

УДК 622.23.05

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕКРЕСТНОЙ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ И НЕОБОГАТИМЫХ ФРАКЦИИ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧЕ КАЛИЙНОЙ РУДЫ

Суханов Андрей Евгеньевич<sup>1</sup>,  
andy1997sae@gmail.com

Шишлянников Дмитрий Игоревич<sup>2</sup>,  
4varjag@mail.ru

Исаевич Алексей Геннадьевич<sup>1</sup>,  
aero\_alex@mail.ru

<sup>1</sup> Горный институт УрО РАН,  
Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78-А.

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

**Актуальность.** Добыча калийной руды с использованием проходческо-очистных комбайнов характеризуется высокой степенью пылевыведения в призабойной зоне. Основными источниками пылевыведения являются процессы разрушения массива, погрузки отбитой горной массы и перегрузки руды. Длительное нахождение горнорабочих в зоне с превышением предельно допустимых концентраций по калийной пыли в атмосфере выработки негативно сказывается на их здоровье. С точки зрения экономических потерь переизмельчение руды также имеет негативный эффект. Частицы полезного компонента размером менее 250 мкм не поддаются обогащению и уходят в отвал. Зачастую количество необогатимой руды при поступлении на обогатительную фабрику достигает 18 % от общей массы. В связи с этим актуальной является разработка мер по снижению концентрации пыли, выделяемой при функционировании проходческо-очистного комбайна, в рабочей зоне машиниста и снижению количества необогатимой фракции в добываемой руде.

**Цель** данного исследования заключается в разработке и внедрении мероприятий по изменению исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, которые будут способствовать снижению пылевыведения в призабойной рабочей зоне калийных рудников.

**Объектом** исследования является исполнительный орган проходческо-очистного комбайна с режущим инструментом.

**Результаты.** Предлагаются технические решения по совершенствованию механической конструкции исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов калийных рудников. Перспективный плоский планетарно-дисковый исполнительный орган позволит реализовать на поверхности калийного массива перекрестную схему резания и разрушать забой последовательными элементарными сколами устойчивой формы, что обуславливает снижение удельных энергозатрат на процесс отделения калийной руды от массива и уменьшение количества пылевидных классов в продуктах отбойки.

### Ключевые слова:

калийная соль, проходческо-очистной комбайн, режущий инструмент, планетарно-дисковый исполнительный орган, перекрестная схема резания, предельно допустимая концентрация, микроклимат рабочей зоны рудников, фракционный состав калийной пыли.

### Введение

Добыча калийной руды на территории Российской Федерации и стран Таможенного союза в настоящее время ведется с использованием проходческо-очистных комбайнов, способных разрушать калийный массив с высокой производительностью. Данный способ выемки полезного ископаемого сопровождается высоким уровнем концентрации вредных мелкодисперсных частиц в призабойном пространстве очистной выработки. Образование пылевидных частиц происходит на этапах разрушения горного массива, погрузки отбитого продукта шнеками и дальнейшей перегрузки руды в шахтный самоходный вагон [1]. В связи с этим актуальной является научно-исследовательская задача по разработке мероприятий, способствующих снижению пылевыведения от добычной машины. Решение данной проблемы позволит повысить уровень безопасности горнорабочих и снизить потери полезного продукта на этапе добычи.

Вопросам патофизиологического влияния калийной пыли на здоровье работников шахт посвящены работы А.Е. Красноштейна, И.И. Медведевой, И.И. Николаевой, М.М. Сметанина, С.Н. Доценко и т. д. [2–4]. Вопросом влияния пыли на здоровье горнорабочих занимались и за рубежом [5–11].

Концентрация мелкодисперсных частиц в рабочей зоне добычного комбайна может достигать  $2 \text{ г/м}^3$ , при том что ПДК составляет  $5 \text{ мг/м}^3$ . Анализ литературных источников [12] показывает, что сильвинитовая пыль, образующаяся при работе горных комбайнов, имеет высокую степень дисперсности. До 80 % витающей пыли имеет размер менее 5 мкм и легко проникает в дыхательные органы человека.

Сотрудниками лабораторий Аэрологии и теплофизики, а также Геологии полезных ископаемых Горного института Уральского отделения Российской академии наук был проведен анализ фракционного состава калийной пыли. При исследовании использовался микроскоп VEGA 3 LMH (Tescan) с системой

рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20. Пробы отбирались на рудниках Старобинского месторождения предприятия ОАО «Беларуськалий». Результат исследований показал, что в пробах содержатся остроугольные частицы галита – 84,3 %, сильвина – 14 %, кальцита – 1,7 %, а также небольшое содержание глинистых материалов и кварца.

На горнодобывающих предприятиях Верхнекамского и Старобинского месторождения калийных солей проводились исследования выявляемости про-

фессиональных заболеваний среди горнорабочих [13, 14]. Наиболее высокие показатели профессиональных заболеваний были связаны с высоким уровнем запыленности рабочего места (рис. 1). Как правило, под воздействие высокой концентрации пыли попадают профессии I группы: к ним относятся машинисты комбайнов, машинисты самоходных вагонов, бурильщики, скреперисты и др. Их показатель заболеваемости болезнями в среднем в 1,95 раз выше, чем у трудящихся II группы, пребывание которых в запыленной атмосфере носит эпизодический характер.

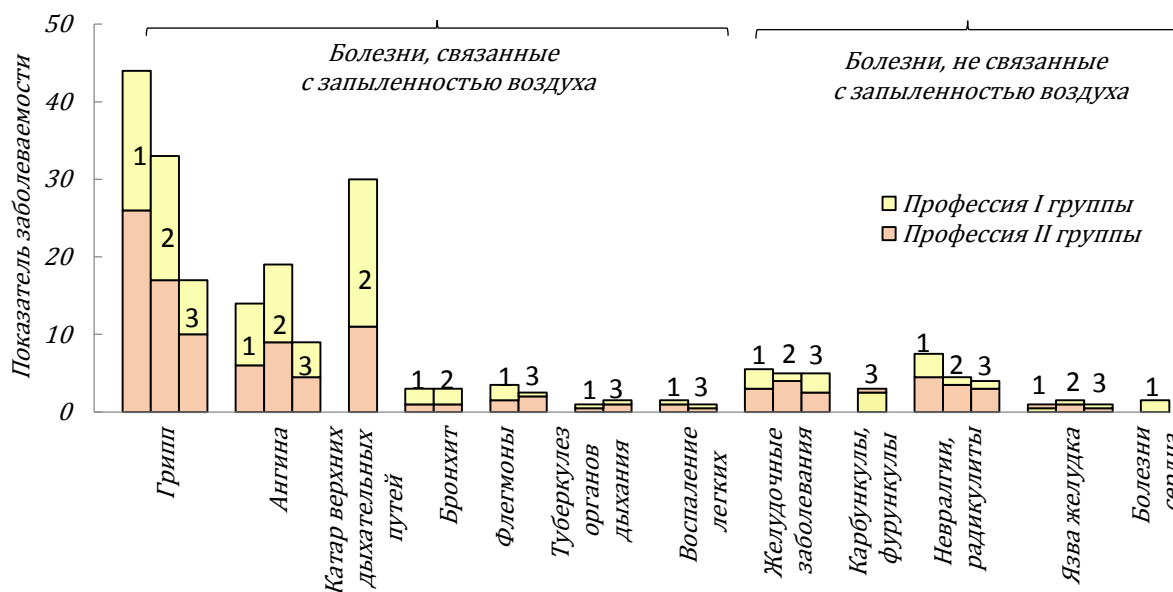


Рис. 1. Динамика заболеваемости горнорабочих на исследуемых рудниках: 1 – СКРУ-1; 2 – БКПРУ-1; 3 – Первое Солигорское рудоуправление

Fig. 1. Dynamics of morbidity among miners at the studied mines: 1 – SKRU-1; 2 – BKPRU-1; 3 – First Soligorsk Mining Administration

Несмотря на то, что калийная пыль не обладает ярко выраженными токсическими свойствами, долгое пребывание человека в зоне с концентрацией пыли в воздухе выше, чем ПДК, повышает уровень возникновения профессиональных заболеваний в 1,5...2 раза. У человека в организме возрастает уровень калия и натрия, а также увеличивается частота респираторных заболеваний [15–17]. Пребывание же людей в рабочих зонах калийных рудников с относительно невысокой запыленностью (50...60 мг/м<sup>3</sup>) не оказывает значительного влияния на организм шахтеров. Более того, вдыхание относительно небольших доз калийных аэрозолей оказывает лечебное воздействие на организм человека [3].

Выход пылевидных частиц напрямую зависит от количества мелкой необогатимой фракции. Частицы калийной руды размером менее 250 мкм не поддаются обогащению. Анализ исследований сотрудников кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) показал, что процентное содержание таких частиц при поступлении на обогатительную фабрику может достигать 18 % [1, 18]. Данные потери влекут за собой значительные экономические

убытки для горнодобывающих предприятий. Таким образом, разработка и внедрение мероприятий по снижению выхода пылевидных частиц, образующихся при работе комбайна, не только улучшит микроклиматические условия для горнорабочих, но и будет способствовать росту экономической прибыли предприятия.

Целью данного исследования является разработка и внедрение мероприятий по изменению исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, которые будут способствовать снижению пылевыведения в призабойной рабочей зоне калийных рудников. Предполагается, что изменение параметров исполнительных органов комбайна и изменение схемы резания повлекут за собой снижение выхода труднообогатимого класса [19], а также снижение концентрации пылевидных частиц, способных негативно воздействовать на горнорабочих.

В работах [20, 21] предложено использование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, которые реализуют перекрестную сетку резов при разрушении калийного массива. Такая схема резания позволяет формировать на поверхности разрушаемого забоя области, отделяемые от массива

устойчивыми сколами заданной крупности, что обуславливает существенное снижение пылевыделения при работе проходческо-очистного комбайна.

#### Содержательная постановка задачи

Добыча калийной руды осуществляется механизированными комбайновыми комплексами, в состав которых входят: проходческо-очистной комбайн (оснащенный, как правило, исполнительным органом бурового типа); бункер – перегружатель; шахтный самоходный вагон. Исполнительный орган проходческо-очистного комбайна посредством режущего инструмента внедряется в калийный массив и разрушает его. Продукты резания подбираются с почвы выработки погрузочным оборудованием, которое обычно выполнено в виде шнеков. Шнеки транспортируют отбитую горную породу с почвы выработки к разгрузочному окну, за которым находится скребковый конвейер. Далее руда грузится в бункер-перегрузатель и, наконец, после бункера-перегрузателя попадает в самоходный вагон.

Основные этапы механизированной добычи руды сопровождаются интенсивным пылеобразованием в призабойной рабочей зоне.

Разрушение калийной руды резанием – это случайный процесс циклического чередования фаз контактного дробления и образования последовательных элементарных сколов. Отделение крупного элементарного скола от массива происходит вследствие образования магистральной трещины [22, 23]. На сегодняшний день не существует прямых зависимостей, которые бы позволили аналитически рассчитать количество того или иного класса руды (по крупности) в продуктах отбойки. На интенсивность образования пылевых частиц большое влияние оказывают такие факторы, как параметры установки резцов на исполнительном органе, скорость резания, глубина резания  $t$ , шаг резания  $h$  и их соотношение  $t/h$ , схема резания, а также физико-механические свойства калийного массива.

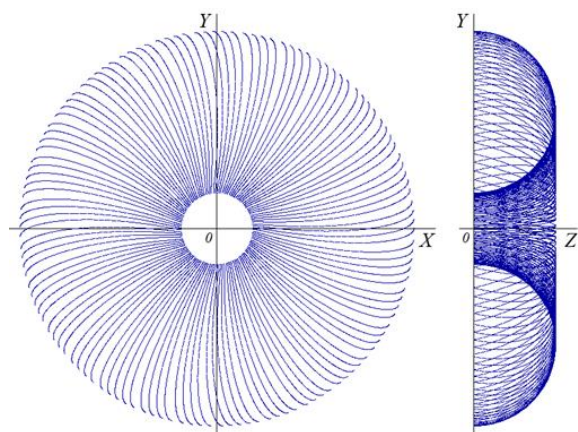


Рис. 2. Схема резания горного массива планетарно-дисковым исполнительным органом комбайна «Урал-20Р»

Fig. 2. Scheme of cutting rock mass with the planetary-disk executive body of the combine «Ural-20R»

Широко применяемые в настоящее время на рудниках России проходческо-очистные комбайны «Урал-20Р» реализуют резание массива радиальными резами, направленными от центра к периферии забоя (рис. 2). При этом центральная часть забоя разрушается последовательными резами, средняя (большая) часть – шахматными резами, а периферийная часть забоя – блокированными резами малой толщины.

Разрушение забоя происходит стружками серповидной формы. В периферийной и центральных частях забоя расположены зоны интенсивного пылеобразования руды, где разрушение массива осуществляется стружками с малой толщиной.

#### Исследование процесса интенсивности выделения соляной пыли

При нагнетательном способе проветривания тупикового забоя для калийной пыли характерно оседание мелкодисперсных частиц по всей длине очистной выработки. Сотрудниками отдела Аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук выполнен ряд замеров концентрации пыли в разных местах очистной выработки длиной 150 м. Ближе к устью тупиковой выработки был выбран ряд точек, в которых производилось измерение массовой концентрации пыли (рис. 3).

Такое расположение замерных точек принято в связи с тем, что в области устья очистной выработки наблюдается устойчивое движение воздуха без возникновения турбулентных завихрений. Источником пылевыделения является проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р».

Результаты замеров представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что даже в начале тупиковой выработки массовая концентрация соляной пыли превышает величину ПДК.

Анализ литературных источников показал, что интенсивность пылеобразования зависит от множества технических параметров добычного комбайна, таких как скорость подачи комбайна на забой, угол атаки реза, толщина стружки, геометрия оградительного щита, качество его герметизации и т. д. Резюмируя сказанное, интенсивность пылеобразования зависит от производительности добычной машины, микроклиматической обстановки в рабочей зоне и иных факторов.

Для исследования влияния производительности добычной машины на интенсивность пылевыделения в тупиковом забое были произведены замеры массовой концентрации соляной пыли в рабочей зоне машиниста горновыемочной машины (МГВМ). Объектом пылевыделения по-прежнему являлся проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р». Рабочая зона проветривалась нагнетательным способом. Скорость свежего воздуха на выходе из вентиляционного става составляла 7,18 м/с, а скорость воздуха между горным комбайном и бортом выработки – 2,3 м/с. Результаты замеров представлены таблице.

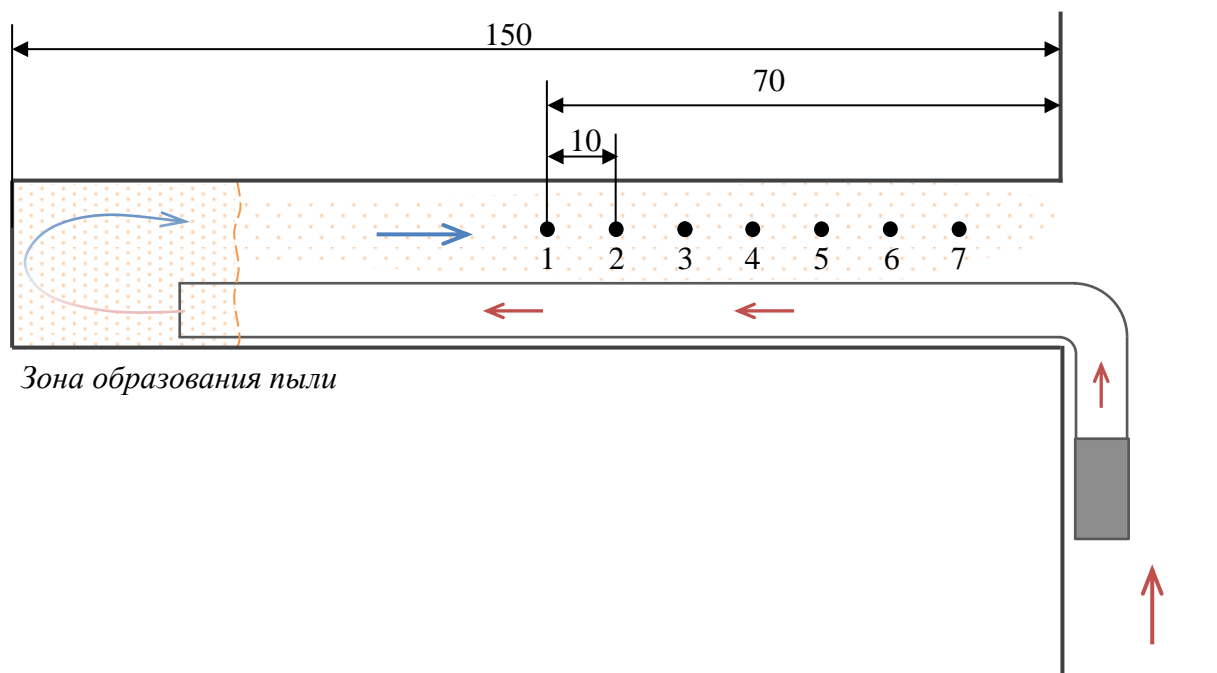


Рис. 3. Расположение замерных точек в очистной выработке длиной 150 м

Fig. 3. Location of measuring points in a stope of 150 meters long



Рис. 4. Результаты измерения массовой концентрации пыли в очистной выработке

Fig. 4. Results of measuring dust mass concentration in the stope

**Таблица.** Результаты замеров массовой концентрации пыли в рабочей зоне МГВМ при разных производительностях добычной машины «Урал-20Р»

**Table.** Results of measurements of dust mass concentration in the working area of the combine driver at different capacities of the mining machine «Ural-20R»

| Производительность комбайна «Урал-20Р»<br>Combine «Ural-20R» productivity  | 1,64          | 2,18  | 4,67  |
|--|---------------|-------|-------|
|  | т/мин (t/min) |       |       |
| Концентрация пыли в рабочей зоне, мг/м <sup>3</sup><br>Dust concentration in the working area, mg/m <sup>3</sup> | 157,6         | 167,7 | 194,6 |
| Предельно-допустимая концентрация, мг/м <sup>3</sup><br>Maximum permissible concentration, mg/m <sup>3</sup>     | 5             |       |       |

При работе проходческо-очистного комбайна на холостом ходу концентрация пыли снижалась, но по-прежнему превышала значения ПДК. Это связано с тем, что комбайны «Урал-20Р» оснащены десятью приводами, каждый из которых имеет воздушный обдув. Работы системы охлаждения электродвигателей и поток воздуха из вентиляционного става способствовали поддержанию в воздухе рабочей зоны некоторого количества пыли (порядка 50 мг/м<sup>3</sup>) за счет поднятия уже осевшей пыли и выноса небольшого её количества из-за щита.

Проходческо-очистные комбайны для калийных рудников оснащены системами пылеотсоса. Работа пылеотсоса добычной машины без специального пылесборника значительно ухудшает микроклиматические параметры рабочей зоны МГВМ, поскольку при слия-

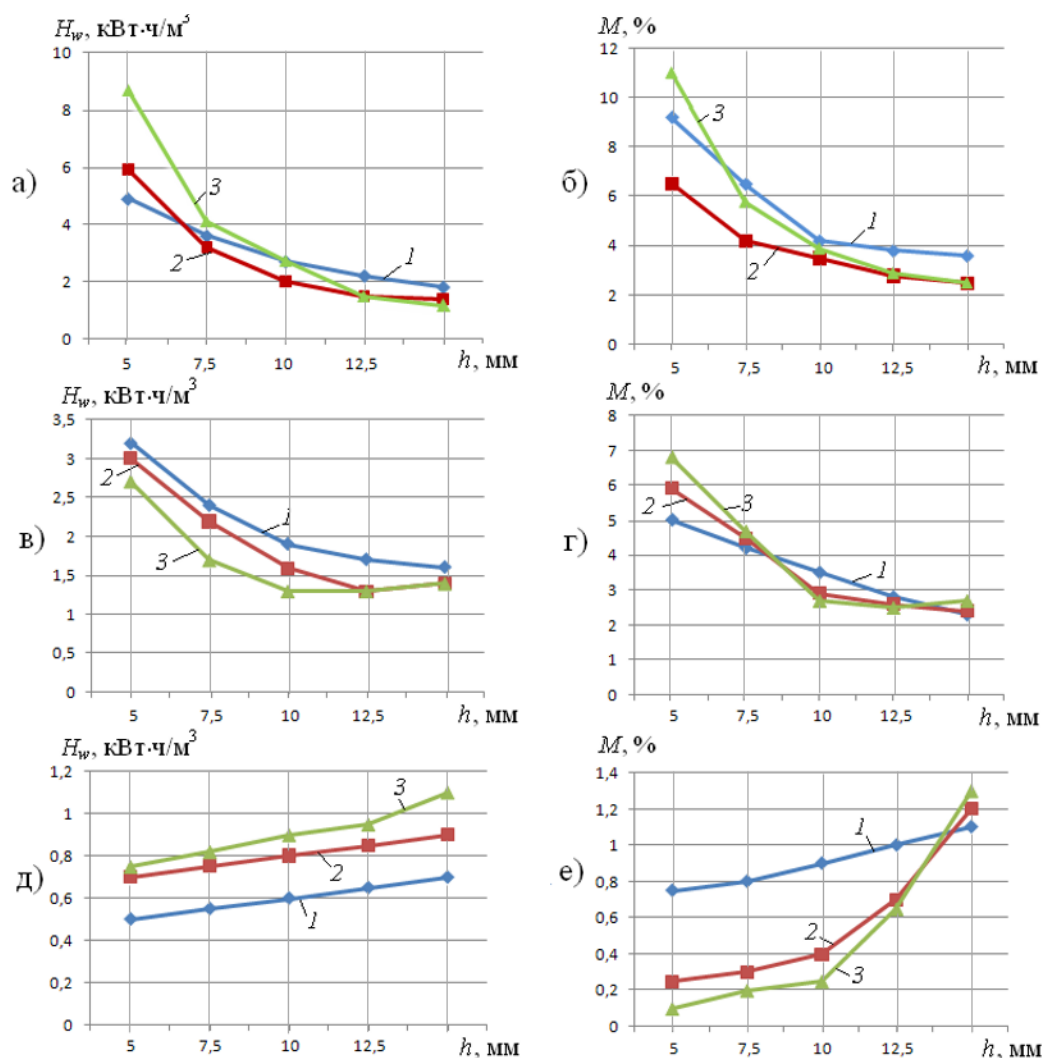
нии потоков воздуха из вентиляционного стоа вентилятора местного проветривания (ВМП) и выхлопа вентилятора системы пылеотсоса происходит хаотичное завихрение мелкодисперсных частиц. Образующийся вихрь возвращает значительную часть запыленного воздуха к рабочему месту машиниста комбайна. Особенно это проявляется в момент перегрузки отбитой горной массы с бункера перегружателя в самоходный вагон. Такие процессы значительно снижают видимость и ухудшают санитарно-гигиенические условия работы людей, которые находятся в зоне влияния хаотичного движения пылевидных соляных частиц.

Анализируя результаты исследований, можно сделать вывод, что при работе добычного комбайна превышение ПДК соляной пыли характерно для любой точки тупикового забоя. Высокие концентрации пыли негативно влияют на здоровье горнорабочих и ухудшают условия труда. В связи с этим необходимо при-

менять меры по снижению интенсивности пылевыведения при работе проходческо-очистных комбайнов.

#### Предлагаемые технические решения

Сотрудниками кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета совместно с сотрудниками Санкт-Петербургского горного университета были проведены исследования, целью которых было сравнение параметров перспективной перекрестной схемы резания с существующими схемами, применяемыми в настоящее время [24]. Результаты исследований показали, что использование перспективной перекрестной схемы резания, в сравнении с традиционными (шахматной и последовательной) схемами, позволит добиться снижения энергозатрат на разрушение массива и снизить выход мелких пылевидных классов (рис. 5).



**Рис. 5.** Графики зависимости резания резца Д-6.22 от толщины стружки  $h$  и шага резания  $t$ : а, в, д) зависимость удельных энергозатрат от толщины стружки и шага резания; б, г, е) зависимость числа небогатых классов от толщины стружки и шага резания; а, б) последовательная схема резания; в, г) шахматная схема резания; д, е) перекрёстная схема резания; 1 –  $t=30$  мм; 2 –  $t=40$  мм; 3 –  $t=50$  мм

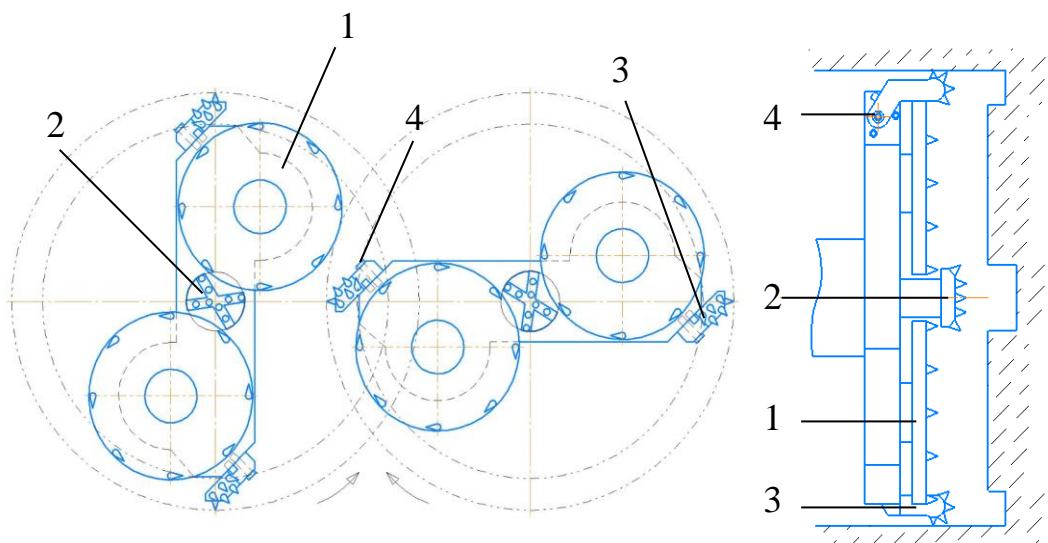
**Fig. 5.** Graphs dependence of the cutter D-6.22 cutting on the thickness of the chip  $h$  and the cutting step  $t$ : а, в, д) dependence of specific energy consumption on chip thickness and cutting step; б, г, е) dependence of the number of non-enriched classes on chip thickness and cutting step; а, б) sequential cutting scheme; в, г) chess cutting scheme; д, е) cross cutting scheme; 1 –  $t=30$  mm; 2 –  $t=40$  mm; 3 –  $t=50$  mm

При перекрестной схеме резания разрушение каждого последующего слоя руды осуществляется резами, которые пересекаются под определённым углом с резами предыдущего слоя. Образование последовательных элементарных сколов в срезе приобретает более упорядоченный характер и начинает определяться параметрами и расположением пересекающихся резов. В результате на забое образуются области локальных ослаблений и концентрации напряжений. Сложное сечение стружки и наличие зон локализованных ослаблений обуславливает появление в срезе областей, разрушаемых сколами с устойчивыми значениями параметров, характеризующих их. Иначе говоря, при разрушении последующих слоёв образованные участки будут отделяться от массива единичными устойчивыми сколами с заданными параметрами.

Экспериментально доказано, что снижение удельных энергозатрат на разрушение массива при обработке каждого последующего слоя достигается за счет использования созданных ослаблений и трещин, оставшихся после резания предыдущего слоя.

Снижение объема раздробленной породы обуславливает уменьшение удельных энергозатрат на разрушение калийного массива, а также снижение массовой доли пылевидных классов в продуктах отбойки.

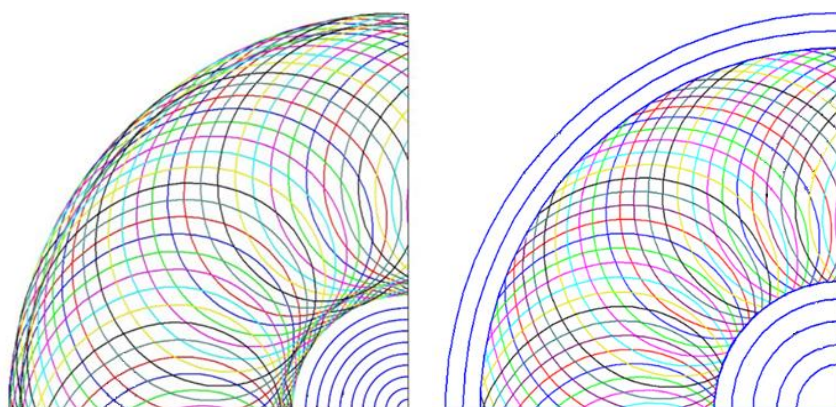
Реализация перспективной перекрестной схемы резания возможна посредством использования плоского планетарно-дискового исполнительного органа, разработанного и запатентованного авторами (рис. 6).



**Рис. 6.** Плоский планетарно-дисковый исполнительный орган. Вид спереди (слева) и сбоку (справа)  
**Fig. 6.** Flat planetary-disk executive body. Front view (left) and side view (right)

Предлагаемый исполнительный орган оборудован режущими дисками – 1, роторным забурником – 2, режущими гребенками – 3 и удерживающими от складывания гребенок фиксирующими штифтами – 4. Режущие диски крепятся на рукоятях и приводятся в движение от электродвигателей через раздаточные

редукторы. Центральная часть забоя обрабатывается посредством забурника – 2. Гребенки и роторный забурник вынесены вперед, относительно дисков. Это сделано для исключения формирования зоны интенсивного пылеобразования в периферийной и центральной частях забоя (рис. 7).



**Рис. 7.** Перекрестная схема резания плоско-дисковым исполнительным органом без гребенок (слева) и с гребенками (справа)  
**Fig. 7.** Cross cutting pattern with a flat-disk executive body without combs (left) and with combs (right)

Наличие смещения на забой роторных гребенок – 3 (рис. 8) относительно режущих дисков также способствует увеличению срока службы резцов режущих дисков – 1. При пересечении траекторий резцов режущих дисков – 1 и гребенок – 3 резцы диска выходят из контакта с забоем и проходят некоторое расстояние, не разрушая массив. За это время твердосплавная вставка резца подвергается охлаждению окружающим воздухом в выработке, что значительно увеличивает срок службы резцов.

При отгонке комбайна от забоя удерживающие гребенки – 3 штифты – 4 извлекаются и гребенки – 3 складываются в направлении к центру ротора. Также при оснащении стопорных штифтов – 4 датчиками возможна реализация системы аварийного останова исполнительного органа. При достижении критической нагрузки на исполнительный орган крепежные изделия будут разрушаться, и работа исполнительного органа будет прекращена, как следствие, приводы относительного и переносного вращения останутся в работоспособном состоянии.

Для плоского планетарно-дискового исполнительного органа присущи две траектории движения резцов. Первая – гипоциклоидная траектория, при которой вращение водила исполнительного органа и режущих дисков осуществляется в разные стороны. Применение гипоциклоидной траектории движения осложняет процесс погрузки руды и, как следствие, характеризуется существенным переизмельчением. В данном случае режущие диски будут отбрасывать отбитую породу в сторону бортов выработки от загрузочного окна скребкового конвейера комбайна. Для снижения циркуляции руды режущими дисками, а также для улучшения условий погрузки выбрана эпициклоидная траектория резца (рис. 9), когда водило и диск вращаются в одну сторону. При такой траектории движения резца вращение режущих дисков способствует улучшению условий погрузки, перемещая отбитую руду в сторону загрузочного окна.

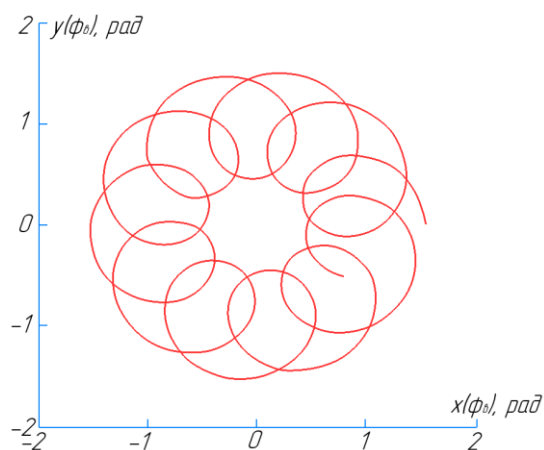


Рис. 8. Эпициклоидная траектория движения резца

Fig. 8. Epicycloid trajectory of the cutter

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов А.Б. Повышение количества обогащаемых классов в калийной руде, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и

Данное движение характеризуется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x(\varphi_{\text{в}}) = R_{\text{вод}} \cdot \cos(\varphi_{\text{в}}) + r \cdot \cos[(1+i) \cdot \varphi_{\text{в}}]; \\ y(\varphi_{\text{в}}) = R_{\text{вод}} \cdot \sin(\varphi_{\text{в}}) + r \cdot \sin[(1+i) \cdot \varphi_{\text{в}}], \end{cases}$$

где  $R_{\text{вод}}$  – радиус водила, м;  $\varphi_{\text{в}}$  – угол поворота водила, рад;  $r$  – радиус режущего диска, м;  $i$  – передаточное число.

Единичные экземпляры комбайнов с плоскими планетарно-дисковыми исполнительными органами проходят опытную эксплуатацию на рудниках ПАО «Уралкалий».

Несмотря на выявляемые недостатки опытных экземпляров, предполагается, что используемые технические решения будут способствовать улучшению условий труда машиниста горно-выемочной машины и увеличению экономической рентабельности процесса добычи за счет улучшения качества добываемой руды.

#### Заключение

В работе проведен анализ влияния высоких концентраций калийной пыли на здоровье горнорабочих. Отмечается, что долгое нахождение человека в зоне с концентрациями пыли выше, чем ПДК, повышает уровень возникновения профессиональных заболеваний в 1,5...2 раза.

Анализ потерь полезного ископаемого при его переизмельчении показал, что калийные горнодобывающие предприятия несут значительные убытки из-за высокого количества необогащаемой фракции полезного компонента, который поступает на обогатительные фабрики. Частицы размером менее 250 мкм не поддаются обогащению.

Описано исследование интенсивности пылевыведения при работе проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р». Выявлено, что при постоянной работе добычной машины и при длине тупика 150 м превышение ПДК фиксируется по всей длине выработки.

Предложены конструктивные изменения проходческо-очистных комбайнов с целью уменьшения интенсивности пылевыведения. Предполагается, что перспективный планетарный плоско-дисковый исполнительный орган позволит улучшить пылевую обстановку на рабочем месте оператора горно-выемочной машины, а также увеличить экономическую выгоду процесса разрушения массива. Последнее достигается за счет увеличения качества отбитой калийной руды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках дополнительного соглашения к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета № 075-03-2021-374/5 от 29 сентября 2021 г.

нефтепромышленного оборудования. – 2018. – Т. 1. – С. 116–122.

2. Красноштейн А. Е. и др. Наземные спелеоклиматические палаты и опыт применения при бронхиальной астме // Вопр. курортол. – 1999. – Т. 3. – С. 25–28.

3. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников. – Свердловск: АН СССР, 1990. – 250 с.
4. Файнбург Г.З. О доказательности эффективности методов спелеотерапии в калийных рудниках и спелеоклиматотерапии в сильвинитовых спелеокамерах // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей. – 2018. – С. 416–441.
5. Hasheminejad N. et al. Hazard identification and risk assessment of occupational processes in Golgohar Mining Company, South-east Iran (2021) // Journal of Occupational Health and Epidemiology. – 2022. – V. 11. – № 1. – С. 32–40.
6. Ge X. et al. Cost-effectiveness of comprehensive preventive measures for coal workers' pneumoconiosis in China // BMC health services research. – 2022. – V. 22. – № 1. – P. 1–10.
7. Mu M. et al. Coal dust exposure triggers heterogeneity of transcriptional profiles in mouse pneumoconiosis and Vitamin D remedies // Particle and fibre toxicology. – 2022. – V. 19. – № 1. – P. 1–21.
8. Zhang W. et al. Study on the distribution characteristics of dust with different particle sizes under forced ventilation in a heading face // Powder Technology. – 2022. – V. 406. – P. 117504.
9. Janjuhah H.T. et al. Integrated underground mining hazard assessment, management, environmental monitoring, and policy control in Pakistan // Sustainability. – 2021. – V. 13. – № 24. – P. 13505.
10. Shah S.C. et al. Occupational exposures and odds of gastric cancer: a StOp project consortium pooled analysis // International Journal of Epidemiology. – 2020. – V. 49. – № 2. – P. 422–434.
11. Jorgenson M., Sandlos J. Dust versus dust: aluminum therapy and silicosis in the Canadian and global mining industries // Canadian Historical Review. – 2021. – V. 102. – № 1. – P. 1–26.
12. Dose-response relationships between occupational exposure to potash, diesel exhaust and nitrogen oxides and lung function: cross-sectional and longitudinal study in two salt mines / G. Lotz, S. Plitzko, E. Gierke, U. Tittelbach, N. Kersten, W.D. Schneider // International archives of occupational and environmental health. – 2008. – V. 81. – № 8. – P. 1003–1019.
13. Медведев И.И. Проветривание калийных рудников. – М.: Недра, 1970. – 161 с.
14. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Борьба с пылью на калийных рудниках. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
15. Исаевич А.Г., Кормшиков Д.С. Исследование пылевой обстановки в условиях калийного рудника, опыт снижения запыленности атмосферы рабочих мест // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2018. – № 4. – С. 60–74.
16. 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. – V. 31. – № 4. – P. 422–433.
17. 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. – № 4. – P. 113–121.
18. Shishlyannikov D., Suhanov A. Improvement of rock-breaking tools of heading-and-winning machine of potash mines // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. – 2020. – V. 177. – P. 03018.
19. Zvonarev I.E., Shishlyannikov D.I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of «Ural-20R» heading-and-winning machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – № 87 (2). – 022055.
20. Лоскутов Л.А., Чекмасов Н.В. Совершенствование планетарно-дисковых исполнительных органов комбайнов «Урал» // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 16–17 апреля 2015. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2015. – С. 90–93.
21. Чекмасов Н.В., Немцев В.А. Обоснование направлений совершенствования проходческо-очистных комбайнов // Вестник Пермского государственного технического университета. Нефть и газ. – 2005. – Т. 4. – № 6. – С. 238–244.
22. Максимов А.Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2019. – 183 с.
23. Parshyna O., Parshyn Y. Analytical platform to provide competitiveness of ore-mining machinery manufacturing // Mining of Mineral Deposits. – 2020. – V. 14. – № 3. – P. 61–70.
24. Lavrenko S.A., Shishlyannikov D.I., Trifanov M.G. Selecting technically justified operating modes of «Ural» combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects: 11<sup>th</sup> conference of the Russian–German Raw Materials. – Potsdam, Germany, 2018. – P. 301–308.

Поступила: 07.07.2022 г.

Дата рецензирования: 20.09.2022 г.

#### Информация об авторах

**Суханов А.Е.**, младший научный сотрудник отдела аэрологии и теплофизики Горного института УрО РАН.

**Шишлянников Д.И.**, доктор технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Исаевич А.Г.**, кандидат технических наук, заведующий сектором «Рудничная вентиляция» отдела аэрологии и теплофизики Горного института УрО РАН.



UDC 622.23.05

## APPLICATION OF A CROSS-CUTTING PATTERN FOR CUTTING ROCK MASS TO REDUCE DUST EMISSION DURING MECHANIZED MINING OF POTASH ORE

Andrey E. Sukhanov<sup>1</sup>,  
andy1997sae@gmail.com

Dmitriy I. Shishlyannikov<sup>2</sup>,  
4varjag@mail.ru

Aleksey G. Isaevich<sup>1</sup>,  
aero\_alex@mail.ru

<sup>1</sup> Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
78-A, Sibirskaya street, Perm, 614007, Russia.

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolsky avenue, Perm, 614990, Russia.

**Relevance.** Mining of potash ore using borer miners is characterized by a high degree of dust emission. The main sources of dust emission are the processes of destruction of the massif, loading of the broken-off rock mass and further overloading of ore. Long-term presence of miners in an area where the maximum permissible concentration for potash dust is exceeded negatively affects their health. In terms of economic losses, ore regrinding also has a negative effect. Particles of a useful component less than 250 micrometers in size do not lend themselves to enrichment and go to the dump. Often, the amount of raw ore at the entrance to the processing plant reaches 18 % of the total supplied mass. In this regard, it is necessary to take measures to reduce dust concentration in the working area of the borer miner operator and to reduce the amount of non-enriched fraction.

**The purpose** of this work is to develop and implement measures to change the executive bodies of roadheaders, which will help reduce dust emissions in the bottomhole working area of potash mines.

**The object** of the study is the executive body of a roadheader with a cutting tool.

**Results.** The paper proposes constructive changes to the executive body of the borer miners. The new flat planetary-disk cutting unit will make it possible to implement a cross cutting scheme with a more stable geometry than the existing cutting sequence for Ural-20R borer miners. The design changes proposed in this paper take into account the previous problems described in the literature.

### Key words:

potassium salt, borer miner, cutting unit, planetary flat disc cutting unit, cross cutting pattern, maximum permissible concentration, microclimate of the working area of mines, fractional composition of potash dust.

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under an additional agreement to the Agreement on the provision of subsidies from the federal budget no. 075-03-2021-374/5, September 29, 2021.

### REFERENCES

- Maksimov A.B. Povyshenie kolichestva obogatimyykh klassov v kaliinoy rude dobyvaemoy prokhodchesko-ochistnymi kombinami Ural-20R [Increasing the number of enrichable classes in potash ore produced by Ural-20R tunneling and cleaning combines]. *Aktualnye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*, 2018, vol. 1, pp. 116–122.
- Krasnoshtein A.E. Nazemnye speleoklimaticheskie palaty i opyt primeneniia pri bronkhialnoy astme [Terrestrial speleoclimatic chambers and experience of use in bronchial asthma]. *Voprosy kurologii*, 1999, vol. 3, pp. 25–28.
- Medvedev I.I., Krasnoshtein A.E. *Aerologiya kaliinykh rudnikov* [Aerology of potash mines]. Sverdlovsk, USSR Academy of Sciences Publ., 1990. 250 p.
- Feinburg G.Z. O dokazatelnosti effektivnosti metodov speleoterapii v kaliinykh rudnikakh i speleoklimatoterapii v silvinitovykh speleokamerakh [On the evidence of the effectiveness of speleotherapy methods in potash mines and speleoclimatotherapy in silvinit speleocamers]. *Aktualnye problemy okhrany truda i bezopasnosti proizvodstva dobychi i ispolzovaniya kaliynomagnievykh soley*, 2018, pp. 416–441.
- Hasheminejad N. Hazard identification and risk assessment of occupational processes in Golgohar Mining Company, Southeast Iran (2021). *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 2022, pp. 32–40.
- Ge X. Cost-effectiveness of comprehensive preventive measures for coal workers' pneumoconiosis in China. *BMC health services research*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 1–10.
- Mu M. Coal dust exposure triggers heterogeneity of transcriptional profiles in mouse pneumoconiosis and Vitamin D remedies. *Particle and fibre toxicology*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 1–21.
- Zhang W. Study on the distribution characteristics of dust with different particle sizes under forced ventilation in a heading face. *Powder Technology*, 2022, vol. 406, pp. 117504.
- Janjuhah H.T. Integrated underground mining hazard assessment, management, environmental monitoring, and policy control in Pakistan. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 24, pp. 13505.
- Shah S.C. Occupational exposures and odds of gastric cancer: a StoP project consortium pooled analysis. *International Journal of Epidemiology*, 2020, vol. 49, no. 2, pp. 422–434.
- Jorgenson M., Sandlos J. Dust versus dust: aluminum therapy and silicosis in the Canadian and global mining industries. *Canadian Historical Review*, 2021, vol. 102, no. 1, pp. 1–26.
- Lotz G., Plitzko S., Gierke E., Tittelbach U., Kersten N., Schneider W.D. Dose-response relationships between occupational exposure to potash, diesel exhaust and nitrogen oxides and lung function: cross-sectional and longitudinal study in two salt mines. *International archives of occupational and environmental health*, 2008, vol. 81, no. 8, pp. 1003–1019.
- Medvedev I.I. *Provetrivanie kaliinykh rudnikov* [Ventilation of potash mines]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 161 p.

14. Medvedev I.I., Krasnoshtein A.E. *Borba s pylyu na kaliynykh rudnikakh* [Dust control at potash mines]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 192 p.
15. Isaevich A.G., Kormshchikov D.S. Issledovanie pylevoy obstanovki v usloviyakh kaliynogo rudnika, opyt snizheniya zapylennosti atmosfery rabochikh mest [Investigation of the dust situation in a potash mine, experience in reducing the dustiness of the workplace atmosphere]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*, 2018, no. 4, pp. 60–74.
16. 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.
17. 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.
18. Shishlyannikov D., Suhanov A. Improvement of rock-breaking tools of heading-and-winning machine of potash mines. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, 2020, vol. 177, p. 03018.
19. Zvonarev I.E., Shishlyannikov D.I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of «Ural-20R» heading-and-winning machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, no. 87 (2), pp. 022055.
20. Loskutov L.A., Chekmasov N.V. Sovershenstvovanie planetarnodiskovykh ispolnitelnykh organov kombainov Ural [Improvement of planetary-disk executive bodies of combines Ural]. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti. Sbornik statey XIII Mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technological equipment for mining and oil and gas industry. Collection of articles of the XIIIth International Scientific and Technical Conference]. Yekaterinburg, Ural State Mining University, 2015. pp. 90–93.
21. Chekmasov N.V., Nemtsev V.A. Obosnovanie napravleniy sovershenstvovaniya prokhodchesko-ochistnykh kombainov [Substantiation of directions for improving tunneling and cleaning combines]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Neft i gaz*, 2005, vol. 4, no. 6, pp. 238–244.
22. Maksimov A.B. *Obosnovanie parametrov porodorazrushayushchikh ispolnitelnykh organov i pogruzochnogo oborudovaniya prokhodchesko ochistnykh kombaynov «Ural 20R»*. Dis. Kand. nauk [Substantiation of parameters of rock-destroying executive bodies and loading equipment of the Ural 20R tunneling and cleaning combines. Cand. Diss.]. Moscow, 2019. 183 p.
23. Parshyna O., Parshyn Y. Analytical platform to provide competitiveness of ore-mining machinery manufacturing. *Mining of Mineral Deposits*, 2020, vol. 14, no. 3, pp. 61–70.
24. Lavrenko S.A., Shishlyannikov D.I., Trifanov M.G. Selecting technically justified operating modes of «Ural» combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions. *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11<sup>th</sup> conference of the Russian–German Raw Materials*. Potsdam, Germany, 2018. pp. 301–308.

Received: 7 July 2022.

Reviewed: 20 September 2022.

#### Information about the authors

**Andrey E. Sukhanov**, junior researcher, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Dmitriy I. Shishlyannikov**, Dr. Sc., associate professor, Perm National Research Polytechnic University.

**Aleksey G. Isaevich**, Cand Sc., head of the sector, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.