

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  
(ИГТМ НАН Украины),  
**Жалилов А.Ш.**, магистр  
(ГП «Селидовуголь»),  
**Бокий А.Б.**, аспирант  
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

### **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА МЕТАНООБИЛЬНОЙ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

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

### **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ ВИЇМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ МЕТАНОВОЇ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ**

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

### **PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF CLUSTER MODEL PRODUCED SPACE OF CUTTING AREA METHANE-RICH COAL MINE**

**Аннотация.** Динамика просачивания жидкостей через пористые материалы описывается уравнением Дарси, при этом проницаемость твердой среды определяется эффективной или открытой пористостью массива, которая участвует в процессе течения сжимаемой или несжимаемой жидкости под действием приложенного градиента давления. Пустоты в твердой среде различны по размерам и форме и распределены в массиве хаотично. Поэтому для моделирования пористой среды применены элементы теории многополюсных систем, описывающие движение жидкости или газа в элементарном объеме массива и ориентированного по линиям тока из начального узла в конечный под действием приложенного градиента давлений. Применение кластерной модели позволило разделить выработанное пространство на

элементы, в которых соблюдаются различные режимы движения метановоздушной смеси от ламинарного до турбулентного и учесть влияние средств газоотсоса на дегазацию выработанного пространства.

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

Угольная шахта является реконфигурируемым объектом, трудно контролируемым, а значит – и трудно управляемым в технологическом процессе. Причина – в неопределенности ряда параметров шахтной вентиляционной системы (ШВС), что требует разработки и использования оригинальных сетевых методов их комплексной оптимизации. Одним из них является новое направление научно-практических исследований – кластерное моделирование, пока не нашедшее должного применения в горнотехнической практике.

В качестве основных принципов кластерного моделирования системы «горные выработки – выработанное пространство», что является важным элементом обеспечения безопасности горных работ и снижения экологического риска, связанного с выделением в шахтную атмосферу и на земную поверхность газообразных вредных техногенного характера, можно выделить следующие.

1. Выработанное пространство лав является важным элементом системы проветривания угольной шахты. Этот зачастую игнорируемый элемент ШВС играет значительную роль как в обеспечении свежим воздухом рабочих мест и вообще мест нахождения людей в шахте, так и вообще в регулировании воздухо- и газораспределения в ШВС. В процессе проведения воздушно-депрессионных съемок (ВДС), являющихся основным поставщиком сведений об аэродинамическом состоянии сети, выявляются участки, в которых «исчезает» определенное количество воздуха, а в других – «появляется» дополнительное его количество. Этот факт сложно учитывать в ходе отображения таких участков при формировании, по результатам ВДС, расчетной схемы ШВС (аналогичных принятому понятию «черного ящика»). Поэтому в расчетной схеме ШВС появляются фиктивные ветви (утечки), которые не могут контролироваться и фактически учитываться при расчете воздухораспределения в ШВС.

2. С другой стороны, выработанное пространство является источником метана. Метановоздушная смесь, поступающая из выработанного пространства в воздухоотводящие выработки, доставляет дополнительный дебит газовой смеси, подлежащий удалению исходящей из лавы и подсвежающих выработок струей воздуха, и увеличивает концентрацию метана в них, что приводит к дополнительным проблемам по его утилизации, вакуумированию и снижению экологических последствий на окружающую среду. Поэтому задача анализа выработанного пространства лавы с целью разработки эффективных методов управления метановыделением и удалением метановоздушной смеси из него представляет актуальную научно-практическую задачу.

3. Динамика просачивания жидкостей через пористые материалы описывается уравнением Дарси, при этом проницаемость твердой среды определяется эффективной или открытой пористостью массива, которая участвует в процессе течения сжимаемой или несжимаемой жидкости под действием приложенного

градиента давления. При этом пустоты в твердой среде различны по размерам и форме и распределены в массиве хаотично, что оказывает влияние на показатели движения газовой смеси в выработанном пространстве. Для моделирования пористой среды могут быть применены элементы теории многополюсных систем [1], описывающей движение жидкости или газа в элементарном объеме массива и ориентированной по линиям тока из начального узла в конечный под действием приложенного градиента давлений.

4. Движение метановоздушной смеси в выработанном пространстве происходит в ламинарном режиме (установившемся после прохода лавы), турбулентном (на участках, примыкающих к выработкам, оконтуривающим выработанное пространство) и переходном (на участках, примыкающих к лаве) режимах.

Как показали исследования, проведенные в ИГТМ НАН Украины [2], эмиссия шахтного метана описывается сетевой структурой, включающей ветви с сосредоточенными источниками эмиссии метана, с ламинарным законом движением газовой смеси через зоны обрушения и утечки в выработанном пространстве в условиях управления кровлей полным обрушением, при котором показатель турбулентности находится в пределах 1,5-1,7. Аппроксимационные характеристики многополюсной сетевой структуры определяются адаптивным методом поузловой увязки (варианты методов предложены в [2,4,5]).

5. Линии тока утечек метановоздушной смеси через выработанное пространство характеризуются результирующим потоком, который определяется путем суммирования векторов скорости потока, обусловленного действием общешахтной депрессии и разрежением, которое создается средствами дегазации; на каждом характерном участке линии тока описываются кусочно-непрерывными функциями, являющимися кривыми второго порядка. Вершины перегиба линий утечек определяются координатами установки средств отбора метановоздушной смеси, а крутизна линий – соотношением абсолютных значений давлений на границах выработанного пространства.

Разработанный в ИГТМ НАН Украины метод расчета утечек воздуха в выработанном пространстве, вызванных суперпозицией общешахтной депрессии и градиента разрежения задействованных средств вакуумирования, и полученные уравнения линий тока этих утечек в схемах проветривания с выработками, отводящими воздух за фронтом очистных работ, в целом составляют основу для разработки способа управления газовой выделением из выработанного пространства.

6. Отличительной особенностью метода построения линий тока утечек воздуха при проветривании выемочного участка за счет общешахтной депрессии и наличия системы дегазации выработанного пространства является то, что изменение давления внутри выработанного пространства имеет кусочно-линейный характер; это не позволяет производить построение линий тока по всему выработанному пространству в общем виде аналитическим или графоаналитическим методом [3,4]. Разработанные методы ориентированы на плоскостную (двумерную) модель, которая не позволяет учесть пространственное размещение средств вакуумирования в выработанном пространстве. Сущест-

вующими методами неосуществим учет движения метана в трехмерном пространстве, что позволило бы получить решение трехмерной задачи распространения газа в выработанном пространстве и получения эффективной технологии удаления метана из выработанного пространства, его утилизации и снижения его негативного влияния с точки зрения экологического фактора.

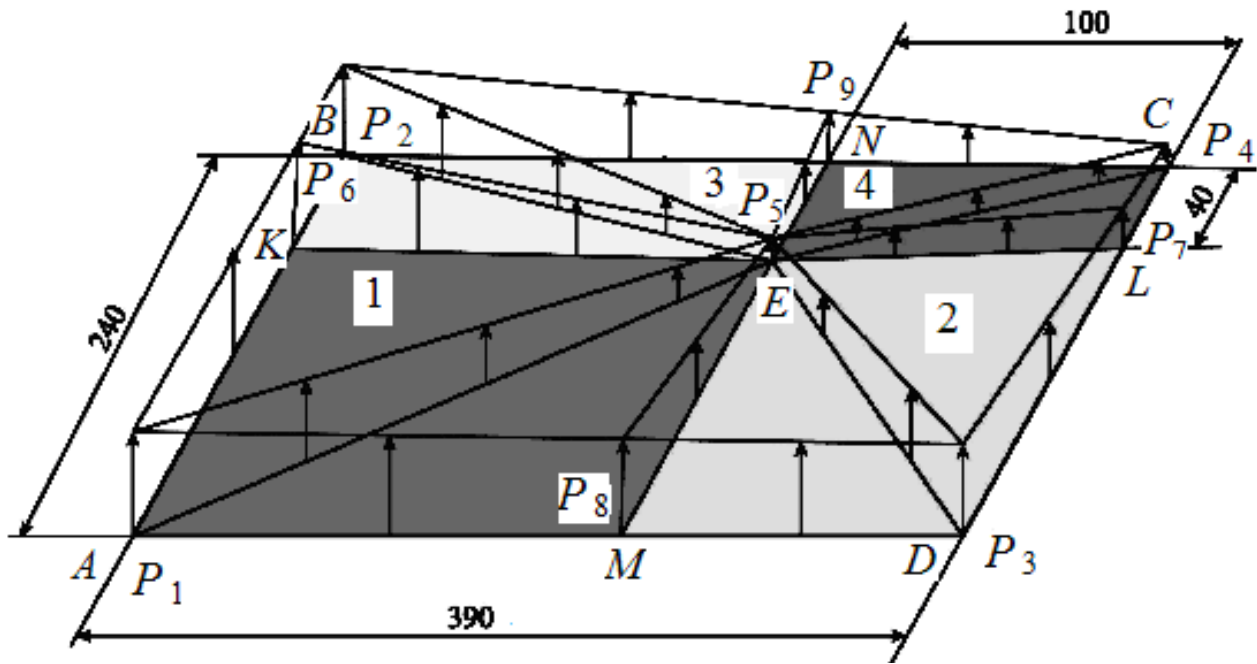
Если решение плоской задачи несложно, то объемная задача требует разработки специальных методов. Одним из них является кластерное моделирование.

7. Кластеры в технике – это элементы сложной системы, в пределах которых она делится на совокупность более простых объектов, в пределах которых применимы упрощенные зависимости между их составляющими; описание их может быть реализовано в виде инженерных методик, позволяющих с допустимой степенью точности решить задачи идентификации модели с реальным объектом без использования универсальных приемов решения теоретико-экспериментальных задач. Поэтому они наиболее применимы в практических условиях [3].

Для наших условий кластерное моделирование применимо в следующем виде.

8. Решение трехмерной задачи оценки аэродинамического состояния выработанного пространства лавы с учетом использования средств вакуумирования осуществляется за счет разделения выработанного пространства в месте установки устройств дегазационной системы, создающего разрежение, на такое количество кластеров (в нашем случае – элементарных участков выработанного пространства), чтобы в каждом из них изменение давления было линейным внутри и по контуру участка (кластера). После этого аналитическим методом [4] строится картина распределения утечек для каждого кластера (по его линейной проекции; в дальнейшем оно обобщается на трехмерный случай). Объединение линий тока утечек смежных участков производится путем определения общих постоянных интегрирования уравнений стыкуемых линий тока для соседних кластеров.

9. Графическая интерпретация аэродинамической связи общешахтной депрессии и разрежения, создаваемого источником вакуумирования дегазационной системы в выработанном пространстве выемочного участка при прямооточной схеме проветривания с подсвеживанием, представлена в упрощенном виде на рис. 1. Ранее рассматривались плоские модели определения линий утечек через выработанное пространство; настоящая кластерная модель относится к их пространственному распределению.



$P_i, i=1, \dots, 8$  – абсолютное давление в  $i$ -той точке, А,К,В,Н,Е,М,Д,Л,С – точки, ограничивающие 1,2,3,4 кластеры

Рисунок 1- Распределение давлений в выработанном пространстве с учетом разрежения, создаваемого источником вакуумирования дегазационной системы.

Изменение давлений вдоль оконтуривающих выработок имеет линейный характер. Каждая эпюра давления  $P(x)$  и  $P(y)$  в выработанном пространстве имеет кусочно-линейный характер, что обуславливается наличием стока и состоит из двух пересекающихся прямых, соединяющих вершины векторов давления, расположенных попарно:

- в очистной выработке и на границе выработанного пространства;
- на вентиляционном и конвейерном штреках с вектором разрежения от источника вакуумирования, находящихся на одной линии, проходящей через место его установки (рис. 2).

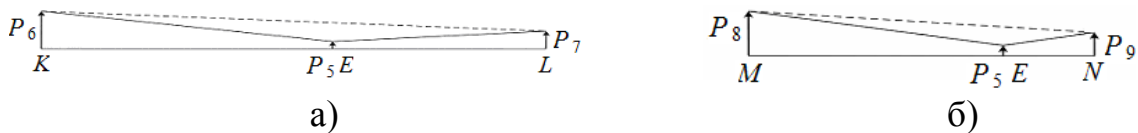


Рисунок 2 - Эпюры изменения давления в выработанном пространстве:

- а) по линии раздела  $KL$ ;
- б) по линии раздела  $MN$ .

$$P(x) = \begin{cases} \frac{P_5 - P_6}{L_{AD} - L_{MD}} x + P_6, & 0 \leq x \leq L_{AD} - L_{MD}; \\ \frac{P_7 - P_5}{L_{MD}} x - \frac{(P_7 - P_5)(L_{AD} - L_{MD})}{L_{MD}} + P_5, & L_{AD} - L_{MD} \leq x \leq L_{MD}. \end{cases}$$

$$P(y) = \begin{cases} \frac{P_5 - P_8}{L_{DC} - L_{LC}} y + P_8, & 0 \leq y \leq L_{DC} - L_{LC}; \\ \frac{P_9 - P_5}{L_{LC}} y - \frac{(P_9 - P_5)(L_{DC} - L_{LC})}{L_{LC}} + P_5, & L_{DC} - L_{LC} \leq y \leq L_{DC}. \end{cases},$$

где  $L$  – длина соответствующего отрезка кластера (индекс соответствует участку кластера на рис. 1).

Градиенты давлений в выработанном пространстве  $\frac{\Delta P_x}{\Delta L_x}$  и  $\frac{\Delta P_y}{\Delta L_y}$  при этом имеют кусочно-линейный характер:

$$\frac{\Delta P_x}{\Delta L_x} = \begin{cases} \frac{P_5 - P_6}{L_{AD} - L_{MD}}, & 0 \leq x \leq L_{AD} - L_{MD}; \\ \frac{P_7 - P_5}{L_{MD}}, & L_{AD} - L_{MD} \leq x \leq L_{MD}. \end{cases}$$

$$\frac{\Delta P_y}{\Delta L_y} = \begin{cases} \frac{P_5 - P_8}{L_{DC} - L_{LC}}, & 0 \leq y \leq L_{DC} - L_{LC}; \\ \frac{P_9 - P_5}{L_{LC}}, & L_{DC} - L_{LC} \leq y \leq L_{DC}. \end{cases}$$

Данное обстоятельство не позволяет решить задачу аналитического определения линий тока утечек газозвушной смеси целиком для всего выработанного пространства по методике, приведенной выше, или методике, изложенной в монографии (Н.Я Фабрикант, 1964); более новый аналог – в работе [8]), т.к. уравнения потенциалов скоростей и функции тока для несжимаемой жидкости в данном случае являются уравнениями в частных производных, и непосредственное определение из этих уравнений параметров, удовлетворяющих граничным условиям, представляет собой задачу в общем виде весьма сложную, а метод графического определения линий тока результирующего потока в нашем случае  $\vec{V}_p = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ , где  $\vec{V}_p$  – вектор скорости результирующего потока;  $\vec{V}_1$  – вектор скорости потока, обусловленного действием общешахтной депрессии;  $\vec{V}_2$  – вектор скорости потока от действия разрежения источника вакуумирования, весьма трудоемок,

10. В настоящее время в литературных источниках имеются решения аналогичных задач путем сложения двух, трех и более плоских потоков, но во всех случаях задача решается, когда один из потоков плоскопараллельный ( $V_x = 0$  или  $V_y = 0$ ). Так, например, в работе Б.Е. Грецингера (1974)  $q_{y\partial} = Ca^{gx}$ , где  $q_{y\partial}$  – величина удельных утечек воздуха через выработанное пространство;  $C, a, v$  –

постоянные величины, зависящие от горно-геологических и горнотехнических условий;  $x$  – текущая координата длины выработанного пространства, а  $V_x = 0$ , что далеко не соответствует истинному характеру линий тока в выработанном пространстве от действия общешахтной депрессии [3] и вносит существенную погрешность при дальнейших расчетах.

11. В графоаналитическом методе построения линий тока утечек через выработанное пространство реализуется рациональное решение этого вопроса, заключающееся в том, что площадь выработанного пространства следует разделить на несколько участков таким образом, чтобы изменение давления в пределах площади каждого отдельного участка имело линейную зависимость [4]. В данном случае (рис. 1) выработанное пространство  $ABCD$  следует условно разделить вертикальными плоскостями, проходящими по линиям  $KL$ ,  $MN$  и имеющими общую точку  $E$  (место разрежения создаваемое источником вакуумирования; это общая точка четырех неэлементарных (имеющих дополнительную внутреннюю структуру) кластеров).

Рассматривая каждый из полученных таким образом четырех кластеров (участков): 1 –  $AKEM$ ; 2 –  $MELD$ ; 3 –  $KBNE$ ; 4 –  $ENCL$ , как независимую часть выработанного пространства, и отождествляя линии раздела  $KL$  и  $MN$  в точке  $E$  с оконтуривающими выработками, можем определить градиенты давлений, соответственно:

для участка 1:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta P_x}{\Delta L_x} = \frac{P_{AK}(y) - P_{ME}(y)}{L_{AM}} = \frac{h_{AK} - h_{ME}}{L_{AK}L_{ME}} y - \frac{h_{AM}}{L_{ME}} = \frac{(P_1 - P_6) - (P_8 - P_5)}{L_{AK}L_{ME}} y - \frac{(P_1 - P_6)}{L_{ME}} \\ \frac{\Delta P_y}{\Delta L_y} = \frac{P_{AM}(x) - P_{KE}(x)}{L_{AK}} = \frac{h_{AM} - h_{KE}}{L_{AK}L_{ME}} x - \frac{h_{AK}}{L_{AK}} = \frac{(P_1 - P_8) - (P_6 - P_5)}{L_{AK}L_{ME}} x - \frac{(P_1 - P_6)}{L_{AK}}, \end{array} \right.$$

где  $h_{AK}$  – депрессия части очистной выработки от точки  $A$  до точки  $K$ , даПа;  $h_{ME}$  – депрессия выработанного пространства по линии раздела от точки  $M$  до точки  $E$ , даПа;  $h_{AM}$  – депрессия части конвейерного штрека от точки  $A$  до точки  $M$ , даПа;  $h_{KE}$  – депрессия выработанного пространства по линии раздела от точки  $K$  до точки  $E$ , даПа;  $L_{AK}$  – длина части очистной выработки от точки  $A$  до точки  $K$ , м;  $L_{AM}$  – длина части конвейерного штрека от точки  $A$  до точки  $M$ , м;

для участка 2:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta P_x}{\Delta L_x} = \frac{P_{ME}(y) - P_{DL}(y)}{L_{DL}} = \frac{h_{ME} - h_{DL}}{L_{DL} L_{ME}} y - \frac{h_{ME}}{L_{DL}} = \frac{(P_8 - P_5) - (P_3 - P_7)}{L_{DL} L_{ME}} y - \frac{(P_8 - P_5)}{L_{DL}} \\ \frac{\Delta P_y}{\Delta L_y} = \frac{P_{EL}(x) - P_{MD}(x)}{L_{ME}} = \frac{h_{EL} - h_{MD}}{L_{ME} L_{DL}} y - \frac{h_{ME}}{L_{ME}} = \frac{(P_5 - P_7) - (P_8 - P_3)}{L_{ME} L_{DL}} x - \frac{(P_8 - P_5)}{L_{ME}}, \end{array} \right.$$

где  $h_{MD}$  – депрессия части конвейерного штрека от точки  $M$  до точки  $D$ , даПа;  
 $h_{DL}$  – депрессия выработанного пространства между точками  $D$  и  $L$ , даПа;  $L_{DL}$  –  
длина части выработанного пространства до точки  $L$ , м;  $L_{ME}$  – длина части вы-  
работанного пространства по линии раздела от точки  $M$  до точки  $E$ , м;  
для участка 3:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta P_x}{\Delta L_x} = \frac{P_{KB}(y) - P_{EN}(y)}{L_{EN}} = \frac{h_{KB} - h_{EN}}{L_{KB} L_{EN}} y - \frac{h_{BN}}{L_{EN}} = \frac{(P_6 - P_2) - (P_5 - P_9)}{L_{KB} L_{EN}} y - \frac{(P_2 - P_9)}{L_{EN}} \\ \frac{\Delta P_y}{\Delta L_y} = \frac{P_{KE}(x) - P_{BN}(x)}{L_{KB}} = \frac{h_{KE} - h_{BN}}{L_{KB} L_{EN}} x - \frac{h_{KB}}{L_{KB}} = \frac{(P_6 - P_5) - (P_2 - P_9)}{L_{KB} L_{EN}} x - \frac{(P_6 - P_2)}{L_{KB}}, \end{array} \right.$$

где  $h_{KB}$  – депрессия части конвейерного штрека от точки  $K$  до точки  $B$ , даПа;  
 $h_{EN}$  – депрессия выработанного пространства от точки  $E$  до точки  $N$ , даПа;  $L_{KB}$  –  
длина части выработанного пространства от точки  $K$  до точки  $B$ , м;  
 $L_{EN}$  – длина части выработанного пространства по линии раздела от точки  $E$  до  
точки  $N$ , м;  
 $h_{BN}$  – депрессия части вентиляционного штрека от точки  $B$  до точки  $N$ , даПа;

для участка 4:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta P_x}{\Delta L_x} = \frac{P_{EN}(y) - P_{LC}(y)}{L_{LC}} = \frac{h_{EN} - h_{LC}}{L_{EN} L_{LC}} y - \frac{h_{NC}}{L_{LC}} = \frac{(P_5 - P_9) - (P_7 - P_4)}{L_{EN} L_{LC}} y - \frac{(P_9 - P_4)}{L_{LC}} \\ \frac{\Delta P_y}{\Delta L_y} = \frac{P_{EL}(x) - P_{NC}(x)}{L_{EN}} = \frac{h_{EL} - h_{NC}}{L_{EN} L_{LC}} y - \frac{h_{EN}}{L_{EN}} = \frac{(P_5 - P_7) - (P_9 - P_4)}{L_{EN} L_{LC}} x - \frac{(P_5 - P_9)}{L_{EN}} \end{array} \right.$$

где  $h_{LC}$  – депрессия части выработанного пространства от точки  $L$  до точки  $C$ ,



даПа;  $h_{NC}$  – депрессия части вентиляционного штрека от точки  $N$  до точки  $C$ , даПа;  $h_{EL}$  – депрессия выработанного пространства по линии раздела от точки  $E$  до точки  $L$ , даПа;  $L_{LC}$  – длина части выработанного пространства от точки  $L$  до точки  $C$ , м.

Уравнения линий тока для каждого участка можно представить как:  
для участка 1:

$$y_{1,2} = \frac{h_{AM}L_{AK}}{h_{AK} - h_{ME}} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{AM}L_{AK}}{h_{AK} - h_{ME}}\right)^2 + \frac{h_{AM} - h_{KE}}{h_{AK} - h_{ME}}x^2 - \frac{2h_{AK}L_{ME}}{h_{AK} - h_{ME}}x + C_1},$$

для участка 2:

$$y_{1,2} = \frac{h_{MD}L_{ME}}{h_{ME} - h_{DL}} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{MD}L_{ME}}{h_{ME} - h_{DL}}\right)^2 + \frac{h_{MD} - h_{EL}}{h_{ME} - h_{DL}}x^2 - \frac{2h_{ME}L_{DL}}{h_{ME} - h_{DL}}x + C_2};$$

для участка 3:

$$y_{1,2} = \frac{h_{KE}L_{KB}}{h_{KB} - h_{EN}} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{KE}L_{KB}}{h_{KB} - h_{EN}}\right)^2 + \frac{h_{KE} - h_{BN}}{h_{KB} - h_{BN}}x^2 - \frac{2h_{KB}L_{EN}}{h_{KB} - h_{EN}}x + C_3};$$

для участка 4:

$$y_{1,2} = \frac{h_{EL}L_{EN}}{h_{EN} - h_{LC}} \pm \sqrt{\left(\frac{h_{EL}L_{EN}}{h_{EN} - h_{LC}}\right)^2 + \frac{h_{EL} - h_{NC}}{h_{EN} - h_{LC}}x^2 - \frac{2h_{EN}L_{LC}}{h_{EN} - h_{LC}}x + C_4};$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – произвольные постоянные.

Знак «+» и «-» перед радикалом выбирается из необходимого выполнения условий:  $x = 0, y = 0$  и  $C_i = 0$  (где  $i = 1, 2, 3, 4$  – порядковый номер участка).

12. На рис. 3 представлено распределение линий тока утечек через выработанное пространство после стыковки участков 1, 2, 3 и 4. Аналогично проводится построение и стыковка линий тока утечек воздуха для других вариантов установки источника вакуумирования в выработанном пространстве.

13. Таким образом, линии тока утечек воздуха через выработанное пространство характеризуются результирующим потоком, который определяется путем суммирования векторов скорости потоков, обусловленных действием общешахтной депрессии и разрежением от источника вакуумирования. На каждом характерном участке линии тока описываются кусочно-непрерывными функциями, являющимися кривыми второго порядка. Точки перегиба линий утечек определяются координатами места отбора метановоздушной смеси, а крутизна линий – соотношением абсолютных значений давлений на границах выработанного пространства.

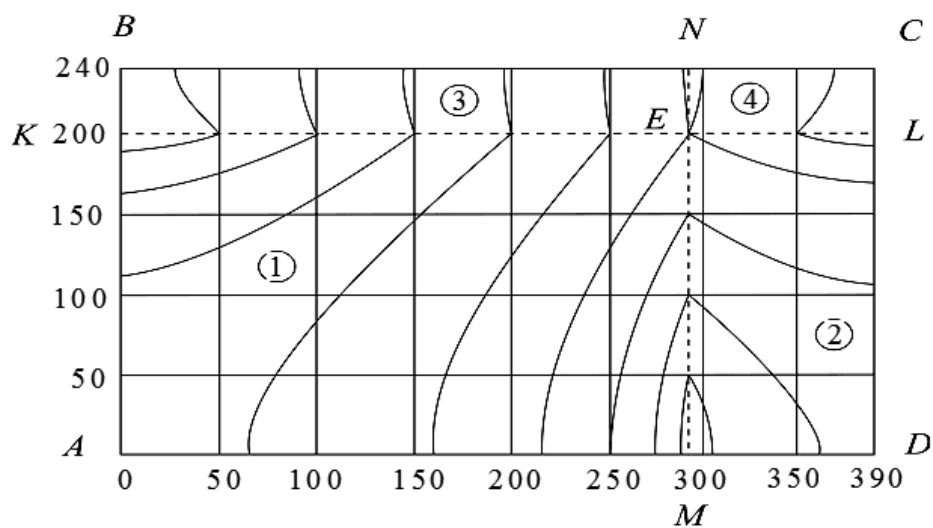


Рисунок 3 - Результаты компьютерного построения линий тока утечек воздуха в выработанном пространстве с отводом из него газозвушной смеси по трубопроводу на фланговую выработку при схеме проветривания 2-В: 1 – участок АКЕМ; 2 – участок MELD, 3 – участок KBNE; 4 – участок ENCL.

Анализ полученных результатов показывает, что для отбора из выработанного пространства газозвушной смеси с высоким содержанием метана наиболее рационально устанавливать источник вакуумирования (точка Е на рис. 3) в районе разрезной печи. В этом случае все линии тока утечек из выработанного пространства АКЛД направлены к источнику вакуумирования. Кластеры 3 и 4 отводят остатки метанозвушной смеси из выработанного пространства в воздухоотводящую выработку, их влияние незначительно. Уровень метанозвушной смеси, удаляемой из шахты средствами вентиляции (кластеры 3 и 4) может регулироваться изменением мощности используемой вакуумнасосной системы.

Таким образом, разработанный метод расчета линий тока утечек метанозвушной смеси через выработанное пространство, учитывающий наличие и место расположения средств вакуумирования, позволяет повысить эффективность проветривания выемочного участка с одновременным повышением эффективности дегазации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокий, Б.В. О формализованном инвариантном способе описания нелинейными многополюсниками зон шахтной вентиляционной сети с неопределенными структурой и аэродинамическими параметрами / 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. Бунько, Т.В. Разработка методов математического моделирования эмиссии шахтного метана / Т.В. Бунько, А.В. Боровский, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. Праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013.- Вип. 109. –С. 247-255.
3. Торопчин О.С. Аналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин, С.А. Головкин, 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. Головка // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 108. – С. 65–73.
5. Смагин, А.Н. Моделирование промышленных шахтных вентиляционных сетей / А.Н. Смагин, Т.В. Завадская, Д.В. Надеев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2010). – 2010. – Вип. 8(168). – С. 15-23.
6. Хемелинг, П.В. Решение задачи воздухораспределения в ШВС / П.В. Хемелинг, Р. Ярус.- Уголь и безопасность, 2007. – Вып. 16. – С. 20-27.
7. Шкундин, С.З. Расчет вентиляционных сетей угольных шахт методом междузловых депрессий / С.З. Шкундин, А.Л. Иконников, И.Н. Зинченко // Уголь. – 2009. - №1. – С. 35-37.
8. Zhou Xin-quart. Основы фундаментальных наук в теории шахтной вентиляции / Zhou Xin-quart, Wu Bing, Du Hong-bing // Zhongguo kuangye хuebao. Ziran kexue ban. -J. China Univ. Mining and Technol Natur. Sci. – 2003. – 32, №2. – pp. 133-137.

---

#### REFERENCES

1. Bokuу, 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 Bokiу, 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. Smagin, A.N., Zavadskaya, T.V. and Nadeyev, D.V. (2010), “Modelling of industrial mine ventilation networks”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya “Problemy modelyuvannya ta avtomatizatsii proektuvannya” (MAP-2010)*, no. 8(168), pp. 15-23.
6. Khemelyng, P.V. and Yarusu, R. (2007), “Determination tasks of air-distribution in MVS”, *Coal and safety*, no. 16, pp. 20-27.
7. Shkundyn, S.Z., Ykonnykov, A.L. and Zinchenko, I.N. (2009), “Calculation of ventilation networks of coal mines by the method of inter-unit depressions”, *Coal*, no.1, pp. 35-37.
8. Zhou Xin-quart, Wu Bing and Du Hong-bing (2003), “Bases of fundamental sciences in the theory of mine ventilation”, *Ziran kexue ban, J. China Univ. Mining and Technol Natur. Sci.*, vol. 32, no.2, pp. 133-137.

---

#### 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)).

**Головка Софья Асхатовна**, младший научный сотрудник, младший научный сотрудник, 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)).

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

**Бокий Александр Борисович**, аспірант Государственного высшего учебного заведения «Донецкий Национальный технический университет» (ГВНЗ «ДонНТУ») Министерства образования и науки (МОН), 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).

**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 establishment «National technical university» of Donetsk (SHEI «DonNTU») of Ministry of Education and Science of Ukraine (NMU), Ukraine, [bokiy@yahoo.com](mailto:bokiy@yahoo.com).

**Анотація.** Динаміка просочування рідин через пористі матеріали описується рівнянням Дарсі, при цьому проникність твердого середовища визначається ефективною або відкритою пористістю масиву, яка бере участь в процесі перебігу рідини, що стискається або нестискованої, під дією прикладеного градієнта тиску. Пустки в твердому середовищі різні за розмірами і формою і розподілені в масиві хаотично. Тому для моделювання пористого середовища застосовані елементи теорії багатополіусних систем, що описують рух рідини або газу в елементарному обсязі масиву і орієнтованого по лініях струму з початкового вузла в кінцевий під дією прикладеного градієнта тиску. Вживання кластерної моделі дозволило розділити вироблений простір на елементи, в яких дотримуються різні режими руху метаноповітряної суміші від ламінарного до турбулентного і врахувати вплив засобів газовідсмоктування на дегазацію виробленого простору.

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

**Abstract.** The dynamics of seepage of liquids through porous materials is described by the Darcy equalization, here transmissivity of hard environment is determined by effective or opened porosity of array, which participates in the process of flow of the squeezed or incompressible liquid under action of the attached gradient of pressure. Emptinesses in a hard environment are different on sizes and form and is distributed in an array chaotically. Therefore for the design of porous environment the elements of theory of the multipolar systems, describing motion of liquid or gas in the elementary volume of array and current oriented on lines from an initial knot in eventual one under action of the attached gradient of pressures, are applied. Application of cluster model allowed to divide the produced space into elements in which different modes of motion of methane-air mixture are observed from lamynar to turbulent and to take into account influence of facilities of gasoотсosa on degassing of the produced space.

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

*Стаття поступила в редакцію 15.10.2014*

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