

тету біоресурсів та природокористування України. Серія: техніка та енергетика в АПК. – К., 2010. – Вип. 144, Ч. 3. – С. 390-398.

23. Калганков, Є.В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / Є.В. Калганков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 71-74.

Про автора

Калганков Євген Васильович, інженер, старший викладач кафедри «Надійність та ремонт машин», Дніпропетровський державний аграрний університет (ДДАУ), Дніпропетровськ, Україна

About the author

Kalgankov Yevgeniy Vasilievich, Engineer, Senior Teacher of Department «Reliability and repair of machinery», Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

УДК 622.454:622.016.62:622.411.332

Т.В. Бунько, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
И.Е. Кокоулин, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
С.А. Головко, магистр, мл. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ОБОБЩЁННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЁТА УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Аннотация. Описан обобщённый алгоритм расчёта утечек воздуха через выработанное пространство. На примере шахты им. А.Ф. Засядько и для самой распространённой схемы проветривания выемочного участка (2в; 10-ая зап. лава пл. l_1) рассмотрено распределение утечек через выработанное пространство в зависимости от изменения его длины (180, 370 и 450 м). Сделаны выводы относительно возможности использования предложенного подхода при переходе от плоского к объёмному потоку и оценки динамики газовой обстановки на вентиляционном штреке в нормальных и аварийных (при возникновении в данных участках экзогенного или эндогенного пожара) режимах проветривания выемочного участка.

Ключевые слова: проветривание, утечки, выработанное пространство, вентиляционный штрек

T.V. Bunko, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
I.Ye. Kokoulin, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
S.A. Golovko, M. S. (Tech.), Junior Researcher
(IGTM NASU)

THE GENERALIZED ALGORITHM OF CALCULATION LOSSES OF AIR THROUGH THE WORKED OUT SPACE FOR DIFFERENT VENTILATION PLANS OF MINING AREAS

Abstract. The generalized algorithm of calculation losses of air through the worked out space is described. On the example of A.F. Zasjadko mine and for the most widespread ventilation plans of mining areas (2в; 10th west lava of the seam l_1) distributing of losses is considered through the worked out space depending on the change of its length (180, 370 and 450 m). Conclusions about possibility of the use offered approach in transition from flat one to the solid stream and estimations of dynamics of gas situation on a ventilation drift in normal and accident (in case of occurring in the examined areas exogenous or endogenous fire) are done.

Keywords: ventilation, losses, worked out space, ventilation drift

Ефективність проветривання виемочного участка в значительній степені залежить від кількості утечек воздуха в його межах, представляючих собою непродуктивну частину проветривання. Большую частину складають при цьому утечки воздуха через выработанное пространство. Величина их залежить від соот-

шения депрессий воздухоподающего, вентиляционного штреков и лавы, и может в значительной степени колебаться в ходе отработки выемочного столба. Поэтому разработка методов расчёта количества утечек через выработанное пространство лавы при различных схемах проветривания является актуальной научной и практической задачей, являющейся составной частью мероприятий по управлению газовыделением.

Наиболее эффективным и легко осуществимым является способ рационального использования воздуха, подаваемого на участок, путём расходования одной его части на проветривание призабойного пространства, а другой – на вымывание метана из выработанного пространства или аккумулялирования его в выработанном пространстве. Это способ может быть реализован путём регулирования расхода воздуха, подаваемого на участок, и перераспределения его по выработкам, прилегающим к выработанному пространству, за счёт изменения аэродинамического сопротивления этих выработок.

Указанный подход является экспериментальным, и для его осуществления необходимо предварительное проведение исследовательских работ. Первый этап их начат на шахте им. А.Ф. Засядько; полученные результаты изложены в [1].

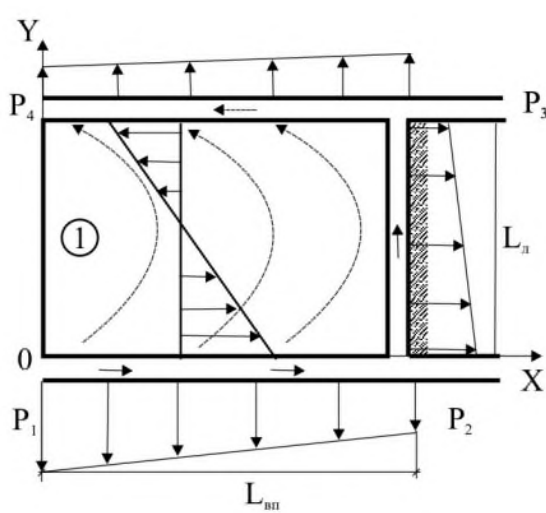
Попытки решения задачи расчёта направлений и количества утечек через выработанное пространство предпринимались и ранее. В Днепропетровском горном институте (ДГИ) – Милетичем А.Ф. [2], в Московском горном институте – Пучковым Л.А [3,4] и другими исследователями процессы движения воздуха через выработанное пространство изучались на электрических моделях. Метод исследования основан на аналогии между уравнениями, описывающими процессы, происходящие в системе горных выработок и уравнениями, характеризующими распределение токов и напряжений в специальном образом составленных электрических схемах. Для исследования влияния утечек воздуха через выработанное пространство, как фактора управления газовыделением выемочного участка, ДГИ был предложен метод электродинамического и электрогидродинамического моделирования (ЭГДА) [3].

Все вышеперечисленные методы расчёта утечек воздуха через выработанное пространство сводились к расчёту общего количества утечек воздуха и определению необходимого количества воздуха, подаваемого на добычный участок.

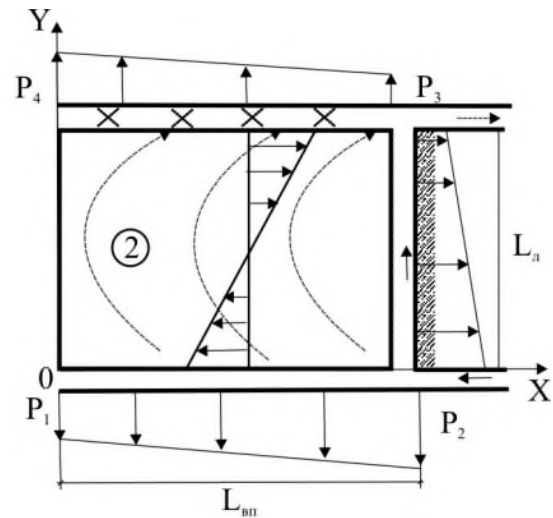
На основе многократных экспериментальных наблюдений и обработки результатов замеров аэродинамических параметров при отработке 10-й западной лавы по пласту l_1 шахты им. А.Ф. Засядько были разработаны аналитический и графоаналитический методы расчёта утечек воздуха через выработанное пространство при различных схемах проветривания [5, 6].

Метод расчёта утечек воздуха позволяет получать количественную и качественную (направление линий тока) картину утечек воздуха через выработанное пространство. Изменяя аэродинамические сопротивления выработок, оконтуривающих выработанное пространство, можно получать графическую картину распределения утечек по оконтуривающим выработкам и внутри выработанного пространства. Решение этой задачи позволит оценить дебит утечек, поступающих на вентиляционный штрек и в другие участки шахтного поля, и, с одной стороны, оценивать эффективность удаления метановоздушной смеси из шахты средствами вентиляции, а с другой – выбирать необходимые места установки средств газоотсоса с целью утилизации смеси с максимально (а значит – промышленно выгодной) концентрацией.

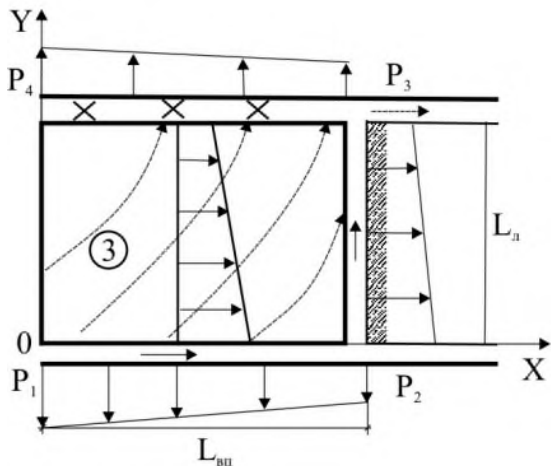
На шахтах Минэнергоугля Украины и других угледобывающих предприятий используются основные схемы проветривания выемочных участков, представленные на рис. 1.



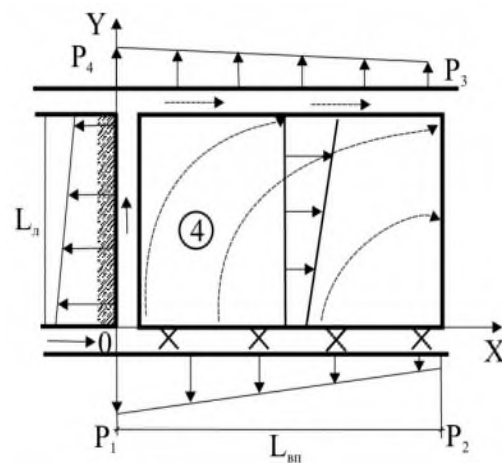
1 – возвратноточная схема проветривания при прямом порядке отработки



2 – возвратноточная схема проветривания при обратном порядке отработки



3 – прямоточная схема проветривания при прямом порядке отработки



4 – прямоточная схема проветривания при обратном порядке отработки

Рис. 1 – Обобщённые варианты схем проветривания добычных участков

Обобщённый алгоритм расчёта утечек воздуха через выработанное пространство предусматривает получение количественного распределения скорости движения воздуха по всему выработанному пространству и по периметру оконтуривающих и примыкающих выработок (поля скоростей), а также картину распределения линий тока утечек воздуха, на плане выработанного пространства.

Исходными данными для получения табличных данных поля скоростей по всему выработанному пространству и линий тока на плане выработанного пространства являются результаты депрессионной съёмки добычного участка, а также горногеологические и горнотехнические его характеристики.

Согласно закону Дарси, поле скоростей для условий выработанного пространства может быть найдено из выражений:

$$\begin{cases} v_x = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}; \\ v_y = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dy}, \end{cases}$$

и для каждой из вышеуказанных четырёх схем проветривания определяются в зависимости от способа управления кровлей.

Определение линий тока по заданному полю скоростей производится путём интегрирования дифференциального уравнения

$$V_x dy - V_y dx = 0 \quad (1)$$

с учётом фактических значений V_x и V_y , после чего можно получить уравнение семейства линий тока при $x \in [0, L_{вп}]$ и $y \in [0, L_l]$

$$\int_0^{L_{вп}} V_x dy - \int_0^{L_l} V_y dx + C = 0,$$

где $L_{вп}$ – длина выработанного пространства;
 L_l – длина лавы.

Полученное уравнение представляет собой уравнение семейства гипербол. Для нахождения конкретной линии, проходящей через заданную точку, необходимо ее координаты подставить в полученное уравнение и определить значение постоянной C .

Общий дебит утечек через выработанное пространство и их распределение вдоль оконтуривающих выработок определяются путем интегрирования выражения (1).

В качестве объекта апробации метода была выбрана 10-я западная лавы пл. ℓ_1 , проветриваемая по схеме 2 (рис. 1). Схема проветривания участка представлена на рис. 2. На схеме приняты следующие обозначения: $L_{вп}$, L_l – длина и ширина выработанного пространства; P_1 – абсолютное давление в начале откаточного (конвейерного) штрека; P_2 – абсолютное давление в конце откаточного (конвейерного) штрека; P_3 – абсолютное давление в начале вентиляционного штрека; P_4 – абсолютное давление в конце вентиляционного штрека; $P_{вш}(x)$, $P_{кш}(x)$, $P_{вп}(y)$ и $P_l(y)$ – эпюры изменения абсолютного давления в координатах XOY вдоль горных выработок, оконтуривающих и примыкающих к выработанному пространству.

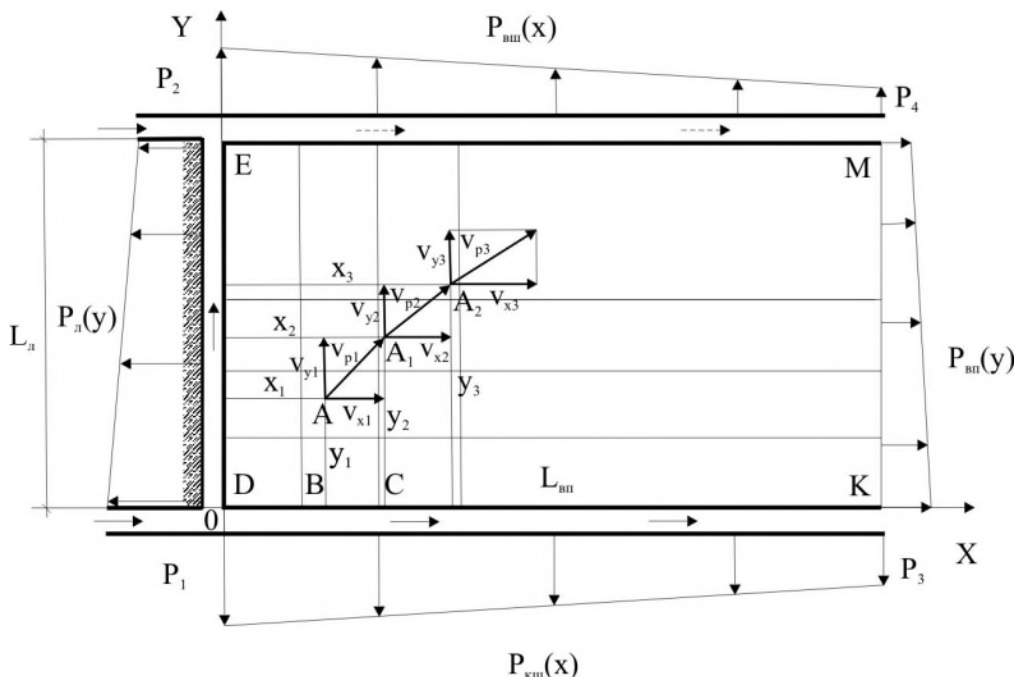


Рис. 2 – Схема проветривания добычного участка пл. ℓ_1 с выдачей исходящей струи на выработанное пространство с подсвещением

Наиболее точно для условий, представленных на рис. 2, изменение аэродинамического сопротивления по длине выработанного пространства отражает формула А.Ф. Милетича [3]

$$r_x = r_0 + ax^b, \quad (2)$$

где a и b – постоянные коэффициенты и зависят от системы разработки и способа управления кровлей;

r_0 – удельное аэродинамическое сопротивление призабойного пространства.

Формирование линии тока утечки для точки А, расположенной в поле прямоугольника ДКМЕ, представляющего собой границы выработанного пространства под действием сил, обусловленных разностью давлений на границах выработанного пространства, подробно описаны в [5]; определение траекторий движения точек В, С и др. производится аналогично.

В рассматриваемом примере линии тока утечек воздуха и их табличные значения будем определять при длине выработанного пространства 180, 380 и 450 м. Обозначения исходных данных – из рис. 2 и формулы (2).

Вариант 1. $P_1 = 46$ даПа; $P_2 = 27$ даПа; $P_3 = 37$ даПа; $P_4 = 6$ даПа; $L_n = 240$ м; $L_{вп} = 180$ м; $r_0 = 6 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$; $a = 6 \cdot 10^{-9}$; $b = 4$. Результаты расчетов аэродинамических параметров выработанного пространства приведены на рис. 3 – рис. 6.

Вариант 2. $P_1 = 164$ даПа; $P_2 = 143$ даПа; $P_3 = 64$ даПа; $P_4 = 16$ даПа; $L_n = 240$ м; $L_{вп} = 390$ м; $r_0 = 6 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$; $a = 6 \cdot 10^{-9}$; $b = 4$. Результаты расчетов аэродинамических параметров выработанного пространства приведены на рис. 7 – рис. 10.

Вариант 3. $P_1 = 327$ даПа; $P_2 = 301$ даПа; $P_3 = 10$ даПа; $P_4 = 6$ даПа; $L_n = 240$ м; $L_{вп} = 460$ м; $r_0 = 6 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$; $a = 6 \cdot 10^{-9}$; $b = 4$. Результаты расчетов аэродинамических параметров выработанного пространства приведены на рис. 11 – рис. 14.

Полученные результаты расчёта утечек воздуха через выработанное пространство дают возможность получить количественную и качественную картину распределения утечек воздуха и движения газовой смеси внутри выработанного пространства, а также определить области наиболее интенсивного их образования. Так, например, из рис. 6, представляющего график распределения утечек воздуха при длине выработанного пространства 180 м, видно, что все утечки воздуха из лавы, а с ними и газовыделение из призабойного пространства, поступают на вентиляционный штрек. При длине выработанного пространства 370 и 450 м (рис. 10 и рис. 14), когда изменились аэродинамические параметры оконтуривающих выработок и самого выработанного пространства, утечки воздуха поступают на вентиляционный штрек только из 60 м верхней части лавы. Из 180 м лавы утечки воздуха поступают в разрезной ходок – на границу выработанного пространства.

Соотношение V_x/V_y составляющих скоростей утечек воздуха на границе выработанного пространства изменилось с 0,42 при $L_{вп} = 180$ м до 27,0 при $L_{вп} = 450$ м, в то время как в начале выработанного пространства соотношение V_x/V_y было равно 0,64 при $L_{вп} = 180$ м и 6,73 – при $L_{вп} = 450$ м.

Результирующие скорости утечек воздуха через выработанное пространство V_p соответствовали значениям: для $L_{вп} = 180$ м – 0,0162 м/с в начале и 0,0127 м/с в конце выработанного пространства; для $L_{вп} = 370$ м – 0,0670 м/с и 0,0033 м/с; для $L_{вп} = 450$ м – 0,1159 м/с и 0,0027 м/с соответственно.

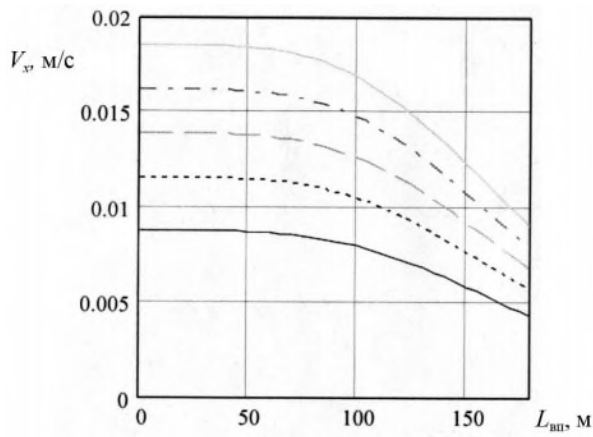


Рис. 3 – График изменения составляющей скорости утечек воздуха V_x внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 180$ м

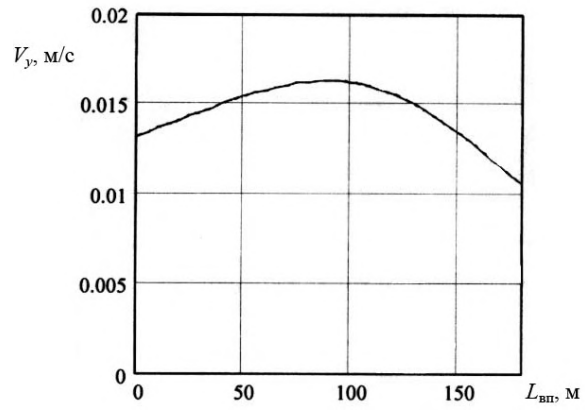


Рис. 4 – График изменения составляющей скорости воздуха V_y внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 180$ м

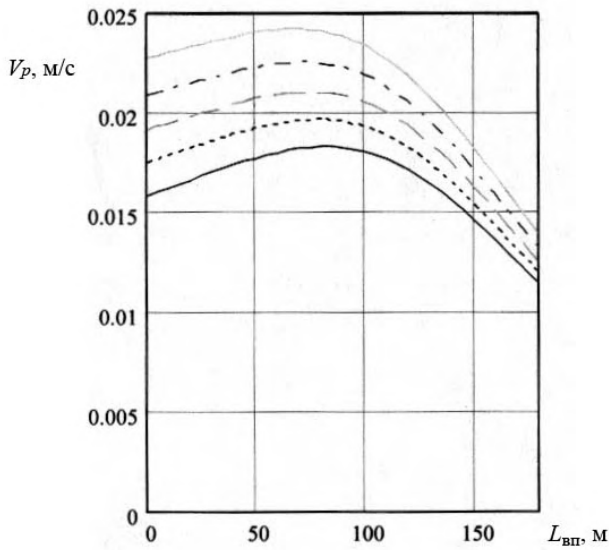


Рис. 5 – График изменения результирующей скорости движения утечек воздуха V_p внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 180$ м

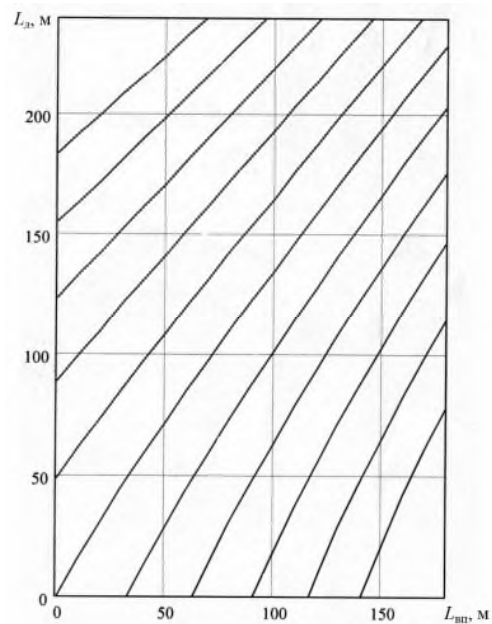


Рис. 6 – График распределения линий тока утечек воздуха внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 180$ м

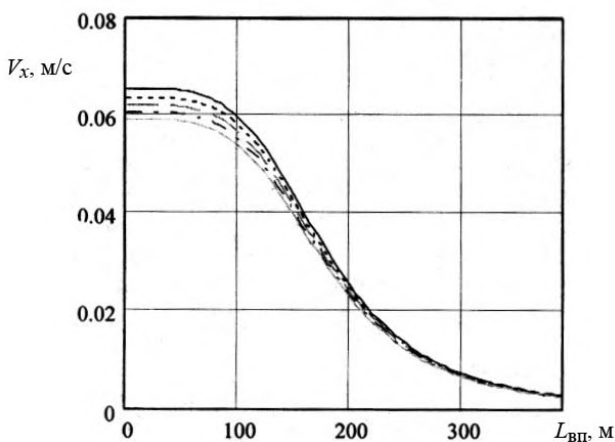


Рис. 7 – График изменения составляющей скорости движения утечек воздуха V_x внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 370$ м

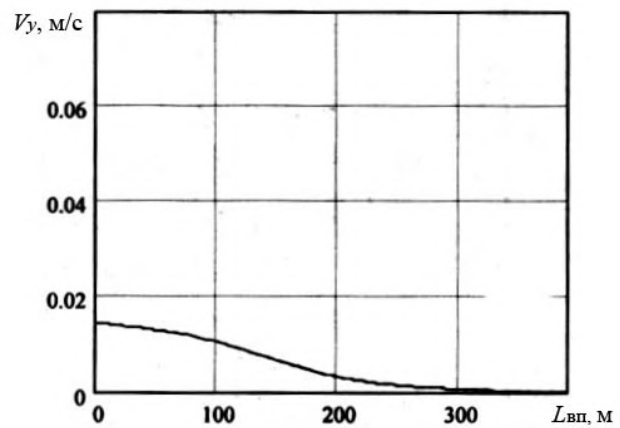


Рис. 8 – График изменения составляющей скорости движения утечек воздуха V_y внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 370$ м

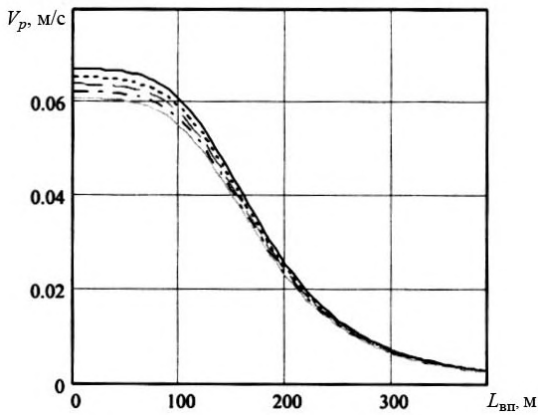


Рис. 9 – График изменения результирующей скорости движения утечек воздуха V_p внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 370$ м

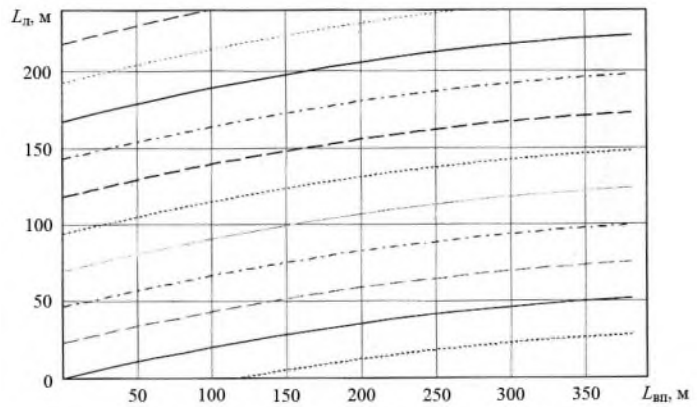


Рис. 10 – График распределения линий тока утечек воздуха внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 370$ м

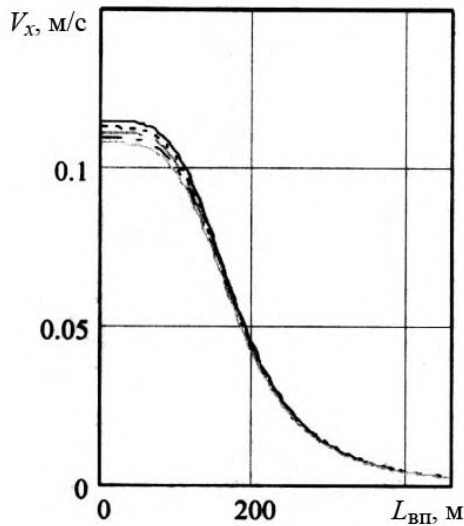


Рис. 11 – График изменения составляющей скорости движения утечек воздуха V_x внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 450$ м

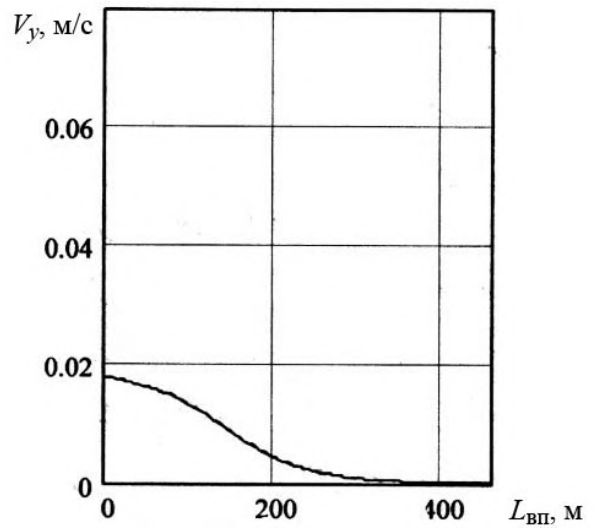


Рис. 12 – График изменения составляющей скорости движения утечек воздуха V_y внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 450$ м

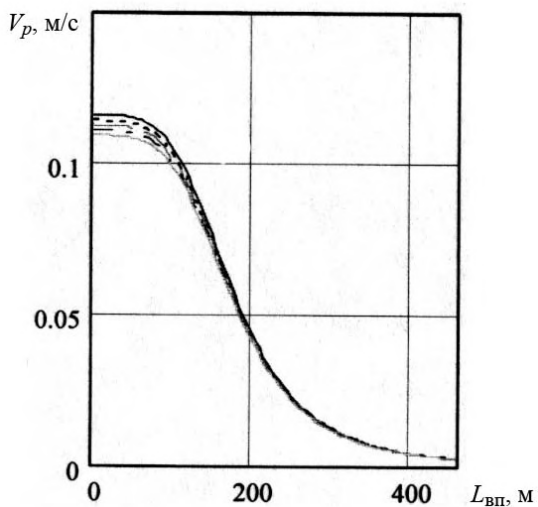


Рис. 13 – График изменения результирующей скорости движения утечек воздуха V_p внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 450$ м

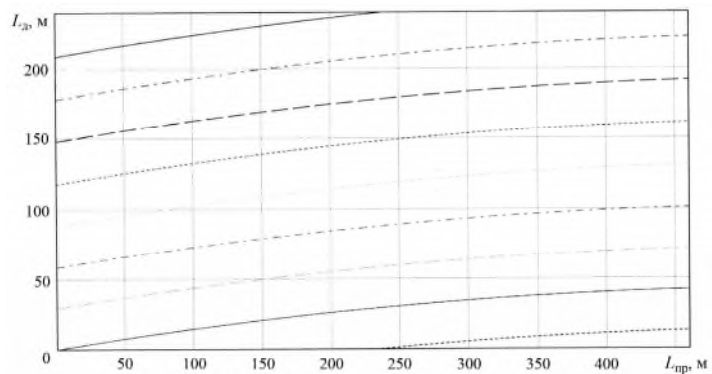


Рис. 14 – График распределения линий тока утечек воздуха внутри выработанного пространства, $L_{вп} = 450$ м

Таким образом, приведенный алгоритм утечек воздуха через выработанное пространство можно использовать при расчётах общего количества воздуха, подаваемого на участок, количества утечек и распределения их внутри выработанного пространства и по длине оконтуривающих выработок. Данный алгоритм можно также использовать при решении задач управления утечками и газовой выделением из выработанного пространства.

Перспективами развития проведенных исследований могут явиться следующие:

1. Представленные на рис. 6, рис. 10 и рис. 14 линии тока утечек рассмотрены для условий плоского потока, когда координата z для всех точек выработанного пространства пренебрежительно мала. На самом деле выработанное пространство имеет чётко выраженную размерность и по координате z (это высота выработанного пространства). Линии тока утечек в трёхмерной системе координат имеют также гиперболическую форму, однако, в зависимости от изменения разности давлений в узловых точках выработанного пространства конфигурация их изменяется иначе. Иными словами, в рассмотренном нами случае мы имели дело не с линиями тока утечек, а лишь с их проекциями на плоскость (x, y) . Это, конечно, снижает точность получаемых решений.

2. Отмеченное в п. 1 имеет и ещё один недостаток. Речь идёт о прогнозировании возникновения слоёвых скоплений метана у кровли воздухоотводящей выработки. В наших расчётах мы лишь отмечаем, какой процент утечек поступает в эту выработку, не определяя конкретное место возможного возникновения слоёвого скопления.

3. Анализ плоских потоков не позволяет также определить оптимальные места установки средств газоотсоса с целью утилизации метановоздушной смеси с достаточной концентрацией метана, а тем более – управлять линиями утечек с целью направления метановоздушных потоков к ближайшим средствам вакуумирования.

4. При возникновении экзогенного пожара в оконтуривающих выработанное пространство выработках использование модели плоских потоков не позволяет рассчитать изменение линий утечек под влиянием возникающей тепловой депрессии ни аналитическим [5], ни графоаналитическим [6] методом, поскольку тепловая депрессия как раз и вызывает искривление линий тока в вертикальном направлении, что невозможно учесть в существующей модели.

Эти вопросы требуют проведения дальнейших как теоретических, так и натурных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е.Л. Звягельский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов [и др.]. – Донецк-Днепропетровск: Норд-Пресс, 2003. – 218 с.
2. Милетич, А.Ф. Утечки воздуха в шахтах / А.Ф. Милетич. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 132 с.
3. Пучков, Л.А. О формуле закона сопротивления и методике расчета аэродинамических параметров пористой среды обрушения / Л.А. Пучков, С.П. Алехичев // В сб.: Технология разработки рудных месторождений Заполярья. – М.-Л.: Наука, 1964. – С. 48-56.
4. Пучков, Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л.А. Пучков. – М.: МГТУ, 1993. – 267 с.
5. Торопчин, О.С. Аналитический метод определения линий утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин, С.А. Головкин, Н.В. Безкровный // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 69. – С. 277-288.
6. Торопчин, О.С. Графоаналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ

НАН України. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 68. – С. 245-258.

Об авторах

Бунько Татьяна Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина

Кокоулин Иван Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина

Головко Софья Асхатовна, магистр, младший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина

About the authors

Bunko Tatyana Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Kokoulin Ivan Yevgenievich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Golovko Sophya Ashatovna, Master of Science (Tech.), Junior Researcher, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sofyag@mail.ru

УДК 669.11:620.193.55

А.В. Толстенко, канд. техн. наук, доцент
(ДГАУ)

СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

Аннотация. Рассматривается способ обработки металла в атмосфере водорода.

Ключевые слова: термоцикловая обработка, микроструктура материала, γ - δ превращения

A.V. Tolstenko, Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(DSAU)

METHOD OF PROCESSING METAL IN ATMOSPHERE OF HYDROGEN

Abstract. The method of metal processing in atmosphere of hydrogen is considered.

Keywords: thermal cycle processing, material microstructure, γ - δ transformations

Введение. Исследование микроструктуры металлических материалов при циклическом изменении температуры (термоциклическая обработка – ТЦО) вблизи критических точек представляет интерес с позиции получения новых структур и улучшения комплекса механических свойств.

Метод термоциклической обработки, включающий многократные α - γ полиморфные превращения приводит к упрочнению железа и Fe-C сплавов, с получением мелкозернистой структуры [1], что связано с изменением объёма фаз при полиморфном превращении.

В атмосфере водорода при многократных γ - α превращениях железа наблюдается аномальная спонтанная деформация (размер зерна увеличивается), за счёт возникновения метастабильных водородонасыщенных зон на границе $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Различие в растворимости водорода в γ и α -фазах приводит, при определённых условиях, к пересыщению водородом движущейся границы $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения [2]. Водородонасыщенная зона существует при движении границы