

3. 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 «НТИЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
4. Зайцев А.В., Семин М.А., Паршаков О.С. Особенности формирования теплового режима в воздухоподающих стволах в холодный период года // Записки Горного института. – 2021. – Т. 250, № 4. – С. 562-568. – DOI: 10.31897/PMI.2021.4.9.
5. «Frozen Wall»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2018666337 / Богомягков А.В., Зайцев А.В., Клюкин Ю.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А.; заявитель и правообладатель ПФИЦ УрО РАН. – 2018663501; заявл. 28.11.2018; зарегистрировано 17.12.2018; опубл. 17.12.2018. – 1 с.
6. Левин Л.Ю., Семин М.А., Паршаков О.С. Совершенствование методов прогнозирования состояния ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов с использованием распределенных измерений температуры в контрольных скважинах // Записки Горного института. – 2019. – Т. 237, № 3. – С. 268-274. – DOI: 10.31897/PMI.2019.3.268.
7. Семин М.А., Князев Н.А., Кормщиков Д.С. Тепловые процессы в вентиляционном стволе глубокого рудника при реверсировании воздушной струи в холодное время года // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 1. – С. 112-123. – DOI: 10.15372/FTPRPI20230111.
8. Olkhovskiy D.V., Kuzminykh E.G., Zaitsev A.V., Semin M.A. Study of Heat and Mass Transfer in Ventilation Shafts of Deep Mines in the Case of Airflow Reverse // Journal of physics: Conference Series. – 2021. – V. 1945, № 1 – № статьи 012044. – DOI: 10.1088/1742-6596/1945/1/012044.

УДК: 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.1.22

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗООБИЛЬНОСТИ РАБОЧИХ ЗОН НА РУДНИКАХ ВМКМС

А.Н. Стариков

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Работа посвящена оценке влияния фактора неравномерности газовыделения из призабойного пространства тупиковых выработок рудников ВМКМС при работе добычного оборудования на расчет относительной газообильности рабочих зон. Рассмотрено несколько способов определения коэффициента неравномерности газовыделения. Выполнены замеры концентрации горючих и токсичных газов для определения неравномерности газовыделения. Основной идеей разработки коэффициента является повышение точности показаний при определении относительной газообильности в условиях цикличности работы добычного оборудования. Применение коэффициента неравномерности в формуле по определению относительной газообильности приведет к повышению точности при определении необходимого количества воздуха для проветривания рабочих зон комбайновых комплексов.

**Ключевые слова:** рудничный воздух, рудничная вентиляция, относительная газообильность, газовая съемка, рабочая зона, коэффициент неравномерности, мокрый способ.

Очистные работы на Верхнекамском месторождении калийных и магниевых солей (ВМКМС) ведутся при помощи коротких очистных забоев комбайновым способом. Известно, что разработка промышленных пластов на данном месторождении почти всегда сопровождается процессом выделения газов из массива. Такие условия, в соответствии с п. 164 действующих правил безопасности [1], требуют разработки специальных мероприятий [2] по безопасному ведению горных работ на месторождении. К наиболее важным мероприятиям для сохранения безопасных усло-

вий на рудниках относятся: регулярный контроль рудничной атмосферы, отнесение рабочих зон, где ведется добыча полезного ископаемого, к группам опасности по газу, а также внимательный подход к определению требуемого количества воздуха для проветривания рабочих зон по «газовому фактору». Все эти запросы объединяет одна задача: проведение регулярных газовых съемок. Газовая съемка – это комплекс работ по определению относительной газообильности рабочих зон рудника. Относительная газообильность рабочей зоны, как результат проведенной газовой съемки, является ключевым критерием при расчете требуемого количества воздуха для проветривания рабочих зон по «газовому» фактору. Под рабочей зоной тупиковой камеры понимается одиночная тупиковая выработка, в которой ведутся очистные, подготовительные или разведочные работы, связанные с отбойкой руды или пустой породы. Рабочая зона тупиковой выработки ограничивается длиной выработки от устья до забоя.

Согласно методике, газовая съемка на рудниках ВМКМС включает в себя следующие задачи:

- отбор не менее 3-х проб (для определения среднего значения) за время проведения замеров на исходящей струе воздуха из рабочей зоны, а также отбор пробы свежего воздуха подходящего к рабочей зоне;
- лабораторный анализ состава отобранных проб хроматографическим методом для определения состава и концентрации газов;
- расчет относительной газообильности для каждой из исследуемых рабочих зон.

Для отбора проб рудничного воздуха на рудниках ВМКМС используют «мокрый способ» (метод вытеснения), а также другие способы отбора проб, обеспечивающие надежность хранения, выборки и транспортировки пробы [3]. Анализ состава рудничного воздуха производится в лабораторных условиях посредством газовой хроматографии. Расчет относительной газообильности, согласно «Специальным мероприятиям», производится по формуле:

$$Q_3 = 180 \times (I_{\text{сриск}} - I_{\text{св}}) / \sum A, \text{ м}^3/\text{т} \quad (1)$$

где  $\sum A$  – суммарное количество руды, отбитое комбайновым комплексом в течение 3 часов, когда производились замеры, тонн;  $I_{\text{сриск}}$  – среднее количество газа, проходящего по выработке на исходящей струе,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $I_{\text{св}}$  – количество газа, проходящего по выработке на свежей струе,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

### Проблематика

В действующей формуле по определению относительной газообильности используются средняя (по времени) концентрация соответствующего газа. Однако при усреднении измеренной концентрации газа существует риск занижения значений, так как известно, что в пределах одного шахтного поля газ в массиве распределен неравномерно [3]. Кроме того, комбайновый комплекс имеет возможность регулировки производительности с помощью скорости подачи на забой, а также допускаются простои во время доставки руды самоходным вагоном до рудоспускной скважины. Учитывая факторы цикличности работы добычного оборудования (рис. 1) и неравномерности распределения газа в массиве, отбор проб может производиться не в максимальной (пиковой) производительности комбайна, а значит не учитывать максимальную концентрацию, которая может выделяться из массива. При этом расчет количества воздуха по «газовому фактору» выполняется с целью разбавления выделяющихся газов в рабочей зоне.

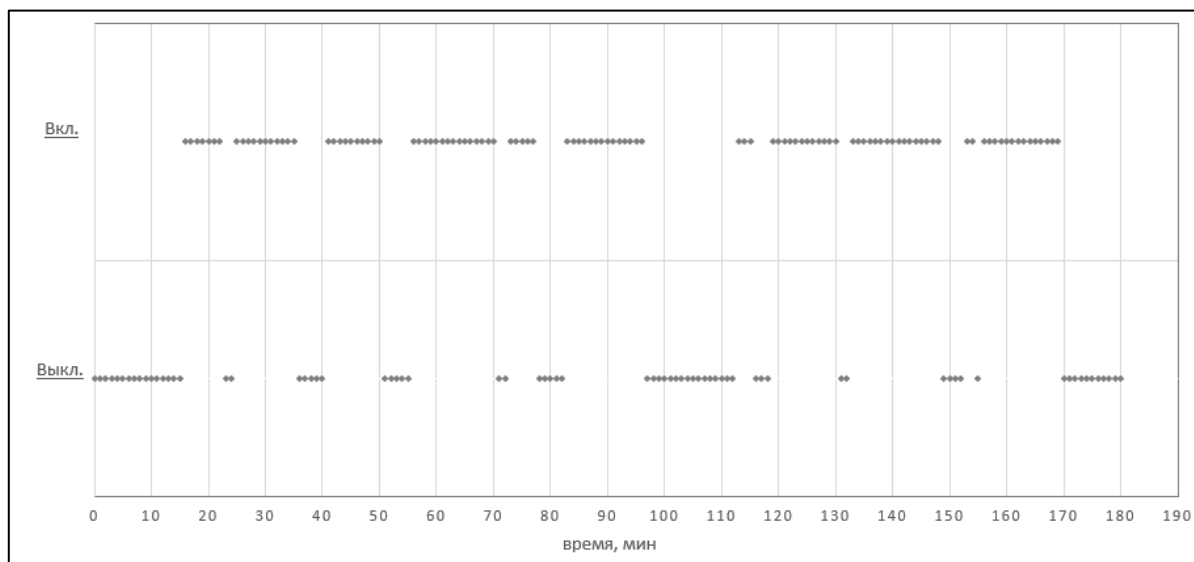


Рис. 1. Режим работы комбайнового комплекса в течение 3 часов

### Задача

Описанные факторы позволяют предположить, что в условиях цикличности работы комбайнового комплекса [4] процесс газовыделения из массива протекает неравномерно, что может значительно занижать значения относительной газообильности при расчете по средним значениям концентрации. Занижение значений относительной газообильности могут негативно сказаться на проветривании рабочей зоны ввиду некорректного расчета количества воздуха, что недопустимо в вопросах проветривания. Важной задачей работы является исследование возможности учета неравномерности газовыделения при расчете относительной газообильности рабочих зон.

Для этого предлагается рассмотреть:

- равномерный отбор проб в течение 3-х часов, который описан в действующей методике, заменить на единоразовый отбор проб непосредственно во время работы комбайна при максимальной нагрузке;
- для достоверности результата отбирать не менее 3-х проб в разных точках поперечного сечения выработки для определения среднего значения концентрации по сечению выработки (Рис. 2);
- использовать техническую производительность комбайна при расчете относительной газообильности (т/мин);
- определить степень неравномерности газовыделения из массива и внести соответствующий коэффициент в формулу.

Согласно предлагаемым изменениям, формула относительной газообильности изменится до следующего вида:

$$Q_3 = (I_{\text{сриск}} - I_{\text{св}}) \times K_n / A, \text{ м}^3/\text{т} \quad (2)$$

где  $A$  – техническая производительность комбайнового комплекса, т/мин;  $I_{\text{сриск}}$  – среднее по сечению количество газа, проходящего по выработке на исходящей струе,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $I_{\text{св}}$  – количество газа, проходящего по выработке на свежей струе,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $K_n$  – коэффициент неравномерности газовыделения.

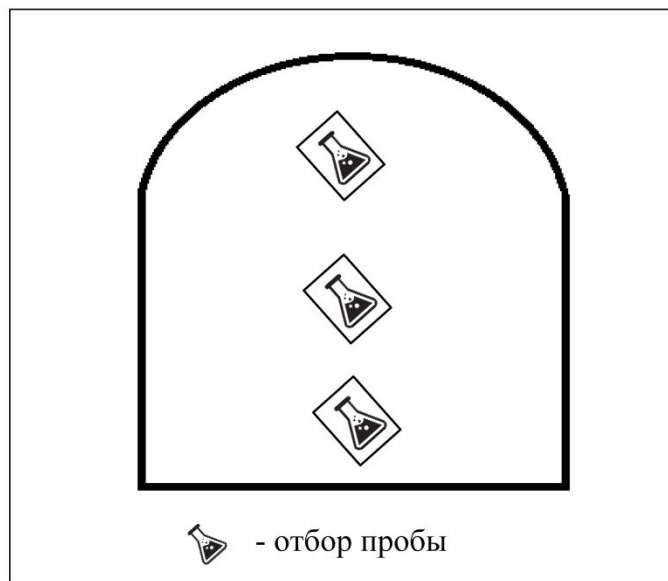


Рис. 2. Отбор проб в разных точках сечения выработки

### Метод

Коэффициент неравномерности газовыделения определяет степень неравномерности распределения газа в массиве. Следующей задачей данной работы является разработка метода определения коэффициента неравномерности газовыделения.

В рамках поставленной задачи рассмотрены существующие методы оценки показателя распределения газа в массиве. Разумеется, самым очевидным способом оценки такого показателя являются прогнозные карты газоносности рудников [5], которые показывают распределение газа в пределах шахтного поля. Стоит сказать, что такие карты представляют собой прогнозный инструмент количественной оценки распределения газа в массиве. Нам же необходима качественная оценка показателя разброса между максимальным и минимальным значением концентрации, фиксируемой при работе добычного оборудования на исследуемом участке. Таким образом, коэффициент неравномерности газовыделения есть диапазон отклонения значений концентрации в пределах участка. Для определения этого диапазона необходимо произвести замеры концентрации выделяющегося газа на некотором отрезке продвижения комбайна в массиве.

### Наблюдения

Для определения величины неравномерности проведены исследования на одном из рудников ВМКМС. Исследования включали в себя серию прямых измерений и отбор проб на определение концентрации метана и сероводорода в пределах одного рабочего блока в очистной камере на пласте «АБ» во время работы добычного оборудования.

Эксперимент проводился в течение 2-х рабочих смен в рабочей зоне комбайнового комплекса Урал-20Р. Проветривание рабочей зоны во время проведения эксперимента осуществлялось в стабильном режиме. Проведение измерений и отбор проб осуществлялся на исходящей струе из тупикового забоя, в 10 метрах от комбайнового комплекса (Рис. 3).

Отбор проб осуществлялся «мокрым» способом. Измерения проводились каждые 5 метров по мере продвижения комбайна. После проведения эксперимента отобранные пробы доставлялись в лабораторию для анализа на газовом хроматографе Хромос-1000.

За время проведения наблюдений было произведено 14 серий измерений, при этом комбайновый комплекс продвинулся на 65 метров (Рис. 3).

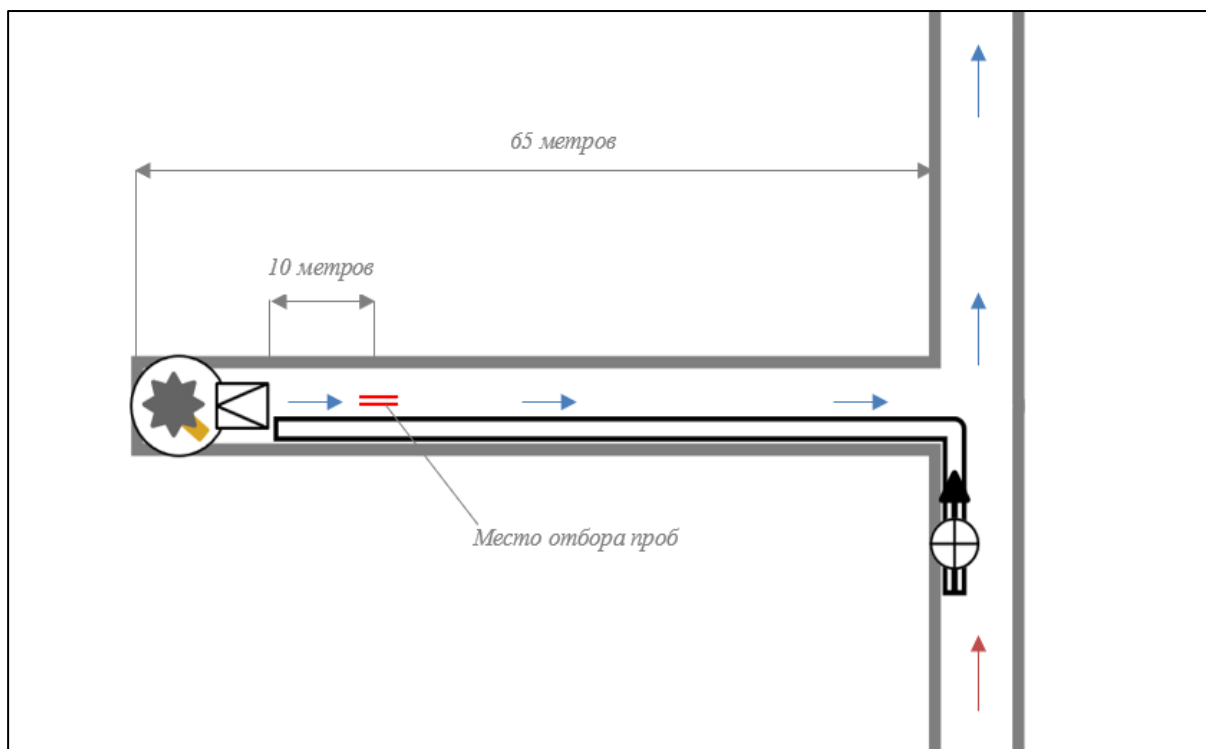


Рис. 3. Место проведения эксперимента

### Результат

Выборка измеренных концентраций метана в очистной камере (Рис. 4) подчинилась статистической обработке, и были рассмотрены два варианта определения коэффициента неравномерности. Среднее значение концентрации метана по представленной выборке равно 0,185%.

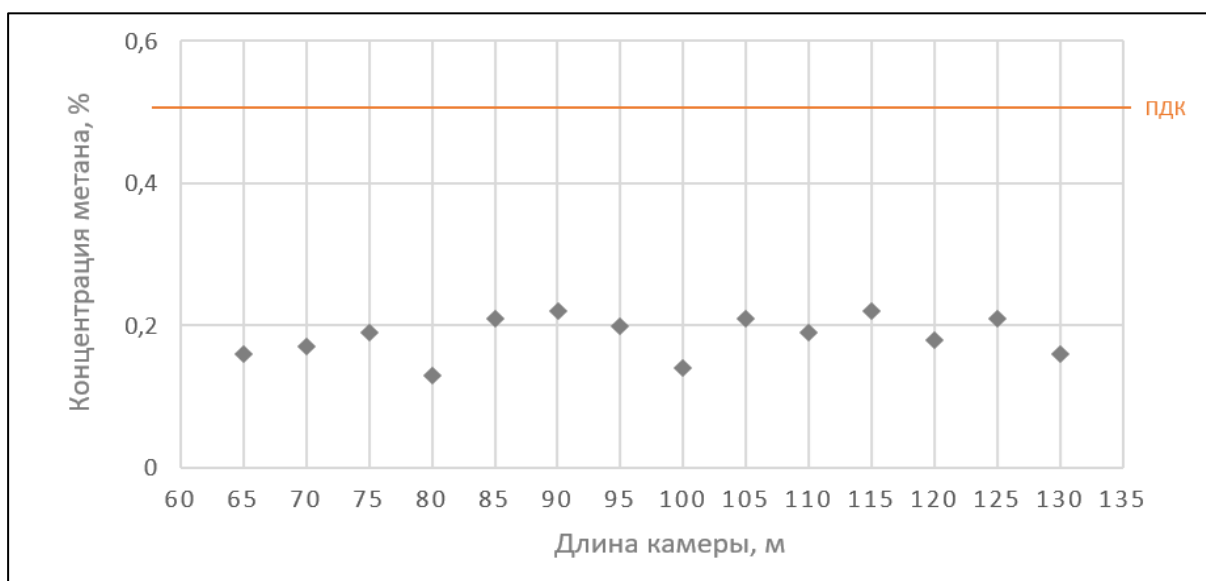


Рис. 4. Замеры концентрации по длине камеры

Простой вариант определений коэффициента неравномерности с помощью собранных данных – это отношение максимальной и минимальной концентрации метана.

$$K = C_{\text{макс}} / C_{\text{мин}} = 1,69 \quad (3)$$

Такая оценка не может восприниматься всерьез, так как мы имеем сравнительно малую выборку значений. Замеренные концентрации метана в другой промежуток времени или концентрация может не попасть в интервал замеренных значений. Поэтому вторым способом рассмотрена статистическая обработка полученных значений, а именно интервальная оценка (доверительный интервал). Коэффициент неравномерности ( $K$ ), определенный с помощью статистической обработки, равен  $K = 1,66$ .

Разница в полученных значениях с применением простого варианта обработки полученных значений и варианта с помощью статистической обработки составляет менее 2%. Таким образом, коэффициент неравномерности газовыделения при определении газообильности рабочих зон в экспериментальном варианте равен  $K = 1,66$ . Коэффициент использован с применением выборки по метану; такая выборка может производиться, если необходимо, и по токсичным газам; наибольший коэффициент принимается к расчету.

### Заключение

В работе выявлены возможные факторы, влияющие на определение относительной газообильности рабочих зон на рудниках ВМКМС, с помощью настоящей формулы. Рассмотрены варианты учета производственных факторов и неравномерности газовыделения из массива при определении значений относительной газообильности. Предложен новый способ отбора проб при работе добычного оборудования. Рассмотрен способ определения коэффициента неравномерности газовыделения из массива при работе добычного оборудования. Проведены замеры концентрации выделяемого газа на отрезке массива (65 метров) для определения коэффициента неравномерности газовыделения.

Проанализированы средние показатели концентрации горючего газа, фиксируемые в рабочей зоне, и определен коэффициент неравномерности с помощью статистической обработки полученных значений.

При сравнении действующей формулы и формулы с использованием экспериментального коэффициента неравномерности в условиях одной рабочей зоны значение относительной газообильности при применении коэффициента неравномерности газовыделения выросло на 50%, что вследствие даст рост требуемого количества воздуха для проветривания рабочей зоны. Как и предполагалось, средние значения концентрации при расчете занижают значения относительной газообильности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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).
2. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ в условиях «газового режима». Пермь; Березники, 2016.
3. Исаевич А.Г., Стариков А.Н., Мальцев С.В. Совершенствование метода отбора проб воздуха для определения относительной газообильности горючих газов в рудничной атмосфере // Горный ин-

- формационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 4. – С. 143-153. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-4-0-143.
4. Щерба В.Я., Башура А.Н., Андрейко С.С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей / под ред. В.Я. Прушака. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 194 с.: ил.
  5. Земсков А.Н., Лискова М.Ю., Заалишвили В.Б., Шамрин М.Ю. Современные технологические и технические решения при ведении горных работ на калийных рудниках // Изв. ТулГУ. Науки и Земле. – 2022. – №. 2. – С. 284-296.
  6. Бобров Д.А. Информационно-справочная система газодинамических явлений и газоносности для условий шахтных полей рудников ПАО «Уралкалий» // Проблемы недропользования. – 2016. – № 2(9). – С. 12-18. – DOI:10.18454/2313-1586.2016.02.012.
  7. Гришин Е.Л. Газовый режим в современной концепции рудничной вентиляции // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 101-104. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.20.