаточный и вентиляционный (в ряде случаев неподдерживаемый) штреки. Эти выработки оконтуривают выработанное пространство и осуществляют его аэрогазодинамическую связь с основной ШВС. Закон движения воздуха в них принимается турбулентным с показателем степени, равным 2.

2. Выработанное пространство – зона обрушения (в нашем случае - за движущейся лавой), являющееся высокопроницаемой средой, состоящей из отдельных блоков с различным законом фильтрационного движения воздуха (от 1 до 1,5 – 1,7 внутри выработанного пространства, и 2 – на его границах, в местах контакта с оконтуривающими выработками). Движение воздуха по выработкам с достаточной для практических расчетов точностью можно считать турбулентным ( $n = 2$ ). В зонах обрушения наблюдается фильтрационное течение воздуха через крупнокусковую пористую среду. Этот вид движения значительно отличается от классического тем, что даже при незначительных перепадах давления и дебита воздуха наблюдается заметное действие как вязкостных, так и инерционных сил. Указанные силы определяют закон фильтрации утечек воздуха в выработанном пространстве.

3. Аэродинамические характеристики выработанного пространства определяются структурой фильтрационных потоков в нем, что является важным элементом обеспечения безопасности ведения горных работ.

4. Исследование фильтрационных потоков в выработанном пространстве может осуществляться на имитационной модели, представляющей собой совокупность кластеров, формирование которой и использование в процессе управления аэрогазодинамическими параметрами будет охарактеризовано ниже.

5. Кластер – часть выработанного пространства, внутри которой движение метановоздушной смеси подчиняется разностепенным законам, что упрощает имитационную модель системы «горные выработки – выработанное пространство – система дегазации».

Фактические максимальные расходы метана на газоотсасывающих установках, больше расчетных что подтверждает существенное влияние распределения фильтрационных потоков на состояние промышленной безопасности и экологии. Исследование движения метановоздушной смеси через выработанное пространство выполнялось с использованием кластерных моделей (табл. 1).

Аэрогазодинамические параметры кластерной модели выработанного пространства с учетом помещенных в него средств вакуумирования исследовались в ИГТМ НАН Украины [5]. В выработанном пространстве выделены четыре кластера, точка стыковки всех четырех приходится на место установки газоот-

сосо. Разделение выработанного пространства в месте установки устройства дегазационной системы, создающего разрежение, выполняется на такое количество участков, чтобы в каждом из них изменение давления было линейным внутри и по контуру участка.

Таблица 1 - Компоненты теории движения метановоздушной смеси в горных выработках и выработанном пространстве с учетом комплексного действия вентиляционных и дегазационных мероприятий по проветриванию выемочных участков

Структура теоретико-множественной модели кластера «выработанное пространство»	Кластер описывается теоретико-множественной моделью $\{G, Z, M, P\}$ , где $\{G\}$ - пространство размещения кластера; $\{Z\}$ – законы движения воздуха в нем; $\{M\}$ – множество линий утечек метановоздушной смеси в выработанном пространстве (элементе многополюсной структуры); $\{P\}$ - аэродинамические параметры
Формирование пространственных кластеров $\{G, Z, M, P\}$	При построении линий тока утечек воздуха при проветривании выемочного участка за счет общешахтной депрессии и наличия системы дегазации выработанного пространства предусматривается, что изменение давления внутри выработанного пространства носит кусочно-линейный характер. Решение этой задачи осуществляется за счет разделения выработанного пространства в месте установки устройства системы дегазации, создающего разрежение, на такое количество кластеров, чтобы в каждом из них изменение давления было линейным внутри и по контуру участка (кластера). После этого аналитическим методом строится картина распределения утечек для каждого кластера. Объединение линий тока утечек воздуха смежных участков проводится путем определения общих постоянных интегрирования уравнений линий тока для соседних стыкующихся кластеров.
Формирование линий тока утечек воздуха в выработанном пространстве	Линии тока утечек метановоздушной смеси через выработанное пространство характеризуются результирующим потоком, определяемым путем суммирования векторов скорости потока, обусловленного действием общешахтной депрессии и разрежением, создаваемым средствами дегазации; на каждом характерном участке линии тока описываются кусочно-непрерывными функциями, которые являются кривыми второго порядка. Вершины перегиба линий истоков определяются координатами установки средств отбора метановоздушной смеси, а крутизна линий – соотношением абсолютных значений давлений на границах выработанного пространства. Формирование линий тока утечек воздуха в выработанном пространстве определяет их конфигурацию и места поступления метановоздушной смеси из выработанного пространства в выработки и к средствам газоотсоса [3, 4]
Установление законов движения воздуха $\{Z\}$ в выработанном пространстве	Установлено, что $\{Z\}$ изменяется в зависимости от отхода фронта очистных работ от турбулентного к ламинарному; на расстоянии приблизительно 200м от движущейся лавы показатель турбулентности составляет 1,5 - 1,7. Уточнено соотношение таких участков на кластерной модели выработанного пространства [2]
Формирование базиса многополюсников $\{M\}$ и расчет их аэродинамических параметров $\{P\}$	Переход к потоковой (сетевой) модели ШВС выполняется с использованием $\{M\}$ . Выработанное пространство может быть эффективно описано многополюсной сетевой структурой с определением аэрогазодинамических характеристик на ее границах (воздухоподающем и вентиляционном штреках лавы), аппроксимационные характеристики которой определяются адаптивным методом поузловой невязки [1, 2]

После этого аналитическим методом строится картина распределения утечек для каждого участка. Использование разработанного в ИГТМ НАН Украины расчетного метода позволяет проследить изломы линий утечек по направлению к газоотсосу и, следовательно, отклонение их от мест возможного выхода на вентиляционный штрек, что снижает поступление метановоздушной смеси в исходящую струю шахты, что положительно влияет как на уровень общей, так и экологической безопасности.

Использование кластерной модели выработанного пространства позволит решить следующие основные задачи:

- расчет естественного воздухораспределения в ШВС с целью подтверждения правильности принятой для расчета топологической и аэродинамической информации и распределения количества воздуха, поступающего на проветривание выемочных участков;

- формирование квазисетевой аэродинамической модели в виде системы кластеров, моделирующих выработанное пространство. Вид, структура и количество кластеров не регламентируются, и определяются технологом с учетом конкретных особенностей моделируемого объекта;

- расчет фильтрации газовой смеси через выработанное пространство выемочного участка с учетом совокупного взаимодействия вентиляторов главного проветривания и системы вакуум-насосов и газоотсоса;

- формирование «общей» (на основе основной схемы реальных ветвей ШВС и квазисетевых аэродинамических моделей выработанных пространств, примыкающих к выемочному участку);

- расчет естественного воздухораспределения в «общей» аэродинамической модели ШВС с учетом работы дегазационной системы.

В зависимости от наличия информации и соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения может быть решен и ряд других задач, упоминавшихся выше: формирование линий утечек через выработанное пространство для различных схем проветривания выемочных участков, управление их конфигурацией для различных схем проветривания и мест расположения систем дегазации, оптимизация мест установки средств газоотсоса, и др.

При математическом моделировании аэродинамических процессов в системе «горные выработки – выработанное пространство – средства дегазации» приняты следующие допущения:

1. Время динамических изменений газовой смеси режима выемочного участка делится на два периода: время от начала работы очистного забоя до формирования практически постоянной зоны утечек воздуха, и время протекания более или менее стационарных аэрогазодинамических процессов.

2. Воздух, поступающий в первый период к очистному забою, делится на три составляющих: поток по лаве, поток по погашаемой выработке, утечки через выработанное пространство. Поток по лаве постоянен. Дебит потока по погашаемой выработке в ходе подвигания лавы снижается, а часть выработанного пространства вследствие уплотнения пород становится воздухонепроницаемой.

3. Длина участка выработанного пространства, через который происходят утечки из лавы на неподдерживаемую выработку, остается практически постоянной.

4. С момента раскрытия эксплуатационных трещин в породной толще кровли в вентиляционную выработку выносятся через разрезную печь 25-55 % воздуха, подаваемого на выемочный участок, а 30-70% составляют утечки через выработанное пространство.

6. Пористая среда выработанного пространства с точки зрения ее воздухопроницаемости в направлении, параллельном очистному забою, считается однородной. Однородность может нарушаться при поддержании выработок изоляторами (например, бутовыми полосами). Движение воздуха по выработанному пространству, как было сказано выше, можно отнести к фильтрации газа через пористую среду.

Коэффициенты и параметры фильтрации разделяются на следующие группы:

- параметры, характеризующие фильтрационные свойства выработанного пространства:  $k_n$ - коэффициент проницаемости выработанного пространства  $\text{м}^2$ ;  $l'$  – коэффициент макротрещиноватости среды, м;  $\varepsilon$  – коэффициент пористости кускового материала;

- параметры, характеризующие состояние метановоздушной смеси, движущегося через выработанное пространство:  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг сек}^2/\text{м}^4$ ;  $\mu$  – вязкость воздуха,  $\text{кг сек}/\text{м}^2$ ;

- параметры, характеризующие геометрию зоны утечек воздуха через выработанное пространство:  $F$  – площадь зоны фильтрации,  $\text{м}^2$ ;  $L$ - длина зоны фильтрации, м;  $d_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр зоны фильтрации;

- параметры, характеризующие режим проветривания и горнотехнические условия выемочного участка:  $h_{\text{в.п.}}$ - перепад давления воздуха через выработанное пространство, мм вод. ст.;  $Q_{\text{ум}}$  – величина утечек воздуха через выработанное пространство,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

- коэффициенты, характеризующие режим движения воздуха через выработанное пространство:  $Re$  – число Рейнольдса;  $f$  - безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления выработанного пространства;  $n$  – показатель движения воздуха через пористую среду.

На первом этапе работ в ИГТМ НАН Украины [3- 5] установлены графоаналитические закономерности движения метановоздушной смеси через выработанное пространство под влиянием общешахтной депрессии и средств вакуумирования (для условий плоских потоков).

Предложенная кластерная модель выработанного пространства может применяться для принятия оперативных решений по изменению направления движения утечек газовой смеси в ходе управления воздухораспределением выемочного участка.

---

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бокий, Б.В. О формализованном инвариантном способе описания нелинейными многополюсниками зон шахтной вентиляционной сети с неопределенными структурой и аэродинамическими па-

раметрами / Б.В. Бокий, Т.В. Бунько // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 264-274.

2. Разработка методов математического моделирования эмиссии шахтного метана / Т.В. Бунько, А.В. Боровский, И.Е. Кокоулин, А.Б. Бокий // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013.- Вып. 109. –С. 247-255.

3. Торопчин, О.С. Аналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин, С.А. Головки, Н.В. Безкровный // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 69. – С. 277–288.

4. Бунько, Т.В. Обобщенный алгоритм расчета утечек через выработанное пространство для различных схем проветривания выемочных участков/ Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головки // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 108. – С. 65–73.

5. Принципы построения кластерной модели выработанного пространства выемочного участка метанообильной угольной шахты / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головки, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 117. – С. 141-152.

---

#### REFERENCES

1. Bokuu, B.V. and Bunko, T.V. (2011), “About the formalized invariant method of description by nonlinear much-polar of areas of mine ventilation network with indefinite by a structure and aerodynamic parameters”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 92, pp. 264-274.

2. Bunko, T.V., Borovsky, A.V. and Bokiy, A.B. (2013), «Development of methods of mathematical design of emission of mine methane», *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 109, pp. 247-255.

3. Toropchyn, O.S., Golovko, S.A. and Bezkrorny, N.V. (2007), «Analytical method of determination of lines of current of losses of air through the produced space», *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 69, pp. 277–288.

4. Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye. and Golovko, S.A. (2013), «Generalized algorithm calculation of losses through the produced space for different charts of the ventilation of cutting areas», *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 108, pp. 65–73.

5. Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye., Golovko, S.A., Zhalylov, A.Sh. and Bokij, A.B. (2014), Principles constructions of cluster model of the produced space cutting area of methane-rich coal mine, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 117, pp.141-152.

---

#### Об авторах

**Бунько Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)).

**Кокоулин Иван Евгеньевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)).

**Головки Софья Асхатовна**, магистр, младший научный сотрудник в отделе горной термоаэродинамики и автоматизированных систем Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)).

**Новиков Леонид Андреевич**, магистр, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск, Украина, [lnov71@yandex.ua](mailto:lnov71@yandex.ua)).

**Жалилов Александр Шамильевич**, магистр, главный механик ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина, [alnat01@mail.ru](mailto:alnat01@mail.ru).



**Бокий Александр Борисович**, аспирант Государственного высшего учебного заведения «Донецкий Национальный технический университет» (ГВУЗ «ДонНТУ»), Донецк, Украина, [bokiy@yahoo.com](mailto:bokiy@yahoo.com).

#### About the authors

**Bunko Tatyana Viktorovna**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru).

**Kokoulin Ivan Yevgenyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru).

**Golovko Sofya Askhatovna**, Master of Science, Junior Researcher in the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru).

**Novikov Leonid Andreyevich**, Master of Science, Junior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [lnov71@yandex.ua](mailto:lnov71@yandex.ua).

**Zhalilov Alexandr Shamilyevich**, Master of Science, Chief mechanical engineer of the state enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, [alnat01@mail.ru](mailto:alnat01@mail.ru).

**Bokiy Alexander Borisovich**, Doctoral student of State Higher Educational Institution «National technical university» (SHEI «DonNTU»), Donetsk, Ukraine, [bokiy@yahoo.com](mailto:bokiy@yahoo.com).

**Анотація.** Вироблений простір вугільної шахти є високопроникним середовищем. Закони руху метаноповітряної суміші в ньому вивчені недостатньо, що приводить до зниження точності розрахунку повітророзподілу у вентиляційній мережі шахти. Для опису виробленого простору запропоновано використовувати елементи кластерних структур. Характеристики кластерів описуються теоретико-множинними моделями. Особливістю кластерного моделювання виробленого простору є можливість оцінки характеру руху фільтраційних потоків, що дозволяє спрямувати їх до засобів газовідсмоктування і запропонувати ефективне розташування засобів вакуумування у виробленому просторі. Технічні рішення, прийняті з використанням розробленої кластерної моделі системи «гірничі виробки - вироблений простір» дозволяють зменшити вихід метану з виробленого простору у витікаючий струмінь шахти і на земну поверхню.

**Ключові слова:** кластерна модель, проникність твердого середовища, закони руху повітря, газовідсмоктування, вироблений простір.

**Abstract.** The produced space of coal mine is a high-permeable environment. The laws of motion of methane-air mixture in it are studied unenough, that air-distribution results in the decline of exactness of calculation in the ventilation of mine. For description of the produced space it is suggested to use the elements of cluster structures. Descriptions of clusters are described by theoretical-multiple models. Possibility of estimation character of motion of filtration streams is the feature of cluster design of the produced space, that allows to send them to facilities of degassing, and offer the effective location of facilities of degassing in the produced space. Technical decisions accepted with the use of the developed cluster model of the system «mine workings - produced space» to decrease the exit of methane from the produced space in the outgoing stream of mine and on an earthy surface.

**Keywords:** cluster model, permeability of hard environment, laws of motion of air, produced space.

*Статья поступила в редакцию 08.10.2014*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.П. Круковским*