

СНИЖЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВИТАЮЩЕЙ ПЫЛИ В АТМОСФЕРЕ ОЧИСТНОЙ КАМЕРЫ ПРИ ДОБЫЧЕ КАЛИЙНЫХ РУД МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

А.В. Сенькин¹, А.Г. Исаевич^{1,2}, Д.И. Шишлянников¹, И.Х. Тюбеев¹, Н.А. Бруев²

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия, e-mail: senkin.anton59@gmail.com

² Горный институт Уральского отделения РАН – филиал Пермского федерального
исследовательского центра Уральского отделения РАН, Пермь, Россия

Аннотация: Интенсивное пылеобразование является сопутствующим процессом при ведении горных работ на калийных рудниках. В призабойной зоне очистных камер при функционировании комбайновых комплексов концентрация пыли значительно превышает предельно допустимую, что приводит к ряду негативных последствий для горнорабочих и горно-шахтного оборудования. Существующие мероприятия по борьбе с пылью либо малоэффективны, либо значительно снижают производительность проходческих и добычных работ. Таким образом в настоящий момент актуальной задачей является разработка технических решений, позволяющих снизить интенсивность пылеобразования в очистном забое без снижения производительности механизированной добычи калийной руды. С этой целью предлагается модернизировать бункер-перегрузатель посредством оснащения его съемным тентом. Для контроля заполнения бункера-перегрузателя предусматривается использование системы автоматизации. С целью оценки эффективности предлагаемого решения был проведен ряд замеров концентрации пыли в очистном забое с применением прототипа съемного тента бункера-перегрузателя. Результаты замеров подтвердили эффективность предлагаемого решения, которое позволило значительно снизить концентрацию пыли за счет изоляции области образования пыли внутри бункера при перегрузке руды из проходческо-очистного комбайна в бункер-перегрузатель. Наличие съемного тента бункера-перегрузателя позволит уменьшить содержание твердых частиц в очистном забое без снижения производительности комбайнового комплекса. Предлагаемое техническое решение может быть использовано предприятиями при изготовлении новых модификаций бункеров-перегрузателей.

Ключевые слова: пылеобразование, съемный тент, бункер-перегрузатель, комбайновый комплекс, очистной забой, калийная руда, производительность комбайнового комплекса, схема автоматизации бункера-перегрузателя.

Благодарность: исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Для цитирования: Сенькин А. В., Исаевич А. Г., Шишлянников Д. И., Тюбеев И. Х., Бруев Н. А. Снижение концентрации витающей пыли в атмосфере очистной камеры при добыче калийных руд механизированным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 6. – С. 109 –120. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_6_0_109.

Reducing the concentration of air-contaminated dust in the atmosphere of the cleaning chamber during mechanized potash ore mining

A.V. Senkin¹, A.G. Isayevich^{1,2}, D.I. Shishlyannikov¹, I.H. Tyubeev¹, N.A. Bruev²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, e-mail: senkin.anton59@gmail.com

² Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract: High dust formation is a concomitant process in mining operations in potash mines. In the bottomhole zone of the cleaning chambers, during the operation of combine complexes, the dust concentration significantly exceeds the maximum permissible, which leads to a number of negative consequences for miners and mining equipment. Existing dust control measures are either ineffective or significantly reduce the productivity of sinking and mining operations. Thus, at the moment, the urgent task is to develop technical solutions that reduce the intensity of dust formation in the treatment face without reducing the productivity of mechanized potash mining. For this purpose, it is proposed to modernize the hopper loader in terms of equipping it with a removable awning. An automation system is provided to control the filling of the hopper loader. In order to evaluate the effectiveness of the proposed solution, a number of measurements of the dust concentration in the treatment face were carried out using a prototype removable awning hopper loader. The measurement results confirmed the effectiveness of the proposed solution, which made it possible to significantly reduce dust concentration by isolating the dust formation area inside the hopper during ore transshipment from the sinking combine to the hopper loader. The presence of a removable hopper loader awning will reduce the content of solid particles in the treatment face without reducing the productivity of the combine complex. The proposed technical solution can be used by enterprises in the manufacture of new modifications of hopper transporters.

Key words: dust formation, removable awning, hopper loader, combine complex, sewage treatment plant, potash ore, productivity of the combine complex, automation scheme of the hopper loader.

Acknowledgement: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project Supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project NO. FSNM-2023-0005).

For citation: Senkin A. V., Isayevich A. G., Shishlyannikov D. I., Tyubeev I. H., Bruev N. A. Reducing the concentration of air-contaminated dust in the atmosphere of the cleaning chamber during mechanized potash ore mining. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2026;(6):110–120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_6_0_110.

Введение

На рудниках РФ при добыче калийно-магниевого солей используют камерную систему отработки и механизированный способ разрушения продуктивных пластов. Традиционно применяются комплекты оборудования — механизирован-

ные комбайновые комплексы, в состав каждого из которых входят проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель и шахтный самоходный вагон. При ведении очистных и проходческих работ механизированным способом образование пыли в очистных камерах и

капитальных выработках калийных рудников является сопутствующим процессом.

Одной из главных причин образования пыли в очистных камерах калийных рудников является высокое содержание мелких пылевидных частиц в отбитой руде, которая способна витать в атмосфере выработанного пространства.

К мелким пылевидным частицам относятся частицы отбитой руды класса «–0,25 мм» [1], которые образуются в результате разрушения калийной породы резцами исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов. Учитывая, что при работе проходческо-очистного комбайна 15% отбитой руды подвергается повторному измельчению, содержание пылевидных частиц в отбитой руде составляет около 10% [2]. Процесс образования пыли интенсифицируется при низкой влажности воздуха и относительно высоких температурах в подземных выработках.

Замеры концентрации пыли в очистных камерах при работе проходческо-очистных комбайнов зачастую показывают экстремальные превышения предельно допустимой концентрации пыли на рабочих местах горнорабочих, что значительно ухудшает условия труда [3, 4].

Известные мероприятия по борьбе с пылью при подземной добыче полезных ископаемых, как правило, малоэффективны в условиях калийных рудников либо приводят к значительному снижению эксплуатационной производительности механизированных комбайновых комплексов. Применение способов подавления пыли, основанных на использовании воды, исключено, так как это означает большой расход воды, которая в калийных рудниках приводит к размыванию выработок и нарушению несущей способности целиков.

Проблема интенсивного пылеобразования приводит к тому, что на отдель-

ных рудниках из составов механизированных комбайновых комплексов исключают бункеры-перегрузатели, что обуславливает снижение эксплуатационной производительности комбайновых комплексов примерно на 19...25% [5] вследствие увеличения простоев проходческо-очистного комбайна в ожидании шахтного самоходного вагона.

В текущих условиях существует потребность в разработке и опробовании новых технических решений по снижению интенсивности процесса пылеобразования при механизированной добыче калийной руды. Актуальной является задача модернизации горно-шахтного оборудования для снижения пылеобразования в очистных камерах калийных рудников.

Целью данного исследования является оценка эффективности применения бункера-перегрузателя, оснащенного съемным тентом, в составе механизированного комбайнового комплекса посредством анализа уровня запыленности атмосферы выработки в зоне рабочего места машиниста комбайна.

Методологические основы исследования

На Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВМКМС) калийная порода залегает на глубине 300...500 м и характеризуется высокой влажностью. Благодаря этому ведение очистных работ комбайновыми комплексами на указанном месторождении сопровождается пылеобразованием в относительно умеренном количестве.

В отличие от ВМКМС на Гремячинском месторождении калийная руда залегает на глубине 1500 м и характеризуется низкой влажностью. Учитывая повышенную температуру в очистных выработках (+30...+35 °С), пылеобразование в таких условиях при ведении очистных работ создает экстремальные

условия труда для горнорабочих. Замеры концентрации пыли на Гремячинском месторождении показывают, что на рабочих местах машинистов проходческо-очистного комбайна и самоходного вагона она может превышать предельно допустимую в сотни раз [6].

Процесс пылеобразования в очистных камерах калийных рудников при работе механизированных комбайновых комплексов является многофакторным и определяется как режимными параметрами функционирования оборудования [7–10], конструктивными особенностями выемочных [11], транспортирующих машин и аккумулирующих бункеров, так и горно-геологическими условиями рудника (влажность атмосферы, температура). Отдельно следует отметить влияние способа и параметров проветривания на интенсивность пылеобразования при очистной выемке калийной руды.

Пылевидные частицы образуются при отделении элементарных сколов от калийного массива и дроблении руды резцами проходческо-очистных комбайнов, циркуляции горной массы в призабойной зоне и при перегрузке руды в аккумулирующие емкости и средства самоходного транспорта.

Ранее выполненные исследования показывают, что при количественной оценке источником 30% пылевидных частиц в атмосфере на рабочем месте машиниста являются неплотности ограждающего щита исполнительного органа проходческо-очистного комбайна. Остальные 70% витающих пылевидных частиц образуются в точках перегруза руды из комбайна в бункер-перегрузатель или из бункера-перегрузателя в самоходный вагон.

Как показывает практика, ветхие и неплотные щитовые ограждения на проходческо-очистном комбайне значительно ухудшают пылевую обстановку на рабочих местах машинистов.

Проходческо-очистные комбайны отечественного производства оснащены штатными установками пылеулавливания. Однако опыт эксплуатации показывает их низкую эффективность при высоких концентрациях пыли. Работа таких установок сопровождается повышенным уровнем шума, а также требует частой очистки фильтров, что приводит к дополнительным простоям комбайновых комплексов [12].

Известны попытки применения для борьбы с пылью в очистных забоях калийных рудников методов «сухого» улавливания пыли, орошения и вентиляционного метода.

Эффективность применения фильтрационных установок сухой очистки ограничивается большой площадью фильтрующих элементов (до 125 м² при объеме очищаемого воздуха 330 м³/мин), необходимостью регенерации фильтрующих элементов и большими габаритными размерами оборудования.

Примером сухого улавливания пыли является применение лопастного нейтрализатора сероводорода, который помимо поглощения сероводорода с эффективностью 78,5–90,9% позволяет связывать витающую пыль с эффективностью до 89% [13]. Принцип его действия заключается в улавливании мелких частиц в наборе кассет, через которых пропускается поток запыленного воздуха. В экстремальных условиях запыленности выработанного пространства указанное устройство требует периодической замены фильтров, что негативно сказывается на производительности комбайнового комплекса.

Методы борьбы с пылью на основе применения воды ограничены высокой растворимостью калийных солей и образованием агрессивной среды в очистной выработке, которая значительно снижает надежность горно-шахтного оборудования. Данный метод предполагает

увеличение влажности руды до 0,5%. Для достижения такого результата потребуется не менее 3 л воды на 1 т добытой руды [14]. Наличие такого расхода в очистном забое требует большого запаса воды и обустройства разветвленной сети трубопроводов, что повышает риск разупрочнения целиков. Учитывая перечисленные ограничения, данный метод не получил широкого распространения.

Нагнетательный способ проветривания очистных камер заключается в свободном выносе пыли из забоя к устью выработки с последующим оседанием ее на почве выработки. Такой способ приводит к высокой концентрации пыли на рабочих местах машинистов проходческо-очистных комбайнов и шахтных самоходных вагонов. При всасывающем способе проветривания свежая струя воздуха поступает из устья выработки и на своем пути через камеру принимает весь газ, образовавшийся из стенок выработок [15, 16]. Кроме того, применение всасывающего способа не допускается по правилам промышленной безопасности. Для снижения концентрации был предложен комбинированный способ проветривания призабойной зоны, который является комбинацией нагнетательного и всасывающего способа проветривания. Такой способ показывает эффективность 56–80% [14, 17]. Применение комбинированного способа [18] проветривания требует дополнительных затрат на организацию проветривания и снижает производительность комбайновых комплексов вследствие дополнительных трудозатрат на монтаж второго вентиляционного става [19, 20].

Распространенным решением на калийных рудниках для борьбы с пылью на узлах перегрузки руды, в основном на конвейерном транспорте, является применение герметичных укрытий с шорами, которые позволяют изолировать

образованное пылевое облако при перегрузе внутри смонтированного корпуса. Для контроля заштыбовки таких укрытий применяют специальные датчики, которые своевременно передают сигнал на отключение конвейера.

На участках перегрузки руды при транспортировке конвейерами также применяют укрытия с принудительными отводами пыли на почву выработки через специальные трубопроводы, смонтированные в бортах укрытия. С почвы выработки пыль собирается погрузочно-доставочными машинами.

На узлах загрузки скипов в месте загрузки руды с ленточных конвейеров в бункеры-дозаторы применяют пылеулавливающие клапаны. В исходном положении клапан перекрыт и не позволяет пылевому облаку внутри бункер-дозатора распространиться за его пределы. При перегрузке руды с ленточного конвейера в бункер-дозатор клапан открывается при воздействии на него руды, и по завершении загрузки клапан возвращается в исходное положение.

Таким образом, наиболее перспективным направлением снижения интенсивности пылеобразования в условиях калийных рудников является разработка технических решений, позволяющих изолировать (оградить) потенциальные источники формирования витающей пыли в очистной камере.

Методы исследования

Для снижения концентрации витающей пыли на рабочем месте машиниста комбайна в очистной камере предлагается оснастить бункер-перегрузатель съемным перекрытием — тентом (см. рис. 1). Тент позволит изолировать витающую пыль внутри корпуса бункера-перегрузателя.

Съемный тент представляет собой стальной каркас, который устанавливается на борта бункера-перегрузателя.

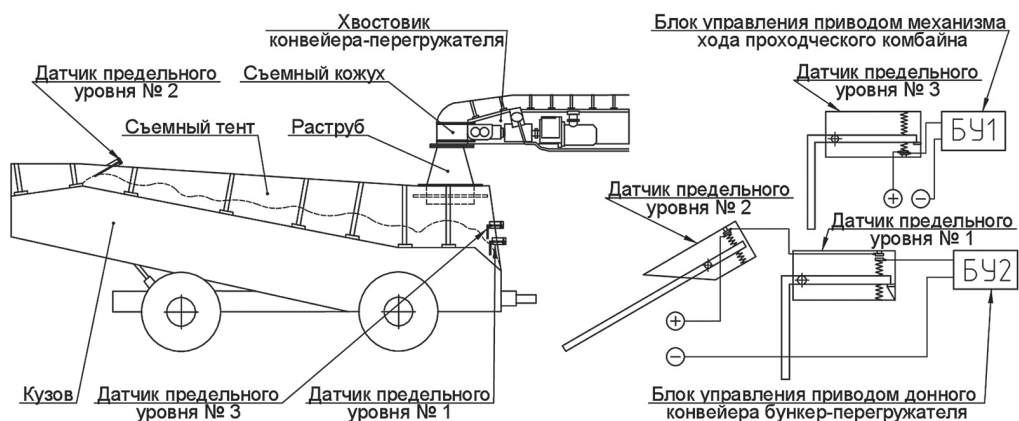


Рис. 1. Общий вид съемного тента на бункере-перегрузателе
 Fig. 1. The general view of removable tent for conveyor hopper

На каркас крепится брезент (или пленка), обеспечивающий разобщение источника пылеобразования в кузове бункера-перегрузателя и атмосферы выработки. В процессе ведения горных работ горнорабочим необходимо контролировать степень наполнения бункера-перегрузателя для своевременной остановки проходческо-очистного комбайна во избежание просыпи отбитой руды на почву выработки.

Предлагаемая конструкция съемного тента затрудняет визуальный контроль

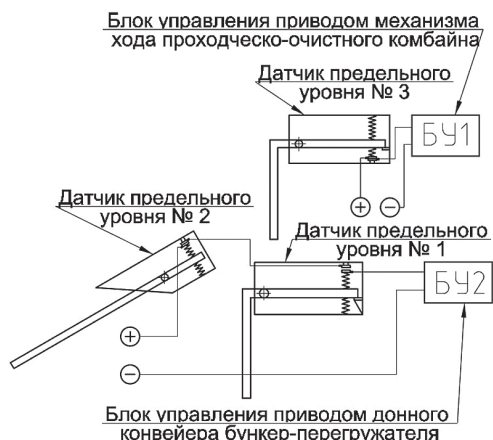


Рис. 2. Схема автоматизации съемного тента бункера-перегрузателя
 Fig. 2. The scheme of conveyor hopper removable tent automatization

наполнения бункера, что обуславливает необходимость оснащения бункера со съемным тентом системой автоматизации загрузки и разгрузки (рис. 2). Система автоматизации бункера-перегрузателя состоит из трех датчиков предельного уровня, которые позволяют контролировать и управлять двигателями скребкового конвейера бункера-перегрузателя и двигателем хода проходческо-очистного комбайна.

Датчик предельного уровня № 1 сигнализирует о необходимости приведения в действие донного скребкового конвейера бункера-перегрузателя для равномерного распределения добытой руды вдоль корпуса бункера-перегрузателя.

Датчик предельного уровня № 2 сигнализирует о необходимости остановки двигателя донного скребкового конвейера бункера-перегрузателя после равномерного распределения руды по кузову во избежание просыпи руды на почву.

Датчик предельного уровня № 3 сигнализирует о необходимости остановки процесса загрузки руды вследствие полного заполнения кузова бункера-перегрузателя.

Для оценки эффективности применения описанного технического решения авторами изготовлен и испытан прото-



Рис. 3. Прототип съемного тента на бункере-перегрузателе
 Fig. 3. The prototype of removable tent for conveyer hopper

тип тента из тканевого материала (см. рис. 3). Исследования выполнялись на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (г. Березники, Пермский край). Использовалось оборудование механизированного комбайнового комплекса, в состав которого входил проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р-12», бункер-перегрузатель БП17 и шахтный самоходный вагон ВС17.

Исследование состояло из двух серий замеров, выполняемых на рабочем месте машиниста проходческо-очистного комбайна.

Первая серия замеров выполнялась при работе проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» глухим забоем с бункером-перегрузателем БП17 штатной конструкции. Скорость подачи комбайна изменялась в диапазоне от 0 до 0,165 м/мин. Соответственно производительность комбайна изменялась в диапазоне от 0 до 5,4 т/мин.

Вторая серия замеров была выполнена в аналогичном объеме, но при оснащении бункера-перегрузателя прототипом съемного тента (рис. 3).

Комбайн работал полным сечением исполнительного органа со скоростью подачи на забой в диапазоне от 0 до 0,175 м/мин, то есть производительность изменялась в диапазоне от 0 до 5,73 т/мин. В обеих сериях замеров угол наклона выработки составлял $+3^\circ$ (комбайн двигался вверх).

Испытания проводились с использованием прибора контроля запыленности воздуха ПКА-01, предназначенного для измерения массовой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при технологическом контроле чистоты воздуха.

Принцип действия прибора ПКА-01 основан на определении аэродинамического сопротивления фильтрующего элемента за счет падения объемного расхода прокачиваемой пробы. Время отбора обусловлено значением массовой концентрации аэрозоля и ограничивается предельным значением аэродинамического сопротивления при высоких концентрациях. С помощью встроенного процессора массовый расход пересчитывается в массовую концентрацию аэрозольных частиц, которая визуализируется на цифровом табло прибора.

Электрическое питание прибора ПКА-01 осуществляется от заряжаемого NiMH аккумуляторного блока. Время работы без подзарядки не менее 4 ч.

Прибор ПКА-01 имеет маркировку взрывозащиты PO Ex ia I.

Основные метрологические характеристики прибора ПКА-01:

- диапазон показаний массовой концентрации пыли — 0 – 5000 мг/м³;
- диапазон измерений массовой концентрации пыли — 2 – 1000 мг/м³;
- пределы допускаемой приведенной погрешности в диапазоне от 2 до 100 мг/м³ — ±25%;
- пределы допускаемой относительной погрешности в диапазоне свыше 100 до 1000 мг/м³ — ± 25%.

Скорость подачи комбайна на забой определялся на основании информации о пройденных комбайном отрезках пути l_i и соответствующих им длительностях временных интервалов t_i .

Пройденный комбайном путь измерялся в ходе проведения замеров с помощью рулетки. Отрезки времени определялись с помощью секундомера.

Скорость подачи комбайна на i -м участке вычисляется по формуле

$$V_i = \frac{60l_i}{t_i} \quad (1)$$

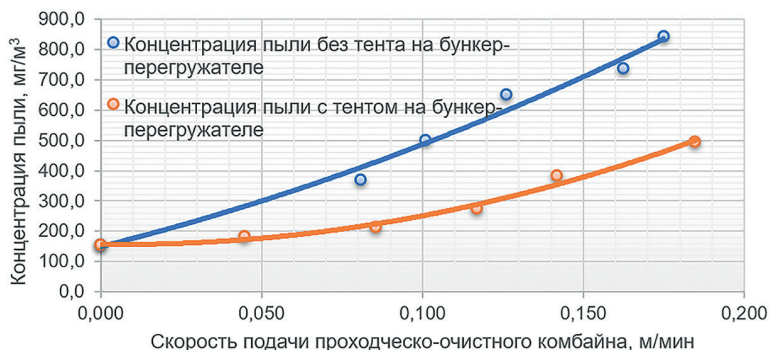


Рис. 4. Результаты замеров концентрации пыли на рабочем месте машиниста проходческо-очистного комбайна при наличии и без прототипа съёмного тента

Fig. 4. The measurements results of dust concentration on heading-and-winning machine operator's workplace with removable tent and without it

Результаты замеров фиксировались в журнале экспериментов для дальнейшей обработки и анализа.

Результаты исследования

Результаты замеров, выполненных в ходе экспериментальных исследований при работе комбайнового комплекса при добыче калийной руды, приведены на рис. 4.

Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении скорости подачи проходческо-очистного комбайна растет его производительность и, соответственно, повышается объем перегружаемой в бункер-перегрузатель массы руды, что обуславливает увеличение концентрации витающей пыли на рабочем месте машиниста.

В момент остановки проходческо-очистного комбайна значение концентрации пыли одинаковое, как при наличии прототипа съёмного тента, так и без него. При отсутствии подачи проходческо-очистного комбайна на забой перегрузка руды из призабойного пространства в бункер-перегрузатель не осуществляется. Витающая пыль в указанном случае образуется в результате перемещения отбитой руды исполнительными органами комбайна и проникает в ат-

мосферу выработки через неплотности щитового ограждения.

При увеличении скорости подачи проходческо-очистного комбайна концентрация пыли увеличивается в обеих сериях замеров, но при наличии съемного тента концентрация взвешенной пыли в атмосфере выработки на рабочем месте машиниста комбайна меньше в среднем на 30%.

Заключение

В статье проанализированы основные способы борьбы с витающей пылью в очистных камерах калийных рудниках при работе механизированных комбайновых комплексов. Каждый из рассмотренных способов имеет свои преимущества, а также недостатки, связанные с увеличением стоимости ведения горных работ и снижением производительности комбайнового комплекса.

С целью снижения пылеобразования в очистной камере предложена модернизация бункера-перегрузателя в части оснащения его съемным тентом.

Изготовлен прототип и проведены экспериментальные исследования с вы-

полнением замеров концентрации витающей пыли на рабочем месте машиниста проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» при различных производительностях комбайна с использованием бункера-перегрузателя штатной конструкции и при установке на бункер съемного тента.

По результатам исследования показано, что установка съемного тента на бункере-перегрузателе позволяет снизить концентрацию витающей пыли на рабочем месте машиниста проходческо-очистного комбайна в среднем на 30%.

Применение съемного тента не требует существенных затрат на модернизацию оборудования и не снижает производительность комбайнового комплекса. Учитывая, что перегрузка руды из бункера-перегрузателя в шахтный самоходный вагон также сопровождается интенсивным пылеобразованием; разработка съемных тентов, систем автоматизации загрузки-разгрузки, а также модернизация кузовов шахтных самоходных вагонов являются актуальными научными задачами, решение которых представляет практический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. В., Шмакин И. Г. Обоснование рациональных параметров режущих органов комбайнов типа «Урал» // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — № 4. — С. 49—52.

2. Максимов А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. — Екатеринбург, 2019. — 18 с.

3. Martell J., Guidotti T. L. Trading one risk for another: consequences of the unauthenticated treatment and prevention of silicosis in Ontario miners in the McIntyre Powder Aluminum Inhalation Program // New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy. 2022, vol. 31, no. 4, pp. 422—433.

4. Hutsich E. A., Kosiachenko G. E., Sychik S. I. Peculiarities of morbidity and assessment of occupational health risks for workers who contact aerosols of man-made mineral fibers // Health Risk Analysis. 2019, no. 4, pp. 113—121. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.12.eng.

5. Семенов В. В. Обоснование и выбор параметров исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов нового поколения для добычи калийных руд: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. — Тула, 2011. — 23 с.

6. Исаевич А. Г., Чайковский И. И., Поляков И. В. Особенности формирования пылевой обстановки в комбайновом забое глубокого калийного рудника // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2021. — № 4. — С. 539—550.

7. Трифанов М. Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. — Екатеринбург, 2018. — 15 с.

8. Чекасов Н. В., Сидякин Д. А. Определение рациональных параметров шнекового погрузчика // Горное оборудование и электромеханика. — 2010. — № 7. — С. 52—53.

9. Семенов В. В., Шмакин И. Г., Жабин А. Б., Чеботарёв П. Н. Обоснование параметров и выбор резцов исполнительного органа проходческо-очистного комбайна для добычи калийных руд «Урал-61» // Известия ТулГУ. Естественные науки. — 2009. — № 3. — С. 300—309.

10. Трифанов М. Г. Контроль параметров работы и оценка технического состояния приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» / Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: сборник трудов II Международной научно-практической конференции. Т II. — СПб., 2014. — С. 82—85.

11. Чекасов Н. В., Чистяков А. Н., Мальчер М. А., Трифанов М. Г., Лаук В. В. Особенности расчета и увеличение производительности скребковых конвейеров проходческо-очистных комбайнов // Горное оборудование и электромеханика. — 2006. — № 7. — С. 8—10.

12. Морозова О. В. Анализ рудничной атмосферы на запыленность при добыче и транспортировании калийно-магниевых руд в шахтах и рудниках // Международный журнал перспективных исследований. — 2021. — Т. 11. — № 1-1. — С. 25—36.

13. Земсков А. Н., Лискова М. Ю., Гайдин А. М. Способы и средства борьбы с сероводородом в рудничном воздухе и в подземных водах // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2021. — № 1. — С. 91—100.

14. Медведев И. И., Красноштейн А. Е. Аэрология калийных рудников. — Свердловск: УрО РАН, 1990. — 250 с.

15. Файнбург Г. З. Проблемы становления новой парадигмы проветривания системы горных выработок рудных шахт // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2024. — № 1. — С. 450—465.

16. Semin M., Ivantsov A., Lyubimova T., Isaevich A., Sukhanov A. Analyzing the impact of heat emissions from the borer miner on the efficiency of the exhaust ventilation system in a blind heading // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2024, vol. 235, pp. 126—183. DOI: 10.1016/j.ijheat-masstransfer.2024.126183.

17. Медведев И. И., Красноштейн А. Е. Борьба с пылью в калийных рудниках. — М.: Недра, 1977. — 192 с.

18. Isaevich A., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T. Study on the dust content in dead-end drifts in the potash mines for various ventilation modes // Sustainability. 2022, vol. 14, no. 5, article 3030. DOI: 10.3390/su14053030.

19. Файнбург Г. З. Ключевые проблемы цифровизации процессов проветривания многосвязных систем подземных горных выработок // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2024. — № 4. — С. 671—685.

20. Roghanch P., Kocsis K. C. Improving the climatic conditions in development and production workings of hot underground mines by redesigning the auxiliary ventilation system: a case study // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2017, vol. 8, no. 4, pp. 280—293. DOI: 10.1504/IJMME.2017.10008864. **PLoS**

REFERENCES

1. Semenov V. V., Shmakin I. G. Substantiation of rational parameters of cutting units of «Ural» type heading-and-winning machines. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2008, no. 4, pp. 49—52. [In Russ].

2. Maksimov A. B. *Obosnovanie parametrov porodorazrushayushchikh ispolnitel'nykh organov i pogruzochnogo oborudovaniya prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural-20R»* [Substantiation of parameters of rock-destroying executive bodies and loading equipment of Ural-20R sinking and cleaning combines], Candidate's thesis, Perm, 2019, 18 p.

3. Martell J., Guidotti T. L. Trading one risk for another: consequences of the unauthenticated treatment and prevention of silicosis in Ontario miners in the McIntyre Powder Aluminum Inhalation Program. *New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*. 2022, vol. 31, no. 4, pp. 422—433.

4. Hutsich E. A., Kosiachenko G. E., Sychik S. I. Peculiarities of morbidity and assessment of occupational health risks for workers who contact aerosols of man-made mineral fibers. *Health Risk Analysis*. 2019. no 4, pp. 113 – 121. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.12.eng.

5. Semenov V. V. *Obosnovanie i vybor parametrov ispolnitel'nykh organov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov novogo pokoleniya dlya dobychi kaliynykh rud* [Substantiation and choice of the parameters of the executive bodies of the new generation heading-and-winning machines for the production of potassium ores], Candidate's thesis, Tula, 2011, 23 p.

6. Isaevich A. G., Tchaikovsky I. I., Polyakov I. V. Features of the formation of dust conditions in the combine face of a deep potash mine. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2021, no. 4, pp. 539 – 550. [In Russ].

7. Trifanov M. G. *Otsenka nagruzhenosti privodov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural-20R» dlya vybora tekhnicheskoi obosnovannykh rezhimov raboty v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii* [Evaluation of the load capacity of drive units of heading-and-winning machines «Ural-20P» for choice of technically valid operating modes in real operating conditions], Candidate's thesis, Ekaterinburg, 2018, 15 p.

8. Chekmasov N. V., Sidiyakin D. A. Determining the rational parameters of a screw loader. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2010, no. 7, pp. 52 – 53. [In Russ].

9. Semenov V. V., Shmakin I. G., Zhabin A. B., Chebotarev P. N. Substantiation of parameters and choice of cutters of the executive body of the Ural-61 tunneling and cleaning combine for the extraction of potash ores. *News of the Tula state university. Natural Sciences*. 2009, no. 3, pp. 300 – 309. [In Russ].

10. Trifanov M. G. *Kontrol' parametrov raboty i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya privodov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural-20R»* [Control of operating parameters and evaluation of technical condition of drive units of the heading-and-winning machines «Ural-20R», Materials of the II International Scientific and Practical Conference], Saint-Petersburg, 2014, vol. II, pp. 82 – 85. [In Russ].

11. Chekmasov N. V., Shishlyannikov D. I., Demin V. M. Improving the efficiency of loading potash ore during the operation of sinking and cleaning combines. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2016, no. 6, pp. 4 – 10. [In Russ].

12. Morozova O. V. Analysis of the mine atmosphere for dustiness during extraction and transportation of potassium-magnesium ores in mines and mines. *International Journal of Advanced Research*. 2021, vol. 11, no. 1-1, pp. 25 – 36. [In Russ].

13. Zemskov A. N., Leskova M. Yu., Gaidin A. M. Methods and means of combating hydrogen sulfide in mine air and in groundwater. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2021, no. 1, pp. 91 – 100. [In Russ].

14. Medvedev I. I., Krasnoshtein A. E. *Aerologiya kaliynykh rudnikov* [Aerology of potash mines], Sverdlovsk, 1990, 250 p.

15. Fajnborg G. Z. Problems of establishing a new paradigm for the ventilation system of mines. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2024, no. 1, pp. 450 – 456. [In Russ].

16. Semin M., Ivantsov A., Lyubimova T., Isaevich A., Sukhanov A. Analyzing the impact of heat emissions from the borer miner on the efficiency of the exhaust ventilation system in a blind heading. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024, vol. 235, pp. 126 – 183. DOI: 10.1016/j.ijheat-masstransfer.2024.126183.

17. Medvedev I. I., Krasnoshtein A. E. *Bor'ba s pyl'yu v kaliynykh rudnikakh* [Dust control in potash mines], Moscow, Nedra, 1977, 192 p. [In Russ].

18. Isaevich A., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T. Study on the dust content in dead-end drifts in the potash mines for various ventilation modes. *Sustainability*. 2022, vol. 14, no. 5, article 3030. DOI: 10.3390/su14053030.

19. Feinburg G. Z., Isaevich A. G., Zaitsev A. V. Improving the efficiency of ventilation of dead-end combine mine workings of potash mines by the dust factor. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2024, no. 4, pp. 671 – 685. [In Russ].

20. Roghanch P., Kocsis K. C. Improving the climatic conditions in development and production workings of hot underground mines by redesigning the auxiliary ventilation system: a case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2017, vol. 8, no. 4, pp. 280 – 293. DOI: 10.1504/IJMME.2017.10008864.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сенькин Антон Викторович¹ – аспирант,
e-mail: senkin.anton59@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0007-2910-6211,
Исаевич Алексей Геннадьевич^{1,2} – д-р техн. наук,
и.о. зав. кафедрой; ведущий научный сотрудник,
e-mail: aero_alex@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3759-5514,
Шишлянников Дмитрий Игоревич¹ – д-р техн. наук,
профессор, e-mail: dish844@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-7395-6869,
Тюбеев Ибрагим Хизирович¹ – аспирант,
e-mail: tyubeev2001@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0006-8772-7107,
Бруев Никита Андреевич² – инженер отдела АТ,
e-mail: nikitabruevv@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0006-4013-8225,

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

² Горный институт Уральского отделения РАН – филиал Пермского
федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН.

Для контактов: Сенькин А.В., e-mail: senkin.anton59@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A. V. *Senkin*¹, Graduate Student,
e-mail: senkin.anton59@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0007-2910-6211,
A. G. *Isayevich*^{1,2}, Dr. Sci. (Eng.), Acting Head of Chair;
Leading Researcher, e-mail: aero_alex@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3759-5514,
D. I. *Shishlyannikov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: dish844@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-7395-6869,
I. H. *Tyubeev*¹, Graduate Student,
e-mail: tyubeev2001@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0006-8772-7107,
N. A. *Bruev*², Engineer,
e-mail: nikitabruevv@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0006-4013-8225,

¹ Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia,

² Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences –
branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Perm Federal Research Center
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.

Corresponding author: A.V. Senkin, e-mail: senkin.anton59@gmail.com.

Получена редакцией 30.05.2025, получена после рецензии 20.10.2025, принята к печати 10.05.2026.

Received by the editors 30.05.2025, received after the review 20.10.2025, accepted for printing 10.05.2026.

