

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Semin M., Golovaty I., Levin L., Pugin A. Enhancing efficiency in the control of artificial ground freezing for shaft construction: A case study of the Darasinsky potash mine // Cleaner Engineering and technology. – 2024. – V. 18, номер статьи 100710. – DOI: 10.1016/j.clet.2023.100710.
2. Трупаков Н.Г. Замораживание горных пород при проходке стволов. – М.: Углетехиздат, 1954. – 896 с.: ил.
3. Alzoubi M.A., Xu M., Hassani F.P., Poncet S., Sasmito A.P. Artificial ground freezing: A review of thermal and hydraulic aspects // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2020. – V. 104. – Статья № 103534. – DOI: 10.1016/j.tust.2020.103534.
4. Van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils I // Soil science society of America journal. – 1980. – V. 44, №. 5. – С. 892-898. – DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.
5. Mualem Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media // Water resources research. – 1976. – V. 12, №. 3. – С. 513-522.
6. Brooks R.H., Corey A.T. Hydraulic properties of porous media. Hydrological Paper 3 / Colorado State University, Fort Collins. – Colorado, 1964. – P. 22-27.
7. Zhou M.M., Meschke G. A three-phase thermo-hydro-mechanical finite element model for freezing soils // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 2013. – V. 37, №. 18. – P. 3173-3193.
8. Lunardini V.J. Freezing of soil with an unfrozen water content and variable thermal properties // US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory. – 1988. – V. 88, №. 2.
9. McKenzie J.M., Voss C. I., Siegel D. I. Groundwater flow with energy transport and water-ice phase change: Numerical simulations, benchmarks, and application to freezing in peat bogs // Advances in water resources. – 2007. – V. 30, №. 4. – P. 966-983.
10. Паршаков О.С. Разработка автоматизированной системы термометрического контроля ледопородных ограждений: дис. ...к.т.н.; 25.00.20 / Паршаков Олег Сергеевич. – Пермь, 2020. – 140 с.
11. Строительство горно-обогатительного комплекса мощностью от 1.1 до 2.0 млн. тонн хлорида калия в год на сырьевой базе Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей по объекту рудник: отчет о НИР по договору № 60557/85/2017 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2017. – 85 с.

УДК: 622.41

DOI:10.7242/echo.2024.3.13

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК КАЛИЙНОГО РУДНИКА

А.Н. Стариков, Р.Р. Газизуллин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа посвящена исследованию особенностей газораспределения в атмосфере тупиковой очистной выработки калийного рудника. Рассмотрено влияние прилегающего к выработке калийного массива и утечек вентиляционного трубопровода на газораспределение в пределах тупиковой очистной камеры по разным продуктивным пластам. Выполнена серия экспериментов, основанных на наблюдениях за изменением концентрации газовых примесей в вентиляционной струе воздуха от забоя до устья камеры. Результаты исследований помогут в разработке методологии исследования процессов, влияющих на состав рудничной атмосферы, а также позволят совершенствовать подход к определению относительной газообильности рабочих зон калийных рудников.

Ключевые слова: относительная газообильность, газовая съемка, рабочая зона, нейтрализация газовых примесей, утечки воздуха, калийный рудник, метан, оксид углерода, рудничная атмосфера, проветривание, отбор проб.

Разработка запасов солей на калийных рудниках обусловлена выделением газовых примесей как в процессе отбойки руды, так и со стенок обнаженного массива и из складываемой горной массы. На рудниках Верхней Камы встречаются природные газы,

содержащиеся в массиве: метан (CH_4), водород (H_2), сероводород (H_2S), а также газы, образующиеся от техногенных источников – окись углерода (CO), окись и двуокись азота (NO , NO_2) [1].

Вынос вредных примесей из рабочих зон, образующихся в процессе добычи, обеспечивает вентилятор местного проветривания с вентиляционным трубопроводом, нагнетающий свежий воздух к месту выделения газа – рабочей зоне очистного комбайна. Для эффективного проветривания и созданию благоприятных для работы условий необходимо подавать достаточное количество воздуха к рабочей зоне. Для расчета требуемого количества воздуха в каждой рабочей зоне, кроме минимальной скорости воздуха и количества газа от машин с двигателями внутреннего сгорания, оценивается относительная газообильность, которая зависит от количества выделяемого газа из одной тонны отбитой руды [2]. Отбор проб для определения концентрации газа в пределах тупиковых камер проводится в устье выработки, чтобы зафиксировать общую концентрацию от всех источников газовыделения в пределах тупиковой камеры. Кроме того, распределение газов в продуктивной толще весьма неравномерно [3], соответственно, значения концентрации в разных точках могут отличаться. Исследовать долю газовыделения в атмосферу тупиковой горной выработки каждого из источников в условиях рабочей зоны не представляется возможным. Однако некоторые наблюдения за газораспределением в пределах камеры показали, что концентрация газовых примесей в забое – у основного источника газовыделения, во многих случаях больше, чем на исходящей струе из рабочей зоны [4].

Снижение концентрации газовых примесей по тракту движения вентиляционной струи можно объяснить утечками свежего воздуха из вентиляционного трубопровода в атмосферу камеры. Также упоминания о снижении концентрации газа в вентиляционной струе воздуха на калийных рудниках встречается в литературе. В одной из работ говорится о способности нейтрализации молекул газа под воздействием естественной радиоактивности калийных руд [5]. Упоминание о нейтрализации газовых примесей из атмосферы рудника в результате химических реакций под воздействием ионизирующего излучения калий-40 и высокой гигроскопичности калийного массива встречается в работе [6]. Способность калийной соли и хлористого натрия влиять на нейтрализацию газообразных веществ представлена результатами лабораторных экспериментов и описана в работе [7].

Если нейтрализация и разбавление газовых примесей под воздействием различных факторов способна оказывать влияние на газоздушную обстановку в границах одной очистной камеры, то необходимо не упускать из внимания такие процессы при отборе проб воздуха для определения относительной газообильности. В этой связи есть необходимость проведения цикла исследований газораспределения в атмосфере тупиковой очистной камеры. В рамках данного исследования проведены эксперименты в условиях калийного рудника для оценки влияния калийного массива и утечек воздуха из вентиляционного трубопровода на газораспределение в пределах тупиковой очистной камеры. Серия экспериментов проводилась в длинных очистных камерах на калийном руднике. Эксперименты основаны на наблюдениях за изменением концентрации газовых примесей по тракту движения загрязнённой струи воздуха от рабочей зоны к устью тупиковой камеры.

В рамках эксперимента производилось несколько серий отбора проб воздуха по всей протяженности камеры во время работы комбайнового комплекса с нагнетательным вентилятором местного проветривания. Во всех местах отбирались образцы воздуха на наличие горючих и токсичных газов, таких как метан, водород, и окись углерода, а также фиксировалось количество проходящего воздуха с помощью шахтного анемометра. Все измерения проводились по методике измерения газообильности [8] и анали-

зировались в химико-аналитической лаборатории с помощью хроматографического метода определения веществ.

Для проведения исследований выбраны две рабочие зоны с очистными камерами длиной от 100 метров в пределах одного добычного участка по пластам с разным минеральным составом окружающего массива. Принципиальная схема отбора проб в каждой из рабочей зоны приведена на рисунке 1.

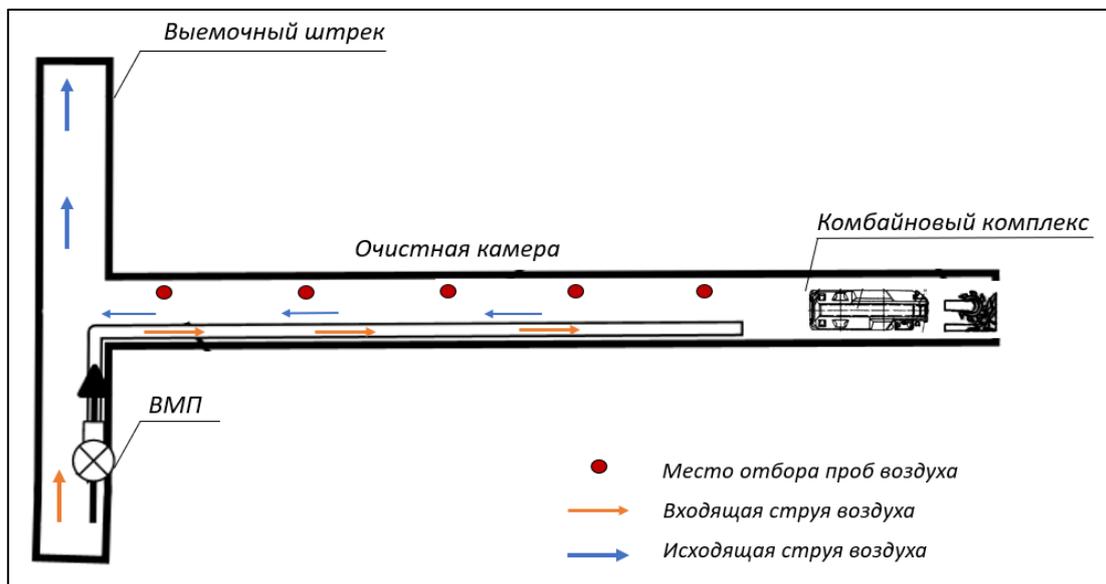


Рис. 1. Принцип отбора проб

Первая рабочая зона в рамках эксперимента располагалась на продуктивном пласту Кр-II. Содержание калия по данному пласту несколько ниже, чем по пласту АБ, и составляет 29%. Расстояние от забоя до устья камеры в рабочей зоне составило 180 метров. Вторая рабочая зона выбрана на пласту АБ, где содержание калия более высокое и составляет 39% [9, 10]. Тупиковая выработка на момент проведения замеров была длиной 140 метров.

Анализ отобранных образцов воздуха проводился в лабораторных условиях сектора рудничной вентиляции ГИ УрО РАН, имеющего заключение о состоянии измерений в лаборатории. Полученные результаты концентрации искомых компонентов в воздухе приведены к средним значениям на основании 3 проб в каждой точке, и для однообразия при оценке закономерностей рассмотрен одинаковый отрезок камеры для каждой рабочей зоны, равный 100 метрам. Результаты по каждой рабочей зоне приведены в виде графиков на рисунках 2-3.

Согласно полученным данным, отчетливо наблюдается процесс снижения концентрации газовых примесей в атмосфере протяженных рабочих зон по пути движения исходящей струи от забоя (источника выделения газа) до устья камеры. Доля снижения концентрации газа в каждой рабочей зоне представлена на графиках. Образцы, отобранные на разных продуктивных пластах, позволят оценить влияние минерального состава массива на нейтрализацию газов из атмосферы тупиковой выработки [6].

Оценить долю влияния свойств массива на изменение концентрации газа в вентиляционной струе воздуха возможно только при учете утечек вентиляционного трубопровода, которые могут разбавлять загрязненный воздух. Для того чтобы учесть утечки при проведении эксперимента, проводились замеры воздуха в начале исследуемого отрезка и в устье камеры. На основании этих замеров вычислялся коэффициент утечек вентиляционного трубопровода на длину исследуемого отрезка. Количество воздуха,

замеренное на выходе из вентиляционного трубопровода, было ниже, чем количество воздуха, зафиксированное в устье камеры на 7,4%. Таким образом, коэффициент утечек вентиляционного трубопровода составил 1,07.

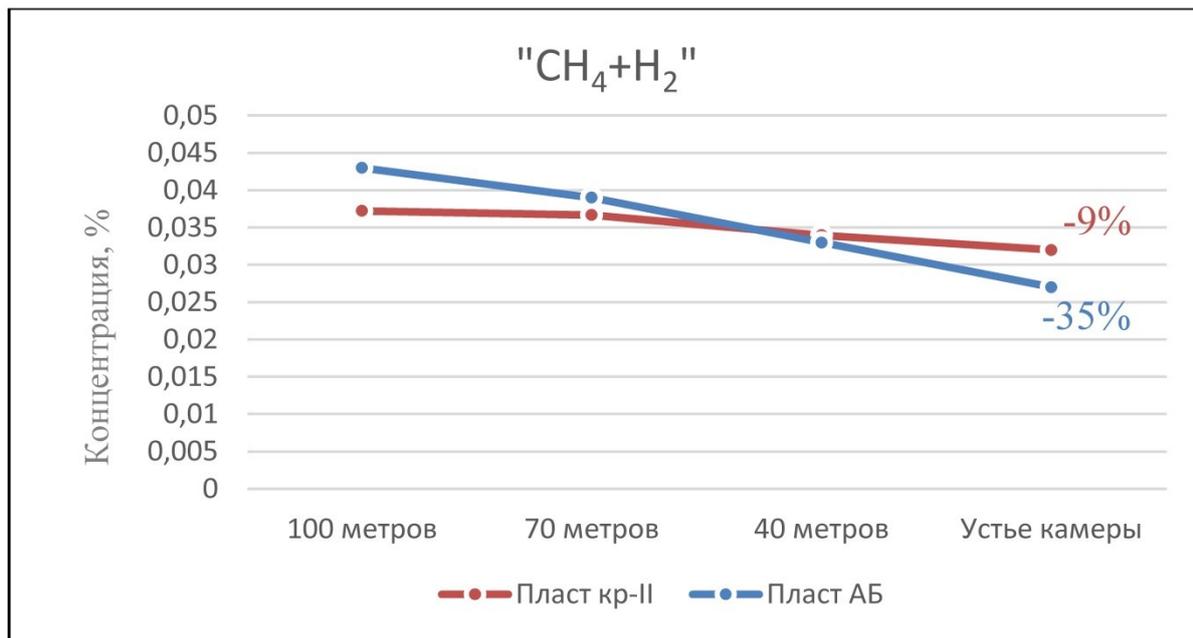


Рис. 6. Концентрация горючих газов

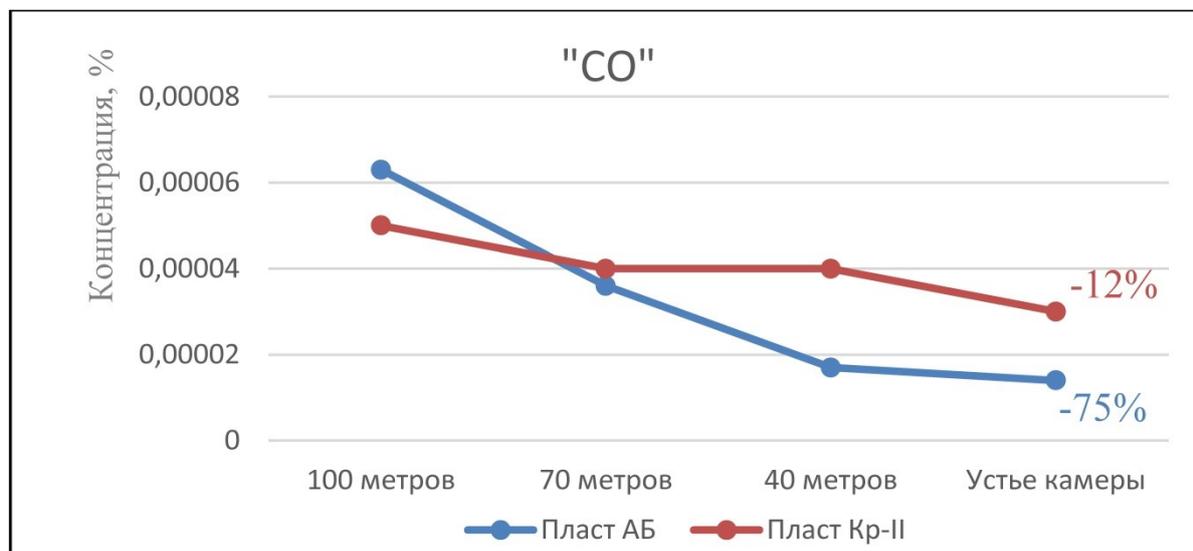


Рис. 7. Концентрация оксида углерода

Значения количества воздуха позволяют пересчитать значения концентрации газа (%), в количество газа, проходящего в точка отбора проб (м³/мин) с помощью формулы, используемой в методике по определению относительной газообильности:

$$I_i = 0,01 \times Q \times C, \text{ м}^3/\text{мин} \tag{1}$$

где Q – расход воздуха в пункте замера, м³/мин; C – концентрация газа в воздухе, в % по объему.

На рисунке 4 представлено изменение среднего количества газа, проходящего через точки отбора проб в начале и в конце камеры. Так как фактор разбавления воздуха посредством утечек вентиляционного трубопровода будет учтен, изменение количества газа по длине выработки в пределах тупиковой камеры говорит о химических процессах, способных влиять на газовый баланс в пределах протяженных тупиковых выработках.

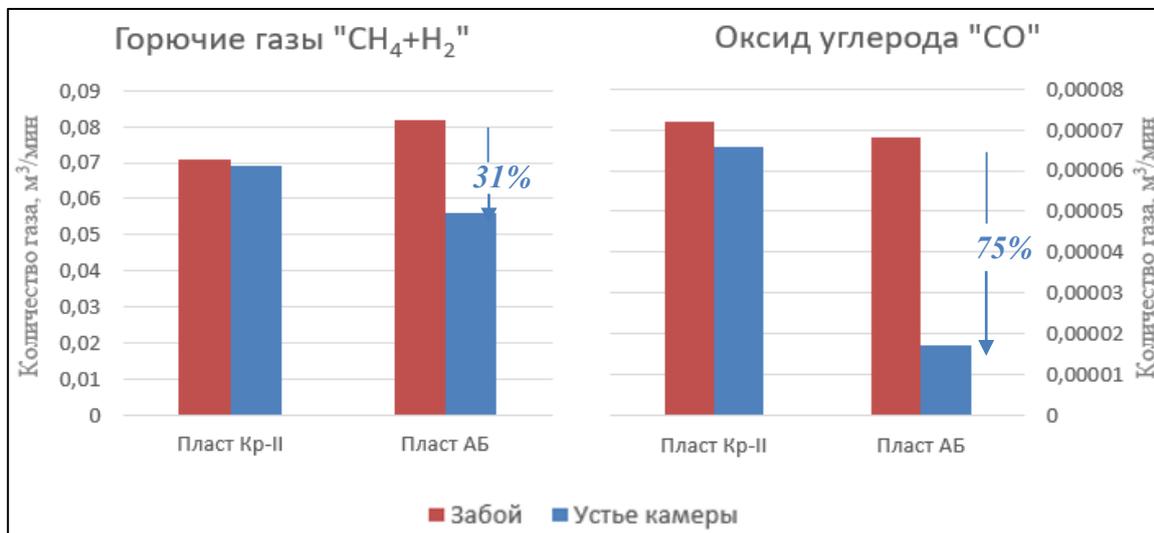


Рис. 4. Изменение количества газа от забоя до устья камеры

Представленные данные говорят о снижении количества газа во всех тупиковых камерах. Гораздо более активный процесс нейтрализации газовых примесей протекает по пласту АБ, где концентрация сильвинита (KCl) в калийном массиве выше на 30%, чем по пласту Кр-II.

Исследования, проведенные в работе, направлены на изучение процессов, которые могут влиять на состав атмосферы в горных выработках калийных рудников. Кроме того, изучение особенностей газораспределения в пределах тупиковых выработок позволит наиболее корректно проводить инструментальные замеры и отбор образцов воздуха для определения относительной газообильности рабочих зон.

В рамках работы выполнены эксперименты в пределах рабочих зон по продуктивным пластам Кр-II и АБ. В результате проведенных исследований установлено, что в очистных камерах большой протяженности по пласту АБ концентрация газовых примесей снижается по протяженности выработки от тупика к устью. Эти данные подтверждают, что калийная соль способна оказывать влияние на состав рудничной атмосферы. За 100 метров пути вентиляционной струи в тупиковой очистной камере доля снижения горючих газов по пласту АБ (KCl 39%) составила 31%, а угарного газа – 75%.

Данные, собранные в рамках эксперимента, указывают на необходимость дальнейшего совершенствования методологии исследования процессов, влияющих на состав рудничной атмосферы, а также позволят совершенствовать подход к определению относительной газообильности и интенсивности газовойделения в рабочих зонах калийных рудников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500030-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко С.С., Иванов О.В., Лялина Т.А., Нестеров Е.А. Газоносность по свободным газам пород сильвинитовой и сильвинито-карналлитовой зон Верхнекамского месторождения // Горная промышленность. – 2021. – № 4. – С. 125-133. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-125-133.

2. Стариков А.Н., Мальцев С.В., Исаевич А.Г. Совершенствование подхода к определению относительной газообильности рабочих зон рудников Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 9. – С. 99-113. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_9_0_99.
3. Земсков А.Н., Лискова М.Ю. Распределение газов по разрезу продуктивных толщ калийных месторождений // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2020. – №. 2. – С. 271-283.
4. Николаев А.В., Максимов П.В., Земсков А.Н., Коногоя Д.А., Куимов С.А., Бартоломей М.Л. Оценка адекватности математических моделей и зависимостей распределения газозвушной смеси в пределах тупиковой выработки калийного рудника // Уголь. – 2022. – №. 10. – С. 60-65. – DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-60-65.
5. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников / УрО АН СССР. – Свердловск, 1990. – С. 119-126.
6. Селиванова С.А. Гигиенические особенности формирования и оптимизация физико-химических условий внутренней среды сильвинитовых сооружений: дис. ...к.м.н.; 14.02.01 / Селиванова Светлана Алексеевна. – Пермь, 2019. – 142 с.: ил.
7. Суханов А.Е., Бруев Н.А., Газизуллин Р.Р., Стариков А.Н. Исследование сорбционных свойств солей на примере газов, содержащихся в атмосфере калийных рудников // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2023. – №. 1. – С. 495-507. – DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-495-507.
8. ФР.1.31.2022.42903. ГСИ. Методика измерений объемной доли кислорода, метана, диоксида углерода и массовой концентрации оксида углерода, сероводорода, оксида азота и диоксида азота в атмосфере горных выработок и определения газообильности по горючим газам в горных выработках и шахте в целом.
9. Сметанников А.Ф., Филиппов В.Н. Некоторые особенности минерального состава соляных пород и продуктов их переработки (на примере Верхнекамского месторождения солей) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сб. науч. ст. / ПГУ, ГИ УрО РАН. – Пермь, 2010. – С. 99-113. – (Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского; Вып. 13).
10. Чайковский И.И., Уткина Т.А., Исаева Г.А. Эволюция минерального состава нерастворимого остатка солей Верхнекамского месторождения // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 17-20. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.3.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2024.3.14

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ В ТУПИКОВОЙ КОМБАЙНОВОЙ ВЫРАБОТКЕ КАЛИЙНОГО РУДНИКА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ПРОВЕТРИВАНИЯ

А.Е. Суханов, С.В. Мальцев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа проходческо-очистных комбайновых комплексов калийных рудников характеризуется высоким уровнем запыленности в тупиковых выработках. Сложности в решении вопроса по обеспыливанию определяются свойствами калийного массива, которые характеризуются растворимостью породы при использовании мокрых способов. В связи с этим одним из наиболее перспективных методов нормализации пылевой обстановки является адаптация существующих систем вентиляции тупиковых выработок. В работе предлагается использование комбинированного способа проветривания с условием преобладания всасывающего вентилятора. Данное условие позволяет изолировать исходящую воздушную струю от свежей и направлять загрязненный воздух через всасывающий трубопровод на вентиляционные выработки. Предлагаемый подход позволяет обеспечить тупиковую выработку от устья камеры до проходческо-очистного комплекса. В статье описан процесс построения и валидации трехмерной гидродинамической модели распространения мелкодисперсной пыли в тупиковой выработке и произведены расчеты в условиях нагнетательного и комбинированного способов проветривания. На основании полученных результатов произведены опытно-промышленные испытания комбинированного способа проветривания в условиях действующего калийного рудника.

Ключевые слова: вентиляция тупиковых выработок, калийный рудник, пыль, проходческо-очистной комплекс, трехмерное моделирование, комбинированный способ проветривания.