

УДК 504.064.38

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ГАЗОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ

Никитченко И.В, Шведчикова И.А.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR MONITORING OF POTENTIALLY DANGEROUS GASES PRODUCED BY FLOODED MINES

Nikitchenko I.V. Shvedchikova I.A.

В статье показано, что наибольшую опасность для живых организмов представляют образующиеся при затоплении шахт газы: метан, окись углерода, углекислый газ, диоксид азота, сероводород, диоксид серы. Отмечено, что для регистрации опасных газов, выделяемых при затоплении шахт, а также для определения их концентраций существует достаточно большое количество методов. Выполнен сравнительный анализ механических, акустических, тепловых, магнитных, оптических, ионизационных, масс-спектрометрических, электрохимических и полупроводниковых методов. Определены требования, предъявляемые к методам контроля потенциально опасных газов. Установлено, что в наибольшей степени указанным требованиям удовлетворяют акустические, тепловые, оптические и электрохимические методы контроля.

Ключевые слова: затопление шахты, метод, газовый анализ, контроль.

Введение. Обычно при ликвидации шахты предусматриваются меры по предупреждению проявления всех действующих на шахте опасных и вредных факторов. В настоящее время на территории Донецкой и Луганской областей насчитывается более 50-ти закрытых угольных шахт, большинство из которых прекратили свою работу из-за ведения военных действий. Закрытие таких шахт выполнялось, в основном, путем «мокрой» консервации, когда выработанное пространство постепенно заполняется водой из подработанных водоносных пластов [1]. При этом газы, находящиеся в выработанном пространстве, вытесняются водой к земной поверхности. Газовыделение из закрытых путем «мокрой консервации» шахт обнаруживается в течение от одного года до нескольких десятилетий после прекращения принудительного проветривания и засыпки стволов и продолжается вплоть до полного затопления выработанного пространства [2, 3].

В условиях военных действий на востоке Украины проблема своевременного обнаружения

газов, выделяемых при затоплении шахт и представляющих зачастую катастрофическую опасность для жизнедеятельности людей, приобретает особую актуальность.

Целью работы является изучение и сравнительный анализ существующих методов газового анализа; разработка рекомендаций по применению указанных методов для обнаружения потенциально опасных газов, выделяемых при ликвидации и затоплении шахт.

Анализ последних исследований и публикаций. Ярембаш И.Ф. в работе [4] отмечает важность проблемы контроля параметров шахтных вод, в частности, контроля взрывоопасных газов, образующихся при затоплении шахт. В публикациях Матлака Е.С. [5] и Запольского А.К. [6] рассмотрены вопросы контроля и снижения уровня загрязненности шахтных вод в подземных условиях для их дальнейшего использования. Поиску перспективных технологических решений во время экологически безопасного закрытия угольных шахт посвящена работа [7].

Таким образом, анализ последних публикаций показал, что вопрос контроля потенциально опасных газов, выделяемых при затоплении шахт, остается открытым и требует дальнейших исследований.

Материалы и результаты исследования. В закрытых шахтах, как показывает практика, наблюдается выделение целого ряда опасных газов, в частности, метана (CH_4), оксида углерода (CO), углекислого газа (CO_2), диоксида азота (NO_2), сероводорода (H_2S), диоксида серы (SO_2). Большая концентрация этих газов в шахтных выработках нередко приводит к взрывам и заражению питьевой воды [5]. В закрытых шахтах встречается также «мёртвый воздух», представляющий собой опасную для живых организмов смесь углекислого газа (CO_2) и азота (N_2). Причиной появления «мертвого воздуха» являются химические процессы, происходящие в подземном выработанном

пространстве. «Мёртвый воздух» может оказаться на поверхности, в том числе в подвалах жилых зданий и колодцах, поднимаясь через многочисленные трещины и пустоты в земле [9, 10].

В настоящее время существует ряд методов газового анализа, которые по характеру измеряемого физического параметра подразделяют на механические, акустические, тепловые, магнитные, оптические, ионизационные, масс-спектрометрические, электрохимические, полупроводниковые [8]. Рассмотрим их более подробно.

К механическим методам относится волюмоманометрический метод, основанный на измерении объема или давления газовой пробы после химического воздействия на нее, которое может заключаться, например, в последовательном поглощении компонентов анализируемого газа подходящими реагентами в поглотительных сосудах. Минимально определяемые концентрации (МОК) газов составляют от 0,001 до 0,01 %. К механическим методам также относят пневматический метод (аэростатический и аэродинамический методы). Эти методы применяют для анализа бинарных и псевдобинарных смесей.

Акустические методы основаны на измерении поглощения или скорости распространения звуковых и ультразвуковых волн в газовой смеси. Методы не избирательны и применяются, в частности, для определения метана (CH_4) и водорода (H_2) в бинарных и псевдобинарных смесях. МОК методов составляет от 0,001 до 0,1 % [11].

Тепловые методы основаны на измерении теплопроводности газовой смеси (термокондуктометрический метод) или теплового эффекта радиации с участием определяемого компонента (термохимический метод). Термокондуктометрическим методом находят содержание диоксида углерода (CO_2), водорода (H_2), метана (CH_4) в бинарных и псевдобинарных смесях (МОК от 0,01 до 0,1%). Термохимический метод используют для избирательного определения угарного газа (CO), метана (CH_4), кислорода (O_2), водорода (H_2), контроля в воздухе взрывоопасных и пожароопасных примесей (смесей газообразных углеводородов, паров бензина и т.д.).

С помощью магнитных методов измеряют физические характеристики газа, обусловленные магнитными свойствами определяемого компонента в магнитном поле. С их помощью контролируют содержание кислорода O_2 , отличающегося аномально большой парамагнитной восприимчивостью. Наиболее распространены термомагнитный метод, основанный на зависимости парамагнитной восприимчивости O_2 от его концентрации при действии магнитного поля в условиях температурного градиента. МОК метода – от 0,01 до 0,1 %.

С использованием оптических методов измеряют оптическую плотность (абсорбционные

методы), интенсивность излучения (эмиссионные методы), коэффициент преломления (рефрактометрический метод). Так же существуют фотоколориметрический оптический метод, но он не так широко распространён в сравнении с другими методами.

Абсорбционные методы, основанные на измерении селективного поглощения инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ), видимого излучения контролируемым компонентом. Применяют методы, например, для избирательного определения окиси азота (NO_2), озона (O_3), сероводорода (H_2S), окиси серы (SO_2), оксида серы (CS_2), формальдегида, фосгена, паров ртути (Hg), натрия (Na), свинца (Pb) и других. МОК метода – от 0,00001 до 0,01%.

Эмиссионные оптические методы применяют для количественного определения множества элементов и соединений, измеряя интенсивность излучения компонентов. Излучение можно возбудить электрическим разрядом (МОК метода от 0,0001 до 0,1 %), пламенем, светом и другими источниками (при использовании лазера МОК достигает 0,0000001 до 0,000001 %).

Рефрактометрический метод используется для определения CO_2 , CH_4 , ацетилена, SO_2 и др. в бинарных и псевдобинарных смесях. МОК метода около 0,01 %. Интерферометрический оптический метод основан на измерении смещения интерференционных полос в результате изменения оптической плотности газовой смеси при изменении концентрации определяемого компонента. Применяется для определения CO_2 и CH_4 в воздухе. МОК метода около 0,01 %.

При фотоколориметрическом оптическом методе предварительно проводят цветную реакцию контролируемого компонента с подходящим реагентом в газовой фазе, в индикаторном реакторе или на поверхности твердого носителя (в виде ленты, таблетки, порошка) и измеряют интенсивность окраски продуктов реакции. Метод применяют также для избирательного определения оксидов азота, CO , CS_2 , NH_3 , ацетилена, фосгена, формальдегида и др. МОК метода от 0,000001 до 0,001%.

Широко используется комбинированный оптико-акустический метод, основанный на пульсации давления газа в приемнике излучения при поглощении прерывистого потока излучения, прошедшего через анализируемый газ. Метод позволяет определять CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 , SO_2 , ряд органических соединений. МОК метода – от 0,001 до 0,01 %. Источники излучения в абсорбционных методах – лампы накаливания, ртутные, водородные, ртутно-кадмиевые, кадмиевые, никромовые спирали [8].

Ионизационные методы основаны на измерении электрической проводимости ионизированных газовых смесей. Ионизацию осуществляют радиоактивным излучением, электрическим разрядом, пламенем, УФ-

излучением, на нагретой каталитически активной поверхности. Например, метод, основанный на измерении разницы сечений ионизации газов радиоактивным излучением, используют для анализа таких бинарных смесей, как H_2-N_2 , N_2-CO_2 , а также некоторых углеводородов (МОК метода около 0,01 %). Метод, основанный на ионизации органических соединений в водородном пламени, применяют для определения органических примесей в бинарных газовых смесях и воздухе (МОК метода около 0,00001 %).

Масс-спектрометрические методы, основанные на измерении масс ионизованных компонентов анализируемого газа, применяют для определения инертных газов, O_2 , H_2 , оксидов углерода, азота и серы, а также неорганических, органических и металлоорганических летучих соединений. МОК метода от 0,00001 до 0,001 % [12].

Электрохимическими методами измеряют параметры системы, состоящей из жидкого или твердого электролита, электродов и определяемого компонента газовой смеси или продуктов его реакции с электролитом. Так, потенциометрический метод основан на зависимости потенциала индикаторного электрода от концентрации иона, полученного при растворении определяемого компонента в растворе; амперометрический – на зависимости между током и количеством определяемого компонента, прореагировавшего на индикаторном электроде; кондуктометрический – на измерении электропроводности растворов при поглощении ими определяемого компонента газовой смеси. Электрохимическими методами измеряют содержание примесей O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , H_2S , H_2 , Cl_2 , NH_3 , O_3 и др. МОК метода от 0,000001 до 0,0001 %.

Полупроводниковыми методами измеряют сопротивление полупроводника (пленки или монокристалла), взаимодействующего с определяемым компонентом газовой смеси. Методы применяют для измерения содержания H_2 , метана, пропана, O_2 , оксидов углерода и азота, галогенсодержащих соединений и др. МОК метода от 0,00001 до 0,001 % [8].

Среди методов газового анализа иногда выделяют так называемые комбинированные. К ним относятся методы, отличающиеся способами предварительного преобразования пробы (хроматография, изотопное разбавление), которые могут сочетаться с измерением различных физических параметров, а также многопараметрический вычислительный метод.

В хроматографических методах газового анализа разделение анализируемой смеси происходит при ее движении вдоль слоя сорбента. Наиболее часто применяют проявительный вариант, в котором исследуемый газ переносится через слой сорбента потоком газа-носителя, сорбирующегося хуже любого из компонентов анализируемой газовой смеси. Для измерения концентрации

разделенных компонентов в газе-носителе применяют различные детекторы. Хроматографические методы обеспечивают анализ широкого круга органических и неорганических компонентов с МОК метода от 0,0001 до 0,01 %. Сочетание хроматографического разделения с предварительным концентрированием (криогенной адсорбцией, диффузией и др.) определяемых компонентов позволяет снизить значения МОК метода от 0,0000001 до 0,000001 % [13].

В методе изотопного разбавления в анализируемую пробу вводят радиоактивные или, чаще, стабильные изотопы определяемого компонента и затем выделяют его из пробы вместе с добавкой. В случае радиоактивного изотопа концентрацию компонента рассчитывают по удельной радиоактивности выделенного компонента, в случае стабильных изотопов – по результатам масс-спектрометрического или спектрального анализа его изотопного состава. Применяется также метод, основанный на реакции между определяемым компонентом и радиоактивным реагентом. Образовавшееся соединение выделяют, измеряют его удельную активность, по значению которой находят концентрацию определяемого компонента. Методами изотопного разбавления измеряют содержание примесей O_2 , N_2 , H_2 , оксидов углерода и азота, CH_4 , Cl_2 и др. МОК от метода от 0,0000001 до 0,1 % [13].

Многопараметрический вычислительный метод основан на совместном измерении ряда физических параметров смеси известного качественного состава и на решении с помощью ЭВМ системы уравнений, описывающих взаимосвязь измеряемых параметров с концентрациями определяемых компонентов. Одновременно можно измерять, например, оптическую плотность среды при различных длинах волн, эффективность ионизации газов и паров на каталитически активных поверхностях с разными температурами нагрева и т.д.

В результате проведенного выше анализа методов, используемых для определения состава газов и их концентрации, установлено, что для контроля потенциально опасных газов, выделяемых при затоплении шахт (прежде всего, CH_4 , CO_2 , N_2), возможно применение только некоторых из них, которые удовлетворяют следующим требованиям:

1. Обнаружение опасных концентраций таких газов, как метан (CH_4), оксид углерода (CO), углекислый газ (CO_2), диоксид азота (NO_2), сероводород (H_2S), диоксид серы (SO_2), а также обнаружение присутствия «мертвого воздуха», т.е. смеси углекислого газа (CO_2) и азота (N_2).

2. Возможность дистанционного контроля газов.

3. Высокая чувствительность (МОК метода от 0,001 до 0,01 %.)

4. Возможность приборной реализации метода.

Таблиця

Сравнительный анализ методов контроля потенциально опасных газов

Методы газового анализа	Определяемые Газы	Преимущества	Недостатки
Акустические методы	CH ₄ , O ₂ , H ₂	Методы не избирательны и применяются, в частности, для определения газов в бинарных и псевдобинарных смесях. Метод имеет высокую чувствительность. Возможность проведения экспресс анализа.	Сложность в организации дистанционного контроля.
Тепловые методы: термокондуктометрический; термохимический	He, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ CO, O ₂ , H ₂	Дистанционный контроль. Высокая чувствительность.	Принцип теплопроводности, используемый в этих методах, не обеспечивает необходимую избирательность, может быть использован лишь при резком отличии теплопроводности определяемого компонента от остальных составляющих смеси
Оптические методы (оптико-абсорбционные)	NO ₂ , O ₃ , H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , NH ₃	Включают в себя большую группу спектральных методов анализа, что даёт возможность определения разнообразных газов. Возможность проведения экспресс анализа.	Недостаточный диапазон измеряемых концентраций.
Электрохимические методы	O ₂ , CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , H ₂ S, H ₂ , Cl ₂ , NH ₃ , O ₃	Высокая точность и чувствительность метода. Определение широкого спектра газов.	Большая трудоемкость и длительность проведения анализа, необходимость наличия дорогостоящей аппаратуры

5. Проведение экспресс анализа.

В наибольшей степени указанным требованиям удовлетворяют акустические, тепловые, оптические и электрохимические методы. Так как в закрытых шахтах доступ к горным выработкам затруднен, то для анализа концентрации газов и определения их состава целесообразно использовать методы, позволяющие проводить дистанционный контроль, в частности, оптические методы. Тепловые, оптические и электрохимические методы являются основными для определения концентраций таких опасных газов, как CH₄, CO₂, N₂. Именно эти газы выделяются в значительных количествах при затоплении шахтных выработок. В табл. выполнен сравнительный анализ указанных методов.

Выводы. Анализ методов измерения концентрации и состава газов позволил выделить четыре группы методов, в наилучшей степени удовлетворяющих требованиям контроля потенциально опасных газов, выделяемых при закрытии шахт. В результате проведенного анализа установлено, что наиболее приемлемыми для контроля газов в закрытых шахтах являются оптические методы, т.к. эти методы удовлетворяют таким важным требованиям, как широкий спектр определяемых газов и возможность их использования для дистанционного контроля.

Направлением дальнейших исследований следует считать исследование принципов построения оптических приборов газового анализа.

Л и т е р а т у р а

1. Донбасс в шаге от экологической катастрофы: воды затопленных шахт могут разрушить дома, а хлор – уничтожить все живое [Электронный ресурс] –Режим доступу до ресурсу: <http://www.segodnya.ua/regions/donetsk/donbass-v-shage-ot-ekologicheskoy-katastrofy-vody-iz-zatoplenyih-shaht-mogut-razrushit-doma-a-hlor-unichtozhit-vse-zhivoe-625841.html>
2. Нікітченко І.В., Прокопенко Н.Ю. Вплив військових конфліктів на навколишнє середовище та екологію. Матеріали міжнар.наук.-техн. конф., 17-18 квіт. 2015 р., м. Северодонецьк. Ч. I / [укл. : Тарасов В.Ю.]. – Северодонецьк : [Технол. ін-т Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля (м. Северодонецьк)], с.153-156.
3. Нікітченко І.В., Шведчикова І.О. Екологічні проблеми у постраждалих від конфлікту районах сходу України. Матеріали міжнародної наук.-техн. конф. 2015 р., м. Кременчук.
4. Ярембаша І. Ф. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт / И. Ф. Ярембаша. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 238 с.
5. Матлак Е. С. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях / Е. С. Матлак, В. В. Малеев. – К: Техника, 1991. – 136 с.
6. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – К: Вища шк, 2005. – 671 с.
7. Вибір та обґрунтування на основі експертної оцінки перспективних напрямків технологічних рішень під час екологічно безпечного закриття вугільних шахт / Геотехнології та управління виробництвом ХХІ століття. Монографія в 2 т., т.2., Донецьк.: ДонНТУ, 2006. – с.227-231.

8. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. – Москва, 1983.
9. Мёртвый воздух [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://miningwiki.ru/wiki/%D0%9C%D1%91%D1%80%D1%82%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85.
10. Шведчикова И. В. Принципы построение системы экологичного мониторинга параметров шахтных вод... / И. В. Шведчикова, И. В. Никитченко. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ».. – 2015. – С. 89–96.
11. Коллеров Д.К., Метрологические основы газоаналитических измерений, М., 1967
12. Павленко В. А. Газоанализаторы / В. А. Павленко. – Москва, 1965.
13. Харитонов Ю. Я. Аналитическая химия. Аналитика 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа / Ю. Я. Харитонов., 2014. – 656 с
14. Подрухин А.А. Исследование миграции метана на дневную поверхность в пределах горного отвода ликвидированной шахты «Кочегарка» / Сб.: Физико-технические проблемы горного производства/ Вып. №9. Под общей редакцией А.Д. Алексеева. - Донецк: ИФГП НАНУ, 2006. – с. 196.
9. Mertyvy vozdukh [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: http://miningwiki.ru/wiki/%D0%9C%D1%91%D1%80%D1%82%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85.
10. Shvedchikova I. V. Printsipy postroenie sistemy ekologichnogo monitoringa parametrov shakhtnykh vod... / I. V. Shvedchikova, I. V. Nikitchenko. // Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI».. – 2015. – S. 89–96.
11. Kollerov D.K., Metrologicheskie osnovy gazoanaliticheskikh izmereniy, M., 1967
12. Pavlenko V. A. Gazoanalizatory / V. A. Pavlenko. – Moskva, 1965.
13. Kharitonov Yu. Ya. Analiticheskaya khimiya. Analitika 2. Kolichestvennyy analiz. Fiziko-khimicheskie (instrumental'nye) metody analiza / Yu. Ya. Kharitonov., 2014. – 656 s
14. Podrukhin A.A. Issledovanie migratsii metana na dnevnuyu poverkhnost' v predelakh gornogo otvoda likvidirovannoy shakhty «Kochegarka» / Sб.: Fiziko-tekhnicheskie problemy gornogo proizvodstva/ Вып. №9. Pod obshchey redaktsiey A.D. Alekseeva. - Donetsk: IFGP NANU, 2006. – s. 196.

References

1. Donbass v shage ot ekologicheskoy katastrofy: vody zatoplennykh shakht mogut razrushit' doma, a khlor – unichtozhit' vse zhivoe [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: <http://www.segodnya.ua/regions/donetsk/donbass-v-shage-ot-ekologicheskoy-katastrofy-vody-iz-zatoplennyh-shakht-mogut-razrushit-doma-a-hlor-unichtozhit-vse-zhivoe-625841.html>
2. Nikitchenko I.V., Prokopenko N.Yu. Vpliv viys'kovikh konfliktiv na navkolishne seredovishche ta ekologiyu. Materiali mizhnar.nauk.-tekhn. konf., 17-18 kvit. 2015 r., m. Severodonets'k. Ch. I / [ukl. : Tarasov V.Yu.]. – Severodonets'k : [Tekhnol. in-t Skhidnoukr. nats. un-tu im. V. Dalya (m. Severodonets'k)],s.153-156.
3. Nikitchenko I.V., Shvedchikova I.O.Ekologichni problemu u postrazhdalikh vid konfliktu rayonakh skhodu Ukraini. Materiali mizhnarodnoї nauk.-tekhn. konf.2015 r., m. Kremenchuk.
4. Yarembasha I. F. Tekhnologiya zakrytiya (likvidatsii) ugol'nykh shakht / I. F. Yarembasha. – Donetsk: Nord-Press, 2004. – 238 s.
5. Matlak E. S. Snizhenie zagryaznennosti shakhtnykh vod v podzemnykh usloviyakh / E. S. Matlak, V. V. Maleev. – K: Tekhnika, 1991. – 136 s.
6. Zapol's'kiy A. K. Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist' vodi / A. K. Zapol's'kiy. – K: Vishcha shk, 2005. – 671 s.
7. Vibir ta obgruntuvannya na osnovi ekspertnoї otsinki perspektivnikh napryamkiv tekhnologichnikh rishen' pid chas ekologichno bezpechnogo zakrittya vugil'nikh shakht / Geotekhnologii i upravlenie proizvodstvom KhKhI veka. Monografiya v 2 t., t.2., Donetsk.: DonNTU, 2006. – s.227-231.
8. Kulakov M. V. Tekhnologicheskie izmereniya i pribory dlya khimicheskikh proizvodstv / M. V. Kulakov. – Moskva, 1983.

Нікітченко І.В. Шведчикова І.О. Порівняльний аналіз методів потенційно небезпечних газів, що виділяються при затопленні шахт

У статті показано, що найбільшу небезпеку для живих організмів представляють утворювачі при затопленні шахт газу: метан, окис вуглецю, вуглекислий газ, діоксид азоту, сірководень, діоксид сірки. Відзначено, що для реєстрації небезпечних газів, що виділяються при затопленні шахт, а також для визначення їх концентрацій існує досить велика кількість методів. Виконано порівняльний аналіз механічних, акустичних, теплових, магнітних, оптичних, іонізаційних, мас-спектрометричних, електрохімічних і напівпровідникових методів. Визначено вимоги, що пред'являються до методів контролю потенційно небезпечних газів. Встановлено, що найбільшою мірою зазначеним вимогам задовольняють акустичні, теплові, оптичні та електрохімічні методи контролю.

Ключові слова: затоплення шахт, метод, газовий аналіз, контроль.

Nikitchenko I.V., Shvedchikova I.O. Comparative analysis of the methods for monitoring of potentially dangerous gases produced by flooded mines

The article shows that the greatest danger to living organisms is formed by the mines flooding: methane, carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen dioxide, hydrogen sulfide, sulfur dioxide. It is noted that there is quite a number of methods for the registration of dangerous gases produced by the sinking of shafts, as well as to determine their concentrations. A comparative analysis of the mechanical, acoustic, thermal, magnetic, optical, ionization, mass spectrometry, electrochemical and semiconductor methods was made. The requirements imposed on the potentially hazardous gases methods of control were determined. It was established that the most specified requirements are satisfied acoustic, thermal, optical and electrochemical methods of control. These methods are most favorable for the use of the automated systems of closed mines.

Key words: mine flooding, method, gas analysis, control.

Нікітченко Інна Вікторівна – асистент кафедри електромеханіки, метрології та приладів, факультету машинобудування та електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Шведчикова Ірина Олексіївна – д.т.н., професор кафедри електромеханіки, метрології та приладів, факультету машинобудування та електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: Марченко Д.М., д.т.н., проф.

Стаття подана 10.11.2015