

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОТБОРА ПРОБ ВОЗДУХА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ГАЗООБИЛЬНОСТИ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.Г. Исаевич<sup>1</sup>, А.Н. Стариков<sup>1</sup>, С.В. Мальцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия, e-mail: stasmalcev32@gmail.com

**Аннотация:** Проведен анализ применяемых в настоящее время способов отбора проб рудничного воздуха в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей для последующего исследования хроматографическим способом. В частности, представлены традиционный (в стеклянных емкостях), «капельничный» (среднесуточный пробоотборник) и поршневой (пластиковый шприц) методы отбора проб рудничного воздуха. В работе предложен и испытан новый способ отбора проб рудничного воздуха, содержащего горючие газы, для дальнейшей транспортировки и анализа их концентраций в лабораторных условиях. Основной идеей предлагаемого способа является использование поршневого эффекта пластиковых инъекционных шприцов, используемых в качестве сосудов для отбора и хранения проб воздуха. Установлено время, в течение которого в пластиковых шприцах можно хранить пробы без потери объективности результатов. В частности, установлено что на седьмые сутки погрешность в определении относительной газообильности метана вследствие утечки части метана из шприца не превышает 5%. Это приводит к ошибке определения требуемого количества воздуха на величину приблизительно  $9 \text{ м}^3/\text{мин}$ , что значительно ниже типовых погрешностей приборов, применяющихся для измерения скорости воздуха в горных выработках. При этом за аналогичный промежуток времени концентрация водорода в шприце снижается на 50%. В среднем с момента набора пробы до начала проведения исследований в лаборатории проходит не более суток, следовательно, снижение концентрации водорода в шприце составляет не более 5%, а снижение концентрации метана – не более 2%. Полученные в статье выводы позволяют заключить, что предлагаемый метод отбора проб применим при условии хранения проб не более суток. При хранении от 2 до 7 суток данный способ также может быть применим при условии ввода соответствующего поправочного коэффициента при расчете концентрации исследуемого газа (метана или водорода).

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, относительная газообильность, отбор проб, сосуд для отбора проб, среднесуточный пробоотборник, газозаборная съемка, рабочая зона, рудничный воздух, газовый хроматограф, концентрация метана.

**Благодарность:** Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке УрО РАН в рамках научного проекта № 18-5-5-5, а также в рамках программы ФНИ, тема № 0422-2019-0145-С-01.

**Для цитирования:** 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. – 2021. – № 4. – С. 143–153. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_143.

---

## Improvement of air sampling method to determine relative concentration of combustion gases in mine air

A.G. Isaevich<sup>1</sup>, A.N. Starikov<sup>1</sup>, S.V. Maltsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,  
e-mail: stasmalcev32@gmail.com

---

**Abstract:** The currently applied methods of air sampling at the Upper Kama deposit of potassium–magnesium salts for the further chromatographic analysis are reviewed. In particular, the conventional (in glass jars), «dripping» (average daily sampler) and piston (plastic syringe) methods of mine air sampling are described. The article proposes a new approved method to sample mine air containing combustion gases for the subsequent transportation and analysis in a laboratory. The main idea of this method is using the piston effect of plastic injection syringes to be then employed as containers of air samples. The time of air storage inside plastic syringes without loss of data precision is determined. In particular, it is found that the error of relative concentration of methane as a consequence of methane leak from a syringe is no more than 5% by the 7th day of storage. Such error leads to an air demand error of 9 m<sup>3</sup>/min approximately, which is much less than the standard error of air flow rate meters employed in mines. Furthermore, over the same time period, hydrogen concentration in a syringe lowers by 50%. On average, the time from air sampling to the start of laboratory research takes no longer than one day; consequently, the concentrations of hydrogen and methane in a syringe decrease not more than by 5 and 2%, respectively. The research allows a conclusion to be drawn that the proposed method of air sampling is applicable subject to storage time not longer than one day. In case of the storage period from 2 to 7 days, the method is also applicable upon condition of introduction of an appropriate correction factor for gas concentration (methane or hydrogen).

**Key words:** mine ventilation, relative gas concentration, sampling, sample bottle, average daily sampler, gas-and-air survey, operation zone, mine air, gas chromatograph, methane concentration.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Project No. 18-5-5-5, and by the Basic Research Program, Research Issue No. 0422-2019-0145-C-01.

**For citation:** Isaevich A. G., Starikov A. N., Maltsev S. V. Improvement of air sampling method to determine relative concentration of combustion gases in mine air. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):143-153. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_143.

---

### Введение

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) расположено на северо-востоке Пермского края от Красновишерского до Добрянского районов. Калийная залежь месторождения прослеживается с севера на юг на 140 км, с запада на восток — на 40 км. В пределах месторождения разведаны одиннадцать участков. На сегодня

шний день отработка месторождения ведется шестью рудниками.

Одним из основных технологических процессов для обеспечения безопасных условий труда персонала горного предприятия является проветривание системы горных выработок рудников. Среди наиболее важных вопросов рудничной вентиляции выделяют разбавление до безопасных концентраций природных и

техногенных газовыделений, а также вредных примесей, образующихся в выработках в процессе ведения горных работ [1–3].

Атмосферный воздух, попадая в сеть подземных горных выработок, меняет свой состав: изменения выражаются в уменьшении содержания кислорода, в увеличении содержания газов, выделяющихся из рудного массива, среди которых часто встречаются горючие и ядовитые [4–6]. Основными составляющими свободных газов, выделяющихся из массива Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (ВКМКС), являются метан, азот и водород [7, 8]. В соответствии с «Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» шахты, на которых обнаружено (или по геологическим данным прогнозируется) выделение горючих или ядовитых газов), должны иметь заключение специализированного института о составе, масштабе, местах и характере выделения газов [9]. Для этого проводятся газоздушные съемки, в процессе которых производится оценка относительной газообильности (количества газа, выделившегося за определенное время на тонну отбитого полезного ископаемого), полученные данные используются при разработке комплекса мероприятий, совокупность которых называется «газовым режимом», а также при расчете требуемого количества воздуха. На рудниках ВКМКС такие съемки проводятся ежегодно.

Цель проведения газовых съемок заключается в изучении газовой обстановки на руднике, определении концентраций горючих и токсичных газов в рабочих зонах и расчете относительной газообильности по условному метану и сероводороду в подземных горных выработках. На основании полученных данных рассчитывается требуемое количество воздуха для разбавления газов.

В соответствии с методикой отбора проб рудничного воздуха [10] исследования газовой обстановки на руднике должны включать в себя отбор проб рудничного воздуха на входящих и исходящих воздушных струях, измерения расхода воздуха в исследуемых рабочих зонах. При этом необходимо учитывать количество отбитой руды за время проведения газоздушной съемки в каждой рабочей зоне. Затем, согласно «Специальным мероприятиям по безопасному ведению горных работ» [11], в лабораторных условиях проводится анализ проб на газовом хроматографе (например, «Хромос ГХ-1000»).

Дополнительно контроль рудничной атмосферы на наличие горючих и токсичных газов осуществляется экспресс-анализом [12] с помощью переносных газоанализаторов, в местах и с периодичностью, установленной «Специальными мероприятиями по безопасному ведению горных работ в условиях «газового режима». Результаты замеров заносятся в «Журналы замера горючих газов и сероводорода», находящиеся непосредственно на рабочих местах. Кроме того, применяется риск-ориентированный подход для исследования выделения газов в пространство горных выработок [13].

#### **Традиционный («мокрый») и среднесуточный («капельничный») методы отбора проб рудничного воздуха**

Традиционным методом отбора проб рудничного воздуха для определения концентраций горючих газов в горных выработках является «мокрый способ» (метод вытеснения) [14]. При отборе проб этим методом сосуд заполняется жидкостью, открывается в месте отбора пробы, жидкость выливается зигзагообразно от почвы к кровле и обратно, а освободившийся объем в сосуде постепенно заполняется рудничным воз-

духом. По завершении отбора проб сосуда герметично закрывается резиновой пробкой и в дальнейшем транспортируется в лабораторию для анализа. Транспортировка сосуда производится в перевернутом виде, с остатком 2 мм жидкости внутри. Жидкость играет роль «гидрозатвора».

В зависимости от места, где отбирается проба, требуемой точности определения и свойств исследуемых газов, отбор проб воздуха, помимо «мокрого», разрешается производить следующими способами: вакуумным; аспирационным; в резиновые (футбольные) камеры и др. [15, 16].

«Мокрый» способ является традиционным для отбора проб на труднорастворимые газы, к которым относится метан и водород, а остальные перечисленные способы — для газов, растворимых в растворах ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  и др.). Главным преимуществом «мокрого» способа является надежность и время сохранения пробы в сосуде. Однако в процессе проведения газовой съемки сотрудниками Горного института УрО РАН выявлен ряд недостатков данного способа отбора проб.

Прежде всего, это возможный подсос свежего воздуха при заборе газовой смеси. Выборка газовой смеси из сосуда для дальнейшего анализа хроматографическим методом [17] производится с помощью стеклянного лабораторного шприца путем прокалывания резиновой пробки. Следует отметить, что для проведения анализа на хроматографе требуется изъятие нескольких проб из одного сосуда. При повторном вытягивании поршня шприца в сосуде создается разрежение и затрудняется движение поршня при заборе газовой смеси. С каждым последующим разом движение поршня ухудшается, и в итоге возникает риск подсоса чистого воздуха из атмосферы на контакте пробки и

сосуда. Это приводит к неточности получаемой хроматограммы.

Еще одним существенным недостатком данного способа в условиях большой протяженности сети действующих горных выработок калийных рудников (ВКМКС) до 600 км является значительный вес и объем сосуда. Для каждой рабочей зоны требуется 5 сосудов — для отбора проб на входящей и исходящей с рабочей зоны струе воздуха. На сегодняшний день на рудниках горные работы ведутся в 30—40 рабочих зонах. Таким образом, для проведения газовой съемки необходимо до 200 сосудов с жидкостью, не считая дополнительного оборудования. Вес одного сосуда с жидкостью составляет 700 г, переносимый вес составляет до 140 кг. Это значительно повышает трудоемкость и время, затраченное на проведение съемки.

В 2013—2015 гг. в Горном институте УрО РАН разработан прототип пробоотборника (устройство для непрерывного отбора газовой смеси) (рис. 1), несомненным достоинством которого является отбор среднесуточной концентрации [18, 19]. Отбор проб этим методом производится следующим образом: внутренняя емкость 21 пробоотборника 1 наполняется рабочей жидкостью через трубку 13 при открытых вентилях 5 и 7. При этом баллон-контейнер 2 сжимается и вытесняет находящийся в нем атмосферный воздух через трубку 15 и иглу 16 в атмосферу, таким образом освобождается объем 20 для отбора пробы. Далее закрываются вентили 5 и 7. Следующим шагом устанавливается часовой механизм 8, на шкив 9 которого наматывается капроновая нить 10 с крючком 11, соединенным с патрубком 12 и трубкой 13. При этом секундная стрелка используется как индикатор хода часового механизма. Основным условием готовности пробоотборника к работе является нахождение на одном

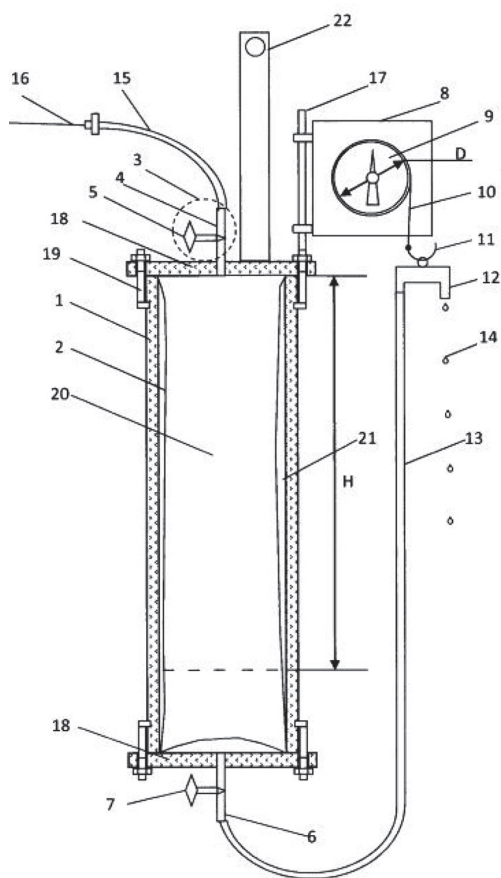


Рис. 1. Схематическое изображение среднесуточного (капельничного) пробоотборника: 1 – корпус, 2 – баллон-контейнер, 3 – запорный узел, 4 – патрубок, 5 – запорный вентиль, 6 – патрубок, 7 – запорный вентиль, 8 – часовой механизм, 9 – шкив, 10 – капроновая нить, 11 – крючок, 12 – патрубок, 13 – резиновая трубка, 14 – рабочая жидкость, 15 – полиэтиленовая трубка, 16 – медицинская игла, 17 – вертикальное крепление, 18 – заглушка, 19 – резьбовые соединения, 20 – заполняемый объем баллона-контейнера, 21 – внутренний объем корпуса, 22 – крепление для установки прибора в месте отбора проб

Fig. 1. Schematic image of the average daily (dropper) sampler: 1 – case, 2 – container, 3 – locking unit, 4 – pipe sleeve, 5 – locking valve, 6 – pipe sleeve, 7 – locking valve, 8 – clockwork, 9 – pulley, 10 – kapron thread, 11 – hook, 12 – pipe sleeve, 13 – rubber tube, 14 – working fluid, 15 – polyethylene tube, 16 – medical needle, 17 – vertical fastening, 18 – plug, 19 – threaded connections, 20 – filled the volume of the container, 21 – inside volume of case, 22 – mount for installation of the device in the place of sampling

уровне патрубка 12 и верхнего уровня воды. В дальнейшем подготовленный пробоотборник транспортируется к месту отбора пробы и устанавливается с помощью крепления 22. Следующим этапом открываются вентили 5 и 7, запускается часовой механизм 8. Рабочая жидкость 14 начинает равномерно вытекать из патрубка 12 в виде капель. При этом уровень жидкости во внутреннем объеме корпуса понижается, и газозвдушенная смесь через иглу 16 и трубку 15 равномерно поступает в баллон-контейнер 2. После завершения отбора пробы вентили 5 и 7 закрываются, часовой механизм 8 останавливается. Далее пробоотборник транспортируется в лабораторию для выполнения хромографического анализа.

Прототип среднесуточного пробоотборника прошел успешные лабораторные испытания. Однако в настоящее время для проведения газозвдушенных съемок на рудниках не применяется в связи с тем, что содержит открытые электрические элементы (не соответствует уровню взрывозащищенного исполнения для рудников).

Учитывая перечисленные недостатки «мокрого» и «капельничного» способов, в настоящей работе предлагается модифицированный метод отбора проб воздуха, легкий и удобный в использовании. Лабораторные и натурные исследования данного способа позволяют оценить длительность хранения проб (транспортировка от места отбора проб до лаборатории занимает сутки и более).

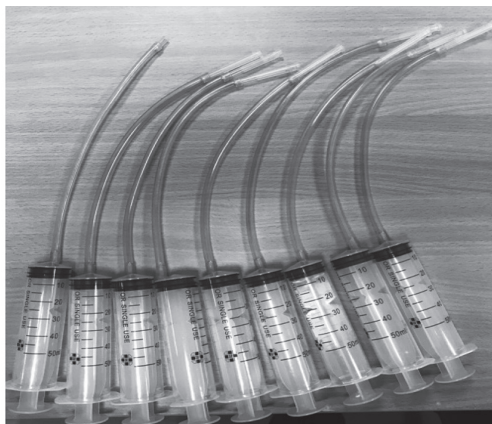


Рис. 2. Пластиковый шприц для отбора проб  
Fig. 2. Plastic syringe

### Новый («поршневой») метод отбора проб рудничного воздуха

В качестве предлагаемых сосудов для нового («поршневого») метода выбраны пластиковые шприцы объемом 60 мл (рис. 2). Применение такого сосуда позволит:

- сократить трудозатраты специалистов на проведение газовой воздушной съемки;
- исключить риск подсоса чистого воздуха во время забора пробы из бутылки при помощи перемещения поршня шприца.

Замена сосуда для отбора пробы будет возможна при условии, если шприц будет так же герметичен, как и стеклянная бутылка. Для этого необходимо провести исследование для определения длительности сохранения пробы воздуха, а именно концентраций горючих

газов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2$ ) в сосуде. В рамках исследования сохранения метана ( $\text{CH}_4$ ) в предлагаемом сосуде использовались 12 шприцов для набора поверочной газовой смеси (ПГС) с известными концентрациями. На подыгольный конус устанавливалась насадка из силиконовой трубки с заглушкой на конце, ее внутренний диаметр 5 мм толщина стенок – 1 мм (рис. 2).

В первый день исследования с помощью хроматографа произведен анализ поверочной газовой смеси из баллона. Использование поверочной смеси позволяет оценить состав пробы в шприце. Затем этой смесью были заполнены шприцы в количестве 12 штук, три из которых в дальнейшем будут приняты как эталонные для дальнейшего сравнения с исследуемыми сосудами в течение 7 сут. Для этого была проведена обработка шприцов № 1, № 2 и № 3. Для дальнейшего сравнения принималось среднее значение концентраций этих проб.

Количественный анализ содержания метана в пробах проводится на газовом хроматографе:

- Через сутки (24 ч) после заполнения сосудов ПГС, произведен забор проб из шприцов № 4, № 5 и № 6. Результаты были занесены в табл. 1.
- Следующий анализ смеси был произведен через 4 сут (96 ч) из шприцов № 7, 8, 9. Результаты занесены в табл. 1.
- Заключительный забор проб из шприцов № 10, № 11, № 12 произведен через 7 сут (168 ч). Результаты анализа занесены в табл. 1.

Таблица 1

#### Результаты анализа проб (мол., %) Results of sample analysis (mol., %)

Газы	Контроль	1 сут	4 сут	7 сут
$\text{CH}_4$	14,026 (100%)	13,782 (98,3%)	13,642 (97,3%)	13,382 (95,4%)
$\text{O}_2$	3,382 (100%)	4,478 (132%)	5,537 (163%)	5,929 (175%)
$\text{CO}_2$	2,082 (100%)	1,785 (85%)	1,388 (67%)	1,369 (66%)

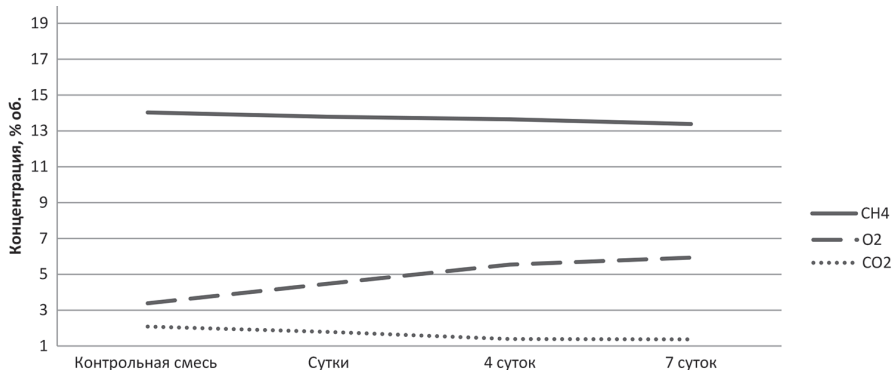


Рис. 3. График изменения концентраций газов в пробах

Fig. 3. Gas concentrations in samples vs. time

График изменения концентраций метана, кислорода и диоксида углерода представлен на рис. 3.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно отметить, что концентрация метана незначительно падает с течением времени, а концентрация кислорода растет. На седьмые сутки эксперимента наблюдается падение концентрации метана в пределах 5%, рост кислорода на 75% (обусловлено поступлением его из атмосферы)

и падение концентрации диоксида углерода на 34%.

Следующим этапом проведено исследование сохранения концентрации водорода ( $H_2$ ) в предлагаемом сосуде. Известно, что молекула водорода значительно меньше молекулы метана и воздуха. Поэтому предполагается, что свойства сохранения водорода в том же сосуде будут другими, в связи с чем был проведен дополнительный эксперимент отдельно для водорода.

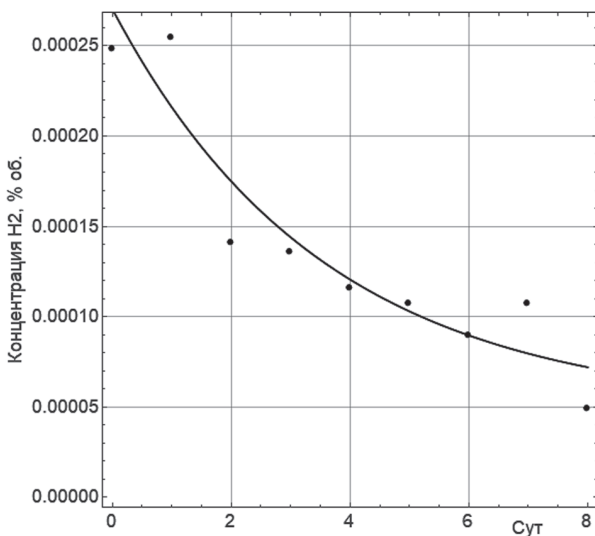


Рис. 4. Зависимость концентрации водорода от времени: точки — экспериментально измеренные величины, непрерывная кривая — аппроксимационная функция

Fig. 4. Hydrogen concentration vs. time; discrete points — experimentally measured values, a continuous curve — approximation function

Таблица 2

**Снижение относительной газообильности и требуемого количества воздуха**  
**Decrease in relative gas content and required amount of air**

	Относительная газообильность, м <sup>3</sup> /т	Q <sub>р.з.</sub> , м <sup>3</sup> /мин
Реальные значения	0,083583	199
Снижение значений на 5%	0,080165	190

Общее время проведения эксперимента составило 8 сут, а серии измерений проводились с временным интервалом, равным одним суткам. В рамках каждой серии измерений отбирались пробы из трех сосудов с водородом, таким образом получалась выборка из трех измеренных концентраций водорода, которые затем усреднялись по медианному закону. Полученные усредненные значения измеренных концентраций водорода в различные моменты времени представлены на рис. 4.

Из анализа обработанных экспериментальных данных следует, что концентрация водорода уменьшается с течением времени по нелинейному закону. В момент времени  $t = 7$  сут наблюдается резкое возрастание водорода, после чего еще более резкий спад к моменту времени 8 сут. Это скорее всего связано с вариацией герметичности используемых сосудов или недостаточностью выборки измерений.

По усредненным данным измерений с помощью метода наименьших квадратов рассчитана аппроксимационная функция :

$$C_{H_2}(t) = 0,0000487 - 0,000222 \cdot \exp(-0,282 \cdot t), \% \text{ об.} \quad (1)$$

Функция также представлена на рис. 4.

В результате проведенного исследования за 7 сут хранения мы отмечаем падение концентрации метана (CH<sub>4</sub>) не более 5%, а концентрации водорода (H<sub>2</sub>) — порядка 50%. В среднем с момента набора пробы до начала проведения исследования в лаборатории проходит не более 1 сут, следовательно,

потеря концентрации водорода (H<sub>2</sub>) составляет порядка 5%, а концентрации метана (CH<sub>4</sub>) — не более 2%.

Рассмотрим, на сколько будет падать концентрация на примере значений газообильности, полученных в шахтных условиях. Для примера возьмем полученные концентрации в рабочей зоне комбайнового комплекса № 25, 16 ЗП, пласта АБ рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» в 2018 г. Концентрация условного метана на исходящей струе воздуха в момент замера составляла 0,0132% об. Таким образом, снижение концентрации в сосуде в реальных условиях за 1 сут составит 0,000263–0,000395% об. Снижение концентрации влияет на значения относительной газообильности. Занижение значений относительной газообильности приводит к автоматической погрешности при определении требуемого количества воздуха для проветривания выработки по газовому фактору. Снижение газообильности и требуемого количества воздуха представлены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что погрешность в определении относительной газообильности в 5% (см. рис. 3) приводит к ошибке определения требуемого количества воздуха в 9 м<sup>3</sup>/мин (через 7 сут), что является значительно ниже погрешности прибора, определяющего скорость воздуха.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый метод отбора проб применим при условии хранения проб не более 1 сут. При хранении от 3 до 7 сут данный способ применим при условии ввода соответствующего коэффициента.



## Заключение

Результаты обработки экспериментальных данных позволяют сделать вывод о возможности применения метода отбора проб рудничного воздуха с помощью шприцов при условии хранения не более суток. Разработанный метод отбора проб, прежде всего, устранил погрешность при получении результатов за счет исключения подсосов из сосуда при заборе пробы. Также за счет снижения времени, требуемого для проведения газовоздушных съемок, ощутимо

упростится их выполнение, значительно увеличится объем собираемых экспериментальных данных, сократится количество специалистов, привлекаемых для проведения работ, и станет возможным выполнение всего объема работ в пределах одного рудника за короткий промежуток времени (до 5 рабочих смен проведения полевых работ), что позволит исключить фактор изменения условий (например, режима проветривания рудника), что благоприятно скажется на качестве полученных результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Джиоева А. К., Алборов Г. Т.* Исследование состава рудничного воздуха // Научный альманах. — 2015. — № 12-2 (14). — С. 482–485.
2. *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 // Горный журнал. — 2015. — № 1. — С. 72–75.
3. *Cecala A. B., Timko R. J., Pritchard C. J.* Controlled recirculation of section air in a Trona Mine / Proceedings of the 4th US Mine Ventilation Symposium; Berkeley, CA, USA, 1988, pp. 253–259.
4. *Wang K., Jiang S., Ma X., Zhang W., Hu L., Wu Z., Shao H., Pei X., Wang Y.* Abnormal gas emission in coal mines and a method for its dilution using ventilator control // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. No 33. Pp. 355–366.
5. *Dziurzyński W., Pałka T., Wasilewski S.* Modern methods of the assessment of gas hazards in the gob of longwalls with caving / Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium; Colorado School of Mines Golden, Colorado USA. 2017. Pp. 6-9–6-16.
6. *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.
7. *Бутузов Д. М.* Компонентный состав свободных газов соляных пород верхнекамского месторождения калийных солей // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 238–240.
8. *Колесов Е. В., Шалимов А. В., Семин М. А.* Разработка мероприятий по отводу взрывоопасных газов из выработанного пространства при затоплении калийного рудника // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 12. — С. 60–65. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-60-65.
9. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»:* утв. Приказом Ростехнадзора от 21.11.2018 № 599, 2020. — 216 с.
10. *Технологический регламент по организации проветривания рудников ПАО «Уралкалий».* — Пермь-Березники-Соликамск, 2016. — 124 с.
11. *Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ в условиях «газового режима».* — Пермь-Березники, 2016.
12. *Ступников И. А., Иванов О. В.* Анализ организации и методов контроля за газовыделениями при проходке горных выработок на шахтном поле рудника ООО «Еврохим-уольский калийный комбинат» // Актуальные проблемы повышения эффективности

и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2018. – Т. 1. – С. 190–194.

13. *Намиот Ю. А.* Растворимость газов в воде: справочное пособие. – М.: Недра, 1991. – 167 с.

14. *Скочинский А. А., Комаров В. Б.* Рудничная вентиляция. – М.: Углетехиздат, 1949. – 443 с.

15. *Sobolik S. R., Hadgu T., Rechar R. P., Gaithe K. N.* A risk assessment tool for gas migration interactions between wellbores and potash mines in SE new Mexico / Mechanical Behavior of Salt VII-Proceedings of the 7th Conference on the Mechanical Behavior of Salt. 2012. Pp. 263–273.

16. *Besnard K., Pokryszka Z.* Gases emission monitoring in a post-mining context // Symposium Post mining. 2005. P.N.C.

17. *Valoski M. P.* Instruments for gas analysis at mine fires/explosions // SME Annual Meeting. 2010. Pp. 10–039.

18. *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.* Патент № 157165 РФ. Устройство для непрерывного отбора газо-воздушной смеси за заданный промежуток времени; заявитель и патентообладатель «ГИ УрО РАН». No 2015111928; заявл. 1.04.15; опубл. 30.10.15, Бюллетень No 32. – 7 с.

19. *Gluyas J., Thompson L., Allen D., Benton C., Chadwick P., Clark S., Klinger J., Kudryavtsev V., Lincoln D., Maunder B., Mitchell C., Nolan S., Paling S., Spooner N., Staykov L., Telfer S., Woodward D., Coleman M.* Passive, continuous monitoring of carbon dioxide geostorage using muon tomography // Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences. 2019. Vol. 377. No 2137. Article 20180059. [PUB](#)

## REFERENCES

1. *Dzhioeva A. K., Alborov G. T.* The study of the composition of mine air. *Nauchnyy al'manakh*. 2015, no 12-2 (14), pp. 482–485. [In Russ].

2. *Levin L. Yu., Isaevich A. I., Semin M. A., Gazizullin R. R.* Dynamics of air-dust mixture in ventilation of blind drifts operating a team of cutter-loaders. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no 1, pp. 72–75. [In Russ].

3. *Cecala A. B., Timko R. J., Pritchard C. J.* Controlled recirculation of section air in a Tro-na Mine. *Proceedings of the 4th US Mine Ventilation Symposium*; Berkeley, CA, USA, 1988, pp. 253–259.

4. *Wang K., Jiang S., Ma X., Zhang W., Hu L., Wu Z., Shao H., Pei X., Wang Y.* Abnormal gas emission in coal mines and a method for its dilution using ventilator control. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016. No 33. Pp. 355–366.

5. *Dziurzyński W., Pałka T., Wasilewski S.* Modern methods of the assessment of gas hazards in the gob of longwalls with caving. *Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*; Colorado School of Mines Golden, Colorado USA. 2017. Pp. 6-9–6-16.

6. *Oparina Yu. A.* Features of the formation of the mine atmosphere in the mine workings of the potash mines of the Upper Kama region. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshahtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya* 2016, no 1, pp. 188–193. [In Russ].

7. *Butuzov D. M.* Component composition of free gases of salt rocks of the Verkhnekamsk potash deposit. *Problemy razrabotki mestorozhdenij uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*. 2016, no 1, pp. 238–240. [In Russ].

8. *Kolesov E. V., Shalimov A. V., Semin M. A.* Development of the activities for explosive gases removal from the worked-out area in case of potash mine flooding. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2019, no 12, pp. 60–65. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-60-65.

9. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh»:* utv. Prikazom Ros-

tekhznadzora ot 21.11.2018 № 599 [Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules in the conduct of mining operations and processing of solid minerals»: approved by the order of Rostekhnadzor of 21.11.2018 No. 599], 2020, 216 p. [In Russ].

10. *Tekhnologicheskii reglament po organizatsii provetrivaniya rudnikov PAO «Uralkalij»* [Technological regulations on the organization of ventilation of mines of PJSC Uralkali]. Perm'-Berezniki-Solikamsk, 2016. 124 p. [In Russ].

11. *Spetsial'nye meropriyatiya po bezopasnomu vedeniyu gornyx rabot v usloviyakh «gazovogo rezhima»* [Special measures for the safe conduct of mining operations in the «gas regime»]. Perm'-Berezniki, 2016. [In Russ].

12. Stupnikov I.A., Ivanov O.V. Analysis of the organization and methods of control over gas emissions during mining operations at the mine field of the Eurochem-Usolsky Potash Plant, LLC». *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*. 2018, vol. 1, pp. 190–194. [In Russ].

13. Namiot Yu.A. *Rastvorimost' gazov v vode: spravochnoe posobie* [Solubility of gases in water: a reference guide], Moscow, Nedra, 1991, 167 p.

14. Skochinskiy A.A., Komarov V.B. *Rudnichnaya ventilyatsiya* [Mine ventilation], Moscow, Ugletekhizdat, 1949. 443 p.

15. Sobolik S.R., Hadgu T., Rechar R.P., Gaithe K.N. A risk assessment tool for gas migration interactions between wellbores and potash mines in SE new Mexico. *Mechanical Behavior of Salt VII-Proceedings of the 7th Conference on the Mechanical Behavior of Salt*. 2012. Pp. 263–273.

16. Besnard K., Pokryszka Z. *Gases emission monitoring in a post-mining context*. Symposium Post mining. 2005. P.N.C.

17. Valoski M.P. *Instruments for gas analysis at mine fires/explosions*. SME Annual Meeting. 2010. Pp. 10–039.

18. Laptev V.N., Isaevich A.G., Norina N.V., Yuzhanin A.S., Dudina E.N., Kovin K.A., Mal'tsev S.V., Trushkova N.A., Gazizullin R.R., Starikov A.N. *Patent RU 157165*. 30.10.15.

19. Gluyas J., Thompson L., Allen D., Benton C., Chadwick P., Clark S., Klinger J., Kudryavtsev V., Lincoln D., Maunder B., Mitchell C., Nolan S., Paling S., Spooner N., Staykov L., Telfer S., Woodward D., Coleman M. Passive, continuous monitoring of carbon dioxide geostorage using muon tomography. *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2019. Vol. 377. No 2137. Article 20180059.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Исаевич Алексей Геннадиевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, зав. сектором, Scopus ID: 56671263900, e-mail: aero\_alex@mail.ru,

*Стариков Алексей Николаевич*<sup>1</sup> — инженер, e-mail: vaso4488@gmail.com,

*Мальцев Станислав Владимирович*<sup>1</sup> — инженер, e-mail: stasmalcev32@gmail.com,

<sup>1</sup> Горный институт Уральского отделения РАН.

**Для контактов:** Мальцев С.В., e-mail: stasmalcev32@gmail.com.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.G. Isaevich*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector,

Scopus ID: 56671263900, e-mail: aero\_alex@mail.ru,

*A.N. Starikov*<sup>1</sup>, Engineer, e-mail: vaso4488@gmail.com,

*S.V. Maltsev*<sup>1</sup>, Engineer, e-mail: stasmalcev32@gmail.com,

<sup>1</sup> Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.

**Corresponding author:** S.V. Maltsev, e-mail: stasmalcev32@gmail.com.

Получена редакцией 07.07.2020; получена после рецензии 02.09.2020; принята к печати 10.03.2021.

Received by the editors 07.07.2020; received after the review 02.09.2020; accepted for printing 10.03.2021.