

3. Попов М.Д., Кормщиков Д.С. Расчет опрокидывания воздушной струи в вертикальных и наклонных горных выработок при пожаре по фактору тепловой депрессии в аналитическом комплексе «Аэро-сеть» // Горное эхо. – 2020. – № 1 (78). – С. 84-89. – DOI: 10.7242/echo.2020.1.18.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы»: утв. 11.12.2020, № 520. – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140267>. Дата обращения (15.09.2022).
5. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005 г. – 336 с.: ил., табл.
6. Воропаев А.Ф. Теория теплообмена рудничного воздуха и горных пород в глубоких шахтах. – М.: Недра, 1966. – 249 с.
7. Шалимов А.В. Теоретические основы прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания вентиляционных сетей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 255-257.
8. Handbook of tunnel fire safety / ed.: Beard A., Carvel R. – ICE publishing, 2012. – 677 p.
9. Brake, D.J. Fire Modelling in Underground Mines using Ventsim Visual VentFIRE Software // The Australian Mine Ventilation conference: Proceedings. – Adelaide, 2013. – P. 265-276.

УДК: 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.17

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОТБОРА РУДНИЧНОГО ГАЗА НА РУДНИКАХ ВЕРХНЕКАМЬЯ

А.Н. Стариков, И.И. Козунин  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Работа посвящена анализу применяемых в настоящее время способов отбора проб рудничного воздуха для определения относительной газообильности горючих газов в условиях калийных рудников Верхнекамского месторождения калийных солей. Для сравнения выбраны следующие способы отбора проб рудничного воздуха: мокрый способ в стеклянных сосудах и мокрый способ в виде «капельного» пробоотборника. В работе испытан и предложен «поршневой» способ отбора проб рудничного воздуха в пластиковый шприц, который содержит горючий газ, для дальнейшей транспортировки и анализа их концентраций в лабораторных условиях.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, относительная газообильность, отбор проб, газовая съемка, рабочая зона, рудничный воздух, мокрый способ, поршневой способ.

Разработка Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (далее ВМКМС) сопровождается выделением природных газов из массива и из отбитого полезного ископаемого. Газы содержатся в продуктивных пластах, в глине и междупластьях [2]. В условиях ВМКМС из числа горючих и взрывоопасных газов присутствует метан и водород, а из токсичных – сероводород и некоторые другие газы [3].

Согласно п. 164 ФНиП №505 «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [1] для обеспечения безопасности ведения горных работ на шахтах в условиях «газового режима» научными институтами должны разрабатываться и утверждаться руководителем организации специальные мероприятия по ведению горных работ в данных условиях. Требования «Специальных мероприятий по безопасному ведению горных работ» [2] указывают на необходимость проведения ежегодных газовых съемок.

Основной задачей проведения газовых съемок является исследование газовой обстановки на руднике, а именно определение концентраций горючих и ядовитых газов в рабочих зонах рудника, для дальнейшего расчета относительной газообильности (количество газа, выделившегося при добыче 1 тонны полезного ископаемого) рабочих зон по условному метану ( $\text{CH}_4$ ) и сероводороду ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Полученные значения используются при расчете количества требуемого воздуха для разбавления концентрации газов в рабочих зонах до допустимых значений.

Для определения концентрации исследуемых газов пробу воздуха берут в пределах рабочей зоны. Существуют разные способы отбора проб рудничного воздуха, выбор которых зависит от определяемого газа. В данной работе представлены результаты сравнения мокрого и поршневого способов для отбора и доставки проб в лабораторию с последующим определением метана и водорода.

Наиболее распространенным способом взятия пробы в условиях рудников и шахт для определения концентраций горючих газов является способ, основанный на вытеснении воды газом («мокрый способ») [14]. При отборе проб этим методом сосуд предварительно заполняется жидкостью. При взятии пробы сосуд открывается в точке отбора, жидкость выливается зигзагообразно от почвы к кровле (рис. 1) по площади поперечного сечения всей выработки, а объем, освободившийся в сосуде, заполняется рудничным воздухом. Далее сосуд герметично закрывается резиновой пробкой. Транспортировка емкости производится в перевернутом виде, с остатком жидкости 3-5 мм, для осуществления «гидрозатвора».

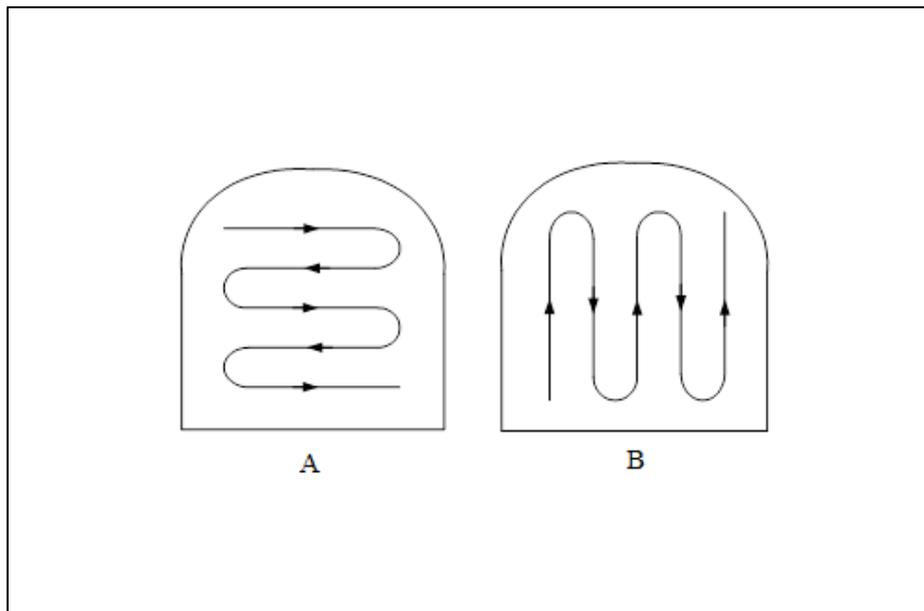


Рис. 1. Траектория отбора пробы

Метод вытеснения является традиционным при отборе проб нерастворимых в воде газов, к которым относится метан и водород. Такой метод является надежным и сохраняет пробу в течение длительного времени. К недостаткам такого метода можно отнести:

- 1) возможный подсос свежего воздуха при проведении анализа на хроматографе на контакте пробки и сосуда, т.к. для полноценного исследования необходима выборка нескольких проб из одного сосуда (рис. 2);
- 2) высокая трудоемкость, обусловленная большим количеством переносимых сосудов с жидкостью при проведении газовых съемок.

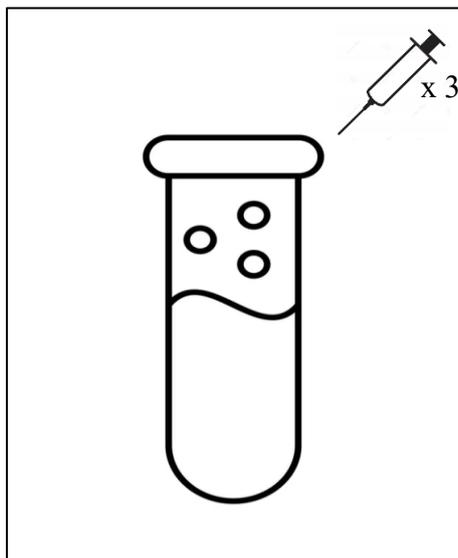


Рис. 2. Сосуд для отбора проб

Еще одним используемым методом отбора проб является устройство для непрерывного отбора газовой смеси – среднесуточный пробоотборник, разработанный сотрудниками Горного института УрО РАН. Отличительной чертой и, несомненно, достоинством пробоотборника является отбор среднесуточной концентрации [7].

Отбор проб этим методом предусматривает стационарное размещение прибора в рабочей зоне на 24 часа. В течение этого времени пробоотборник «капельным» образом равномерно по времени погашает газоздушную смесь в рабочей зоне, далее пробоотборник герметично закрывается и доставляется в лабораторию для анализа.



Рис. 3. Опытный образец «капельного пробоотборника»

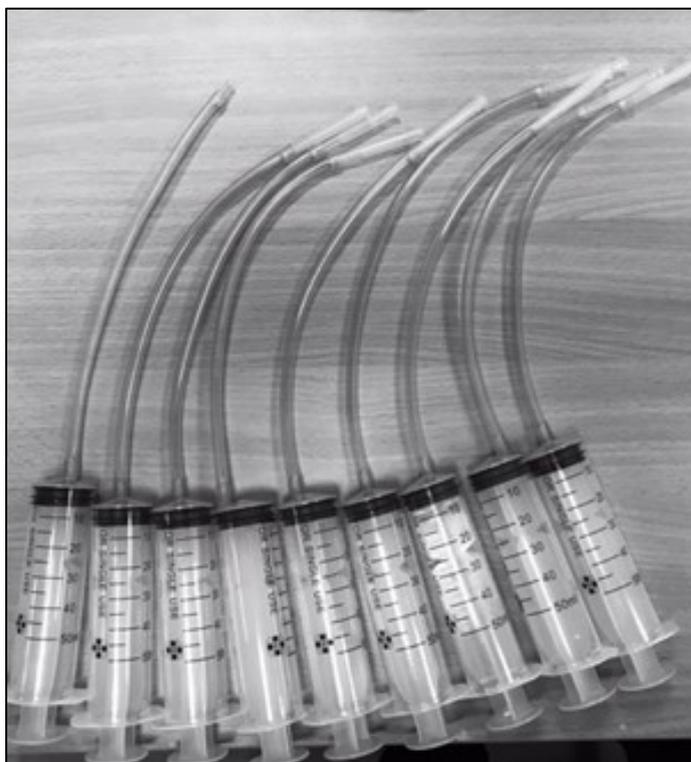
Представленный образец пробоотборника получил широкое применение при проведении газоздушных съёмок в условиях калийных рудников в период с 2012 до 2015 годы. В настоящее время разработан опытный образец «капельного» пробоотборника (рис. 3) для проведения газовых съёмок на рудниках, но в связи с крупными габаритами и увеличенным временем проведения экспериментов установка дальнейшего применения не получила.

Оценивая перечисленные недостатки применяемых методов, разработан новый подход к отбору проб воздуха. Лабораторные и опытные испытания данного способа позволили произвести оценку длительности хранения проб и применимость в реальных условиях с учетом времени доставки до лаборатории.

#### **«Поршневой» способ отбора проб**

Суть «поршневого» метода заключается в использовании в качестве пробоотборников пластиковых медицинских шприцев объемом 60 мл (рис. 4). Использование данного способа возможно после проведения оценки надежности исследуемых сосудов. Для этого проведено экспериментальное исследование для определения времени сохранения пробы воздуха, а именно концентраций горючих газов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2$ ) в сосуде.

При проведении исследования длительности хранения ( $\text{CH}_4$ ) в предлагаемом сосуде использованы 12 шприцев для набора поверочной газовой смеси (ПГС) с известными концентрациями. С помощью поверочной смеси производится оценка химического состава газов образцовой пробы в «поршневом» пробоотборнике. В первый день эксперимента заполнены 12 шприцев ПГС для исследований с помощью хроматографа, 3 из которых принимаются как эталонные образцы для сравнения изменений концентраций ядовитых газов в пробе. Для этого исследования проведена обработка медицинских шприцев № 1, № 2 и № 3. Далее из трех значений концентраций газов производилось осреднение.



**Рис. 4.** Пластиковые шприцы для отбора проб

Определение процентного содержания метана в рассмотренных емкостях проведено хроматографическим методом. Таким образом, через 24 часа после заполнения сосудов ПГС (поверочная газовая смесь), произведен забор проб из шприцев № 4, № 5 и № 6. Результаты представлены в таблице 1. Следующая серия исследований произведена через 96 часов из шприцев № 7, № 8, № 9. Результаты показаны в таблице 1. Пробы рудничного воздуха из шприцев № 10, № 11, № 12 исследованы через 7 суток (таблица 1).

Изменение концентраций метана, кислорода и диоксида углерода представлено на рис. 5.

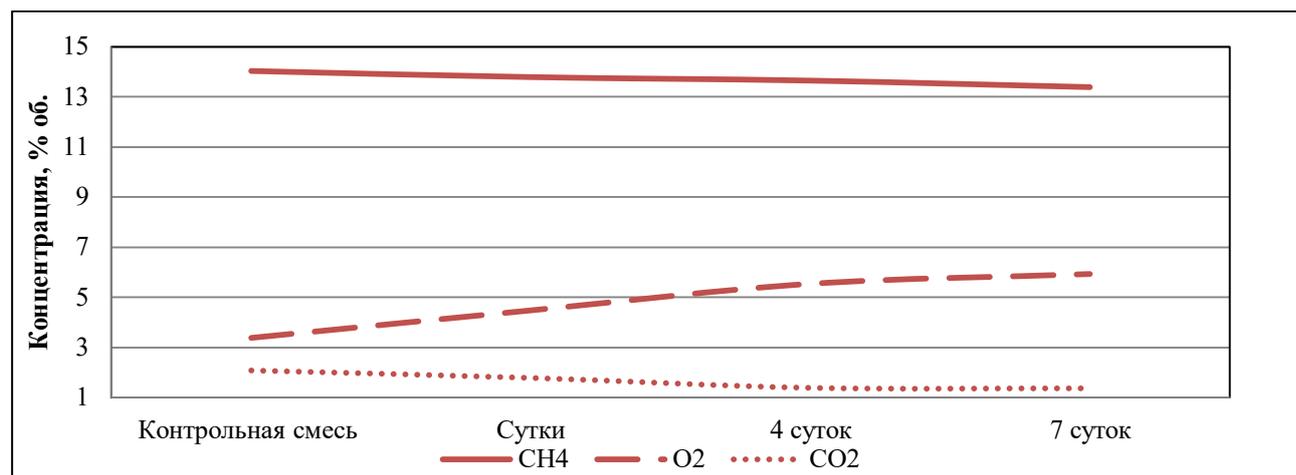


Рис. 5. График изменения концентраций газов в пробах

Таблица 1

Результаты анализа проб

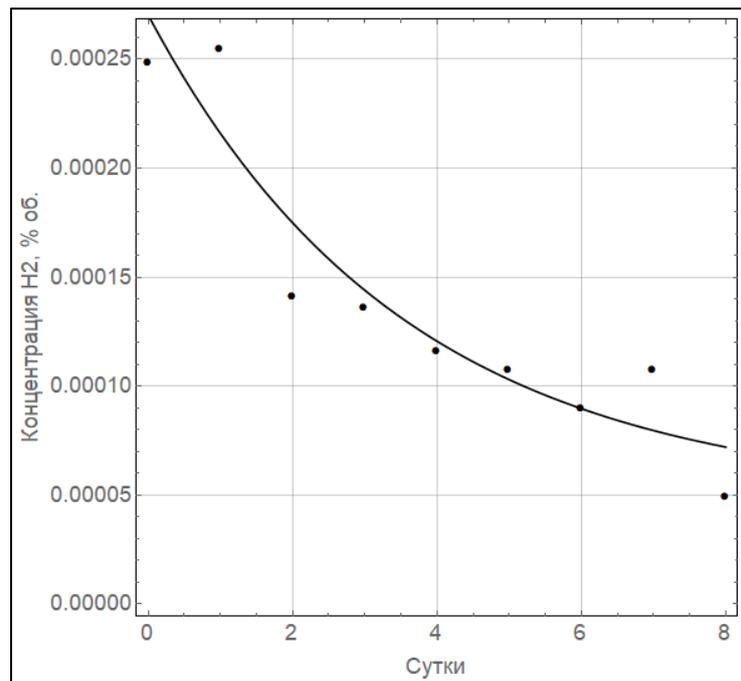
Газы	Контроль	1 сутки	4 суток	7 суток
CH <sub>4</sub>	14.026 (100%)	13.782 (98,3%)	13.642 (97,3%)	13.382 (95,4%)
O <sub>2</sub>	3.382 (100%)	4.478 (132%)	5.537 (163%)	5.929 (175%)
CO <sub>2</sub>	2,082 (100%)	1,785 (85%)	1,388 (67%)	1,369 (66%)

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно отметить, что концентрация метана (CH<sub>4</sub>) незначительно падает с течением времени, а концентрация кислорода растет. На 7 суток эксперимента наблюдается падение концентрации метана в пределах 5%, рост кислорода на 75% (поступление кислорода из атмосферы) и падение концентрации CO<sub>2</sub> на 34%.

Далее проведено исследование концентрации водорода (H<sub>2</sub>) в изучаемом сосуде. Каждое измерение – это осреднение трех проб по медианному закону.

Полученные значения концентраций водорода в различные моменты времени представлены на рис. 6.

Полученные данные показывают, что концентрация водорода снижается по нелинейному закону со временем. Резкий рост показаний, а затем еще более резкое снижение в момент времени 7-8 суток предположительно связано с недостаточной выборкой или локальным нарушением герметичности во время забора пробы.



**Рис. 6.** Зависимость концентрации водорода от времени: точки – средние значения, непрерывная кривая – аппроксимационная функция

В результате проведения исследования получено, что за неделю снижение концентрации метана ( $\text{CH}_4$ ) составляет 5% от контрольного значения, водорода ( $\text{H}_2$ ) – порядка 50%. Такое падение концентрации горючих газов влияет на правильность определения относительной газообильности в местах отбора пробы, что, в свою очередь, может отразиться на правильности расчета количества воздуха, требуемого для проветривания рабочей зоны по газовому фактору.

### Заключение

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о возможности применения нового подхода при отборе проб, если выборка из сосуда для обработки будет осуществляться не позднее суток. Применение нового подхода со сроками доставки до лаборатории от 2 до 7 суток возможно при определении поправочного коэффициента. Новый способ отбора проб рудничного воздуха позволит избежать риск подсоса свежего воздуха при выборке пробы из стеклянного сосуда, а также ускорит проведение газовых съемок, что благоприятно скажется на качестве результатов ввиду выполнения газовых съемок в полном объеме за минимальное количество времени при одном режиме проветривания рудника.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номера проектов: 122012000396–6).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).

11. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ в условиях «газового режима». – Пермь; Березники, 2016.
12. Левин Л.Ю., Исаевич А.Г., Семин М.А., Газизуллин Р.Р. Исследование динамики пылевоздушной смеси при проветривании тупиковой выработки в процессе работы комбайновых комплексов // Горн. журн. – 2015. – № 1. – С. 72-75. – DOI: 10.17580/gzh.2015.01.13.
13. Опарина Ю.А. Особенности формирования рудничной атмосферы в горных выработках калийных рудников Верхнекамья // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2016. – № 1. – С. 188-193.
14. Технологический регламент по организации проветривания рудников ПАО «Уралкалий» – Пермь; Березники; Соликамск – 2016. – 124 с.
15. Исаевич А.Г., Стариков А.Н., Мальцев С.В. Совершенствование метода отбора проб воздуха для определения относительной газообильности горючих газов в рудничной атмосфере // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 4. – С. 143-153. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-4-0-143.
16. Устройство для непрерывного отбора газо-воздушной смеси за заданный промежуток времени: пат. на полезную модель 157165 U1 Рос. Федерация: МПК G 01 N 1/22 (2006.01 / Лаптев В.Н., Исаевич А.Г., Норина Н.В., Южанин А.С., Дудина Е.Н., Ковин К.А., Мальцев С.В., Трушкова Н.А., Газизуллин Р.Р., Стариков А.Н.; патентообладатель ФГБУН «ГИ УрО РАН». – № 2015111928/05. заявл. 01.04.2015; опубл. 20.11.2015. – Бюл. № 32.