

АНАЛИЗ МИКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОТОКОВ МЕЖДУ МИКРОЗОНАМИ В ЗАБОЕ ТУПИКОВЫХ КОМБАЙНОВЫХ ВЫРАБОТОК КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРОВЕТРИВАНИЯ

Г.З. Файнбург¹, А.Г. Исаевич¹

¹ Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия, e-mail: aero_alex@mail.ru

Аннотация: Рассмотрен новый метод исследования детальной структуры вентиляционных потоков и определяемого ими качества воздушной среды на рабочих местах машинистов комбайна и самоходного вагона при различных способах проветривания тупиковых комбайновых забоев калийных рудников. Суть его состоит в разделении основных технологически и аэрологически выделенных зон тупиковой выработки на микрозоны с последующим анализом существующих между микрозонами микроциркуляционных потоков. Состояние воздушной среды в «зоне дыхания» и на рабочем месте определяется движением вихревых потоков, пространственные размеры которых существенно меньше размеров выработки. Предложено называть такие потоки «микроциркуляционными», поскольку они циркулируют из одних микрозон – локальных частей горной выработки – в другие. Введение этих понятий позволяет провести «микронизацию», т.е. разделение свободного воздушного пространства тупиковых комбайновых забоев на «микрозоны», что приводит к возможности более глубоко и детально исследовать и понимать механизмы движения воздуха, определяющие его качество в зонах дыхания горнорабочих, и выработать правильные технические решения по управлению проветриванием. Предложенный метод применяется к теоретическому анализу и натурному наблюдению за динамикой вихревых потоков двух классических способов проветривания тупиковых забоев – нагнетательного и всасывающего. Показано, что в комбайновых забоях многие достоинства нагнетательного способа, выделяющее его в лучшую сторону при ведении буровзрывных работ, теряются, напротив, у всасывающего способа при работе механизированного проходческоочистного комбайнового комплекса появляются свои достоинства. Отмечено, что, хотя на сегодняшний день всасывающий способ проветривания не разрешен к применению на рудниках, он имеет большой потенциал для повышения эффективности проветривания, особенно на горных предприятиях, ведущих добычу калийных руд и каменной соли.

Ключевые слова: микронизация, микрозона, микроциркуляционный поток, проветривание тупиковых комбайновых забоев, калийные рудники, соляная пыль, способ проветривания, комбайновый комплекс, воздушный поток, вытеснение, перемешивание.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 17-45-590657.

Для цитирования: Файнбург Г.З., Исаевич А.Г. Анализ микроциркуляционных потоков между микрозонами в забое тупиковых комбайновых выработок калийных рудников при различных способах проветривания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 58–73. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-58-73.

Analysis of microcirculation flows between microzones in face areas of blind shear stopes in potash mines with different ventilation methods

G.Z. Fainburg¹, A.G. Isaevich¹

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, e-mail: aero_alex@mail.ru

Abstract: The article describes a new, heuristically useful method of detailed studies into the ventilation flow structure and the resulting air quality at workplaces of shearer and self-propelling car operators in case of different method ventilation of blind stope face areas in potash mines. In this method, the main technologically and aerologically distinguished zones in a blind stope are divided to microzones, and the microcirculation flows between these microzones are then analyzed. It is shown that the air quality in the breathing zone and at operator's workplace is governed by vortex flows of scales much less than dimension of a stope. It is proposed to denote such vortexes as microcirculation flows as they circulate between microzones—small localities in a stope. The introduction of these notions, which are new in the mine aerology, allows microzoning, i.e. division of free air space in face areas of blind shear stopes into microzones. As a result, it is possible to comprehensively analyze and better understand air flow mechanisms which govern the air quality in the breathing zones of miners and to make correct engineering solutions on ventilation control. The proposed method is applicable to theoretical analysis and on-site monitoring of vortex dynamics in two classical modes of ventilation in blind stopes—blowing and suction. It is shown that the blowing method, which is the best for drilling and blasting, loses its advantages in shear stopes, while the suction method shows benefits during fully mechanized heading and shearing. It is specified that, although the suction ventilation is yet unallowed in mines, it possesses a high potential for airing efficiency improvement, especially in potash and rock salt mines.

Key words: microzoning, microzone, microcirculation flow, face area ventilation in blind shear stopes, potash mines, salt dust, ventilation mode, shearing system, air flow, displacement, mixing.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 17-45-590657.

For citation: Fainburg G. Z., Isaevich A. G. Analysis of microcirculation flows between microzones in face areas of blind shear stopes in potash mines with different ventilation methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3):58-73. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-58-73.

Введение

Повышение мощности комбайновых комплексов и относительная хрупкость слоистых соляных горных пород приводят к формированию мощных источников загрязнения рудничной атмосферы тупиковых забоев большим количеством пыли и содержащихся в горном массиве взрывоопасных и/или токсичных газов, что, в свою очередь, самым негативным образом влияет на здоровье горнорабочих [1, 2].

Все это затрудняет решение трех важнейших вопросов обеспечения средствами вентиляции условий производи-

тельного и безопасного ведения горных работ: поддержания нормальных условий труда горнорабочих; обеспечения взрывозащищенности призабойного пространства и выработки в целом, создания достаточной оптической видимости для управления горной техникой с целью точной выемки пласта калийной руды.

Традиционное решение [3–5] этих вопросов в рамках господствующей научной парадигмы, обусловленной опытом реализации сложившихся на практике технологических процессов и зафиксированной действующими нормативными требованиями правил безопасности,

ведет лишь к повышению потребного для проветривания количества свежего воздуха Q_0 , определяемого для стационарного (в среднем) процесса проветривания из формулы статического разжижения вредностей:

$$C_H = \frac{g^* \cdot C^* + Q_0 \cdot C_0}{g^* + Q_0}, \text{ мг/м}^3$$

где C_H — предельно допустимая по гигиеническим нормам массовая концентрация пыли или токсичных газов или нормативно предельная по правилам безопасности концентрация взрывоопасных газов (мг/м^3); g^* — условная мощность пыле- и газовыделения ($\text{м}^3/\text{с}$); C^* — условная концентрация генерируемой вредности (мг/м^3).

Практика проветривания комбайновых тупиковых и сквозных выработок рудников Верхнекамского и Старобинского месторождений калийно-магневых солей показывает, что концентрации пыли при механизированной отбойке руды достигают величины 5000 мг/м^3 , что в тысячу раз превышает предельно допустимый уровень $5,0 \text{ мг/м}^3$ [6, 7]. Как показывает численное моделирование [8, 9], добиться такого уровня только за счет подачи свежего чистого воздуха и размешивания вредности невозможно.

А потому техническая невозможность беспредельного увеличения подачи свежего воздуха (Q_0) как в отдельную выработку, так и в рудник в целом, в рамках существующей организации рудничного проветривания однозначно требует повысить степень его рационального и эффективного использования при условии научной обоснованности и нормативной разрешенности применяемых технологий проветривания.

В работах [10–12] показано, что в качестве платформы инженерных инноваций новой научной парадигмы необхо-

димо использовать концепцию «бережливого проветривания», идеи и способы которой опираются на традиции рационального использования имеющихся ресурсов. В качестве таких ресурсов выступают «свежий воздух» и необходимая для его подачи в рабочую зону «электроэнергия», а в качестве управляемого элемента — «качество воздушной среды» в пределах «объекта проветривания» и/или «зоны проветривания».

Классическим объектом проветривания с позиции горного дела является одиночная «горная выработка», а с позиции рудничной аэрологии — свободный объем горной выработки, заполненный рудничной атмосферой того или иного качества. Другим классическим объектом проветривания является совокупность горных выработок — вентиляционная сеть, рудник в целом.

Сегодня для повышения эффективности проветривания рассматривать только эти два объекта проветривания недостаточно, тем более, что с позиции обеспечения жизни горнорабочих основным объектом проветривания является «зона дыхания»¹, а с позиции обеспечения взрывопожаробезопасности — рабочая зона нахождения оборудования и ведения горных работ по отбойке горной массы. Заметим, что объемы этих объектов различаются в несколько тысяч раз. Все это, по нашему мнению, требует более детального рассмотрения структуры вентиляционных потоков и качества проветривания различных локальных «зон» забоя.

Известны два основных физических процесса проветривания: вытеснение (перенос) загрязненных объемов воздуха и перемешивание (разжижение) их с более чистыми объемами воздуха из-за каскадного характера турбулентного вихреобразования. В реальной практике

¹ Условная сфера радиусом 0,5 м вокруг рта и носа человека, содержащая воздух, доступный для вдоха.

оба эти процесса присутствуют одновременно, причем первый процесс более эффективен, но неизбежное с инженерных позиций рассмотрение процессов проветривания в осредненном по времени виде приводит в расчетах к доминированию второго процесса — перемешивания, что снижает в целом эффективность проветривания.

Огромную роль в соотношении процессов вытеснения и перемешивания играет способ проветривания и тип горной выработки. Подчеркнем, что традиционно типы выработок и названия определяются по их технологическому назначению — подготовительная, нарезная, очистная и т.п. Однако с позиции рудничного проветривания и рудничной аэрологии тип выработки представляется иным, чем с позиции технологии, например, тупиковая или сквозная, камерообразная или штрекообразная. При этом в штрекообразных выработках преобладает вытеснение, а в камернообразных — перемешивание.

Проходка тупиковым забоем представляет самый сложный случай ведения горных работ с позиции организации эффективного проветривания, поскольку тупиковая выработка имеет только один открытый для воздушных потоков конец — свое устье [13]. Поэтому основным методом применения тех или иных технических приемов проветривания тупиковых выработок всегда было, есть и будет превращение тупиковой выработки в сквозной аэродинамический канал сети проветривания. Такое превращение всегда до известной степени, так или иначе, зависит от технологии проходки.

С технологической точки зрения тупиковая горная выработка может быть разделена на две части (две зоны). Одной зоной выступает собственно тупиковый забой, т.е. часть выработки, в ко-

торой находится горношахтное оборудование и ведутся проходческие работы, другой зоной — основная часть уже пройденной выработки, связующая забой со всей системой горных выработок рудника. Эта часть (протяжение выработки до ее сопряжения с другими выработками) не имеет даже своего устойчивого специального названия, что лишней раз отражает степень второстепенности внимания к ней с позиции технологии, ибо она уже «пройденный этап».

С точки зрения рудничного проветривания тупиковая выработка, проветриваемая с помощью вентиляционного трубопровода², делится концом става вентиляционных труб или всасом ВМП (при его установке в забое) на две зоны (две части, два объекта проветривания), в общем случае не совпадающими с технологическими зонами. Одной зоной выступает аэродинамически выделенное пространство (которое часто называют призабойным пространством) разворота струй воздуха, а другой — пространство протяжения выработки вне собственно забоя, представляющее собой сквозной аэродинамический канал. При этом характер движения вентиляционных потоков зависит от способа проветривания и способа проходки как системы действий и явлений, формирующих загрязнение воздуха.

Появление в тупиковой выработке энерговооруженного самоходного комбайна, бункера-перегрузателя, и самоходного вагона, занимающих практически весь свободный объем забоя выработки, кардинально меняет структуру потоков воздуха и эффективность того или иного способа проветривания: нагнетательного, всасывающего и комбинированного способа проветривания в их различных вариантах.

² В настоящей статье мы будем для конкретности рассматривать нагнетательный и всасывающий способы проветривания как своеобразные антиподы.

При этом в реальной практике нашей страны теоретически возможный выбор способа проветривания иллюзорен, ибо после некоторого «ослабления» требований ЕПБ для рудников в редакции 1995 г., разрешивших всасывающий и комбинированный способы проветривания тупиковых выработок, все действующие ФНиППБ, начиная с 2003 г., вновь жестко требуют применения фактически только нагнетательного способа³.

Эти требования основаны на традициях и опыте ведения буровзрывных работ с их одномоментным выделением основной массы загрязнений, токсичностью отпалочных газов, захвата части этих газов отбитой горной массой. Подаваемым свежим воздухом это начальное состояние доводилось до нормативного, после чего туда допускались люди. В этих условиях деятельная струя нагнетательного проветривания, не оставляющая застойных зон в забое и у груди забоя, где могут в повышенном количестве содержаться токсичные природные и технологические газы, всегда была предпочтительнее всасывающего проветривания с его относительно малым радиусом действия всаса (особенно при небольших расходах подаваемого в забой свежего воздуха) [14].

Эти представления затем были закреплены нормативными требованиями и невольно усилены в учебно-педагогических работах рудничной аэрологии. Приводимые там красивые схемы струйного течения и раскрытия струи в тупиковом забое фактически не учитывают влияния емкости технологического оборудования, отбитой руды и даже тел горнорабочих, мешающих «идеальности» нарисованных картин струйного течения.

Применение машинной отбойки руды меняет характер загрязнения и условия

его воздействия на рабочих. Машинист комбайна постоянного находится в забое, а машинист самоходного вагона — на протяжении выработки. Загрязнения воздуха происходят постоянно в течение смены, меняясь по интенсивности с периодичностью производственного цикла. Один цикл загрязнения связан с отбойкой руды, второй — с ее ссыпанием в пустой бункер-перегрузочный, третий — с пересыпом в самоходный вагон. Эти циклы накладываясь друг на друга, образуют почти непрерывный повторяющийся процесс загрязнения, а включение-выключение двигателей своими крыльчатками создают нестационарное поле микроциркуляционных потоков воздуха.

Учет всех этих обстоятельств неизбежно изменяет организацию эффективного проветривания, поскольку требует использования для нормализации пылевой и/или газовой обстановки процессов динамического выноса вредности из контролируемых «объектов проветривания», например, забоя или его части, связанной с зоной дыхания машиниста комбайнового комплекса.

Такой научный подход требует и новой адекватной реальности терминологии, новых методов анализа ситуации, изменения либо кардинальной смены научной и нормативной парадигм, а также закрепления технических инноваций в правилах безопасности и технологических регламентах.

Специфика формирования вентиляционных потоков в тупиковой выработке, проходимой комбайновым комплексом

Напомним, что применяемая на каменных рудниках России камерная сис-

³ В настоящей статье мы будем для конкретности рассматривать нагнетательный и всасывающий способы проветривания как своеобразные антиподы.

тема разработки предусматривает использование механизированных комбайновых комплексов, представляющих собой комплект горных машин, в состав которого входят проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель и шахтный самоходный вагон.

На сегодняшний день наибольшее применение нашли проходческо-очистные комбайны типа «Урал», которые оснащены закрытыми щитом комбинированными планетарно-дисковыми исполнительными органами (Урал-10КС, Урал-20КС, Урал-20Р и др.) или открытыми органами барабанного типа (Урал-10А), а также гусеничным ходовым оборудованием [15]. Заметим, что одним из существенных недостатков всех этих комбайнов является разрушение калийного массива стружками серповидного сечения, что обуславливает повышенный выход мелких пылевидных классов руды в продуктах отбойки. Борьба с последствиями такого переизмельчения и «пыления» приходится средствами вентиляции.

Наличие в выработке комбайнового комплекса объемного крупногабаритного технического устройства, «загромождающего» собой все свободное сечение и объем выработки на несколько десятков погонных метров, неизбежно приводит к разделению общего воздушного пространства (зоны проветривания) тупикового забоя на множество «микророзн» с «микроциркуляционными потоками» воздуха между ними.

При этом характер такого микрозонирования и микроциркуляции определяется не только способом проветривания выработки, расположением вентиляционного става, расходом подаваемого свежего воздуха для проветривания, но и конфигурацией оборудования, местонахождением источников загрязнения, а также работой вентилятора пылеотсоса комбайна и крыльчаток всех электродвигателей всего комбайнового комплекса.

Наблюдения и экспериментальные исследования показывают, что учет всех этих факторов не позволяет нормализовать пылевую и газовую обстановку в зоне дыхания машиниста комбайна фактически ни при каких реальных расходах подаваемого в забой свежего воздуха [7]. Только целенаправленное регулирование микроциркуляции между микрizonaми, одной из которых выступает «зона дыхания» машиниста комбайна, позволяет добиться успеха.

Отсюда следует единственно возможный логический вывод о том, что достоинства и недостатки того или иного классического способа проветривания, степень его эффективности и целесообразности можно выявить только через анализ и исследования структуры микроциркуляционных движений.

Основным целевым «заданием» проветривания в рамках общей концепции бережливого проветривания является интенсификация процессов выноса загрязнений из основных микророзн и подача свежего воздуха в зоны дыхания и местонахождения.

Основным источником пыли при комбайновой выемке является процесс отбойки горной массы, происходящий у груди забоя, и процесс погрузки (свободное ссыпание) отбитой руды, в том числе переизмельченной, в пустой бункер-перегрузатель. В меньшей степени образование пыли происходит при перегрузке руды из бункера-перегрузателя в самоходный вагон, а также при движении вагона путем сдува пыли с поверхности руды и взметывания ранее осевшей пыли с поверхности выработки, особенно, с почвы.

Технологические циклы — отбойка руды с ее погрузкой в бункер-перегрузатель и перегрузка руды из бункера-перегрузателя в самоходный вагон порождают динамику и цикличность вентиляционных процессов, в первую

очередь, пыления. Общая картина динамики запыленности (аналогично и загазованности) в забое зависит от соотношения времен t_3 — времени загрузки бункера-перегрузателя и t_6 — времени челнокообразного движения самоходного вагона. Соотношения этих времен определяет t_+ и t_- — время работы комбайна и время его простоя. Во время работы комбайна концентрация пыли (и газа) в забое растет, во время простоя — падает. Чем дольше непрерывно работает комбайн — тем выше результирующие средние значения загазованности [6, 7].

При нагнетательном способе проветривания свою негативную лепту в динамику качества воздуха в зоне дыхания машиниста комбайна вносит непрерывное изменение расстояния между этой зоной и концом вентиляционного става при движении комбайна на забой.

Основные микрозоны в тупиковом комбайновом забое

Комбайновый комплекс, оставляя слева и справа, сверху и снизу минимально возможные зазоры с горным массивом, под действием основных потоков воздуха, поступающих в горную выработку и в забой, с учетом работы вентилятора пылеотсоса и крыльчаток электродвигателей формирует систему микрозон и микроциркуляции воздуха между ними.

Расположение и размеры этих микрозон и структура микроциркуляции несколько меняются в зависимости от конкретного типа комбайна и применяемого способа проветривания. В настоящей статье для конкретности рассматриваются комбайны с закрытым щитом режущим органом (рисунок).

Тогда свободное пространство забоя разбивается на следующие основные микрозоны (названия условны), не меняющиеся при различных способах проветривания:

1 — «фронтальная» микрозона, соприкасающаяся с фронтом отбойки руды и грудью забоя, отделенная щитом от остального забоя; это микрозона интенсивного пылеобразования (и газовыделения);

2 — «левая рабочая» микрозона около кабины машиниста комбайна (с ней связаны зона местонахождения — рабочее место и зона дыхания);

3 — «правая-нерабочая» микрозона, расположенная симметрично «левой-рабочей» микрозоне около вентилятора пылеотсоса;

4 — «верхняя комбайновая» микрозона, расположенная над комбайном;

5 — «верхняя-левая» микрозона у кровли выработки от боковины выработки до тела стреловидного погрузчика;

6 — «верхняя-правая» микрозона у кровли выработки от боковины выработки до тела стреловидного погрузчика;

7 — «торцовая» микрозона между комбайном и бункером-перегрузателем, где находится основной двигатель транспортера бункера;

8 — «бункерная» микрозона внутри бункера-перегрузателя, примыкающая к торцовой зоне;

9 — «бункерная левая-рабочая» микрозона по левую сторону от бункера-перегрузателя;

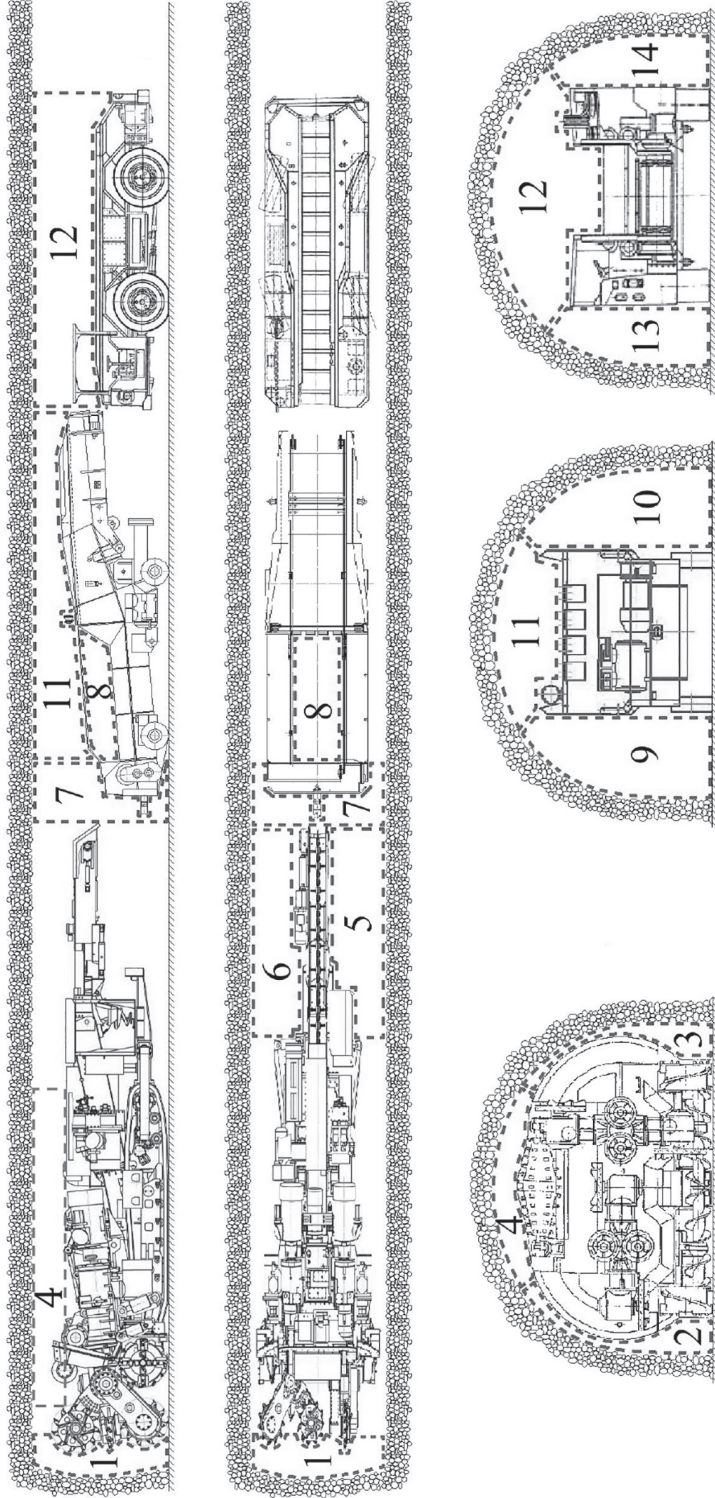
10 — «бункерная правая-нерабочая» микрозона по правую сторону от бункера-перегрузателя;

11 — «верхняя бункерная» микрозона над бункером-перегрузателем;

12 — «верхняя вагонная» микрозона над самоходным вагоном;

13 — «вагонная левая-рабочая» микрозона по левую сторону от самоходного вагона, в которой находится рабочее место машиниста вагона;

14 — «вагонная правая-нерабочая» микрозона по правую сторону от самоходного вагона.



Расположение основных микрозон в тупиковой выработке при размещении в ней комбайнового комплекса: 1 – фронтальная, 2 – левая рабочая, 3 – правая не рабочая, 4 – верхняя комбайновая, 5 – верхняя комбайновая, 6 – торцовая, 7 – торцовая, 8 – бункерная, 9 – бункерная левая рабочая, 10 – бункерная правая, 11 – верхняя комбайновая, 12 – верхняя комбайновая, 13 – верхняя комбайновая, 14 – верхняя комбайновая
 Layout of main microzones in blind stope with shearing system: 1–frontal; 2–left, working; 3–right, non-working; 4–upper, shearing; 5–top left; 6–top right; 7–end face; 8–bunker; 9–bunker left, working; 10–bunker right, working; 11–top bunker left, working; 12–car left; 13–car top; 14–car right

Число и границы этих микрозон могут быть изменены, если это требуется характером реального процесса проветривания.

Характер микроциркуляционных потоков между микрозонами в тупиковом комбайновом забое при нагнетательном способе проветривания

Натурные эксперименты проводили при проходке тупиковой выработки комбайном Урал-10КС, оборудованным вентилятором пылеотсоса В2-МЛ с рукавным фильтром. Отбитая руда и породная мелочь вместе с пылеобразными частицами ссыпалась в бункер-перегрузатель, а из него в самоходный вагон 5ВС-15М, который транспортировал отбитую горную массу из забоя на выемочный штрек к рудоспускной скважине.

Основными постоянно действующими источниками пылеобразования являлись рабочий орган и бермовые фрезы, пункт перегрузки с конвейера комбайна в бункер-перегрузатель, пункт перегрузки из бункера перегружателя в самоходный вагон, движущаяся цепь скребкового конвейера комбайна и постоянно просыпающаяся с этого конвейера и пылящая рудная мелочь.

Свежий воздух в забой подавали с выемочного штрека с помощью вентилятора СВМ-6М и трубопровода, смонтированного из гибких прорезиненных труб диаметром 600 мм. Отставание конца става трубопровода по возможности не превышало 10 м от рабочего места машиниста комбайна и находилось в пределах бункерной левой рабочей микрозоны. Обратим внимание, что выполнить требование не превышения отставания конца вентиляционного става от пульта управления комбайном — рабочего места машиниста комбайна (его зоны местонахождения и зоны дыхания) — на всех этапах технологического

цикла очень сложно. Основным препятствием является конечность стандартной секции трубопровода — 20 м.

Расчетное количество воздуха, необходимое для проветривания по минимальной скорости (равной 0,15 м/с) для выработки сечением 10,2 м² составляло чуть более 1,5 м³/с, по разжижению горючих газов — 1,2–1,5 м³/с, а по разжижению токсичных газов (сероводорода) в зависимости от горно-геологических условий могло достигать 3–4 м³/с.

Измеренное количество воздуха, поступающее в выработку, менялось в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий в пределах от 1,5 до 4 м³/с. Для большинства наблюдаемых ситуаций скорость воздушного потока составляла в районе устья тупиковой выработки 0,2–0,3 м/с. Из-за стеснения самоходным вагоном воздушной струи на рабочем месте машиниста вагона скорость воздуха при погрузке была около 0,5 м/с, при движении — около 2 м/с.

Нагнетательный способ проветривания, применяемый повсеместно в соответствии с правилами безопасности

Струя свежего воздуха из трубопровода с большой скоростью (7–8 м/с) распространяется в относительно узкие (не более 0,8 м) левые рабочие микрозоны, а потому на рабочем месте машиниста комбайна, находящемся в зоне действия свободной струи, подвижность воздуха колеблется 1–4 м/с в зависимости от отставания конца вентиляционного трубопровода. Поскольку температура воздуха в калийных рудниках Верхнекамья в районе очистных забоев примерно постоянна (около 8 °С), то за счет увеличивающейся теплопотери организма из-за движущейся воздушной струи эквивалентная по ощущениям температура становится равной порядка 0 °С.

Основное движение воздуха в забое определяется процессами эжекции воздушных масс в раскрывающуюся пристенную струю и носит крупномасштабный характер, захватывающий всю аэродинамическую зону забоя.

При этом образующийся под действием закона неразрывности в верхней комбайновой микрозоне основной полукольцевой вихрь омывает щит, захватывает правую нерабочую, торцевую и бункерную микрозоны и возвращается к левой-рабочей микрозоне, принося на рабочее место машиниста комбайна и в его зону дыхания запыленный и загазованный воздух.

При неработающем комбайновом комплексе воздух в забое удовлетворяет всем нормам. Но как только тот или иной источник пыления начинает работать (идет перегруз отбитой руды, или комбайн подают на забой, и он начинает отбойку руды), легко увидеть невооруженным взглядом, как образуются «локальные пылевые облака», которые через несколько секунд привносятся вихревым потоком в зону дыхания комбайнера. Общее проветривание забоя вытесняет загрязненный воздух в протяжении выработки вне забоя и именно этим воздухом (строго говоря, исходящей струей) дышит машинист самоходного вагона.

При вращении рабочего органа (особенно при подаче комбайна на забой) периодически из фронтальной микрозоны (защитового пространства) у кровли выработки (в верхнюю комбайновую микрозону) импульсно выбрасываются «протуберанцы» сильно запыленного воздуха. Их возникновение связано с избыточным давлением, возникающем при отбойке руды при каждом обороте рабочего органа (работает как мешалка).

Эти сильно запыленные и загазованные «протуберанцы» подхватываются основным вихрем проветривания забоя

и выносятся в микрозоны обратных потоков раскрытия вентиляционной струи, с которыми и попадают в зоны дыхания машиниста комбайна и машиниста самоходного вагона.

Отрицательную роль в динамике пылеобразования и переноса пыли играет вентилятор пылеотсоса. Практически не очищающий воздух от пыли, он становится «каналом» подачи сильно запыленного воздуха в торцевую микрозону, откуда этот загрязненный воздух крыльчаткой двигателя бункера-перегрузателя прямоком направляется в зону дыхания машиниста комбайна.

Оседанию постоянно образующейся пыли препятствует интенсивные микроциркуляционные потоки воздуха, в частности, воздушные вихри, создаваемые вентиляционной струей, вентилятором пылеотсоса, крыльчатками охлаждения электродвигателей, конвективными потоками от нагретых двигателей (скорость микроциркуляционных потоков достигает 0,4 м/с — значения скорости взмывания).

Поэтому при нагнетательном способе проветривания запыленность на рабочем месте машиниста комбайна всегда значительно превышает ПДК (5,0 мг/м³) и составляет 500—1300 мг/м³ для комбайнов типа Урал-10КС [16, 17].

Всасывающий способ проветривания (специальный натурный эксперимент)

Организация всасывающего проветривания была осуществлена на основе реализации концепции сосредоточения всех энергетических мощностей и необходимого оборудования на самодвижущемся комбайне [18, 19]. Для этого всас вентилятора пылеотсоса отсоединяли от короба скребкового конвейера, а вместо рукавного фильтра присоединяли вентиляционный став,двигающийся волюком за комбайном по почве с правой

стороны выработки. Конец вентиляционного трубопровода размещали в отработанной сквозной выработке.

Общие параметры проветривания, например расход подаваемого свежего воздуха, оставались практически неизменными (для удовлетворения расчетному расходу, величина которого формально не зависит от способа проветривания) по сравнению с нагнетательным способом, но картина проветривания в забое кардинально менялась.

Для ее полного понимания выделим еще одну микрозону. Она примыкает к щиту и размещается между щитом и плоскостью всаса вентилятора всасывающего проветривания (в эксперименте — вентилятора пылесоса). Назовем ее прищитовой.

При всасывающем способе проветривания свежий воздух поступает в забой равномерным потоком с выемочного штрека из-за разрежения, создаваемого вентилятором пылеотсоса. Это основное движение продолжается в забое до прищитовой зоны, причем стеснение свободного воздушного пространства вызывает повышение скоростей движущегося в забой свежего воздуха и потоки становятся устойчивыми.

При этом рабочие места машиниста вагона и машиниста комбайна оказываются расположенными в зоне подачи свежего воздуха. Этот воздух загрязняется только от взметывания пыли при движении самоходного вагона. При этом в нижней части выработки на всем ее протяжении от забоя до выемочного штрека пылеобразование связано с движением вагона над пылью, находящейся на почве, а в верхней части — с пылью, сдуваемой с руды, транспортируемой вагоном.

При нарушении целостности трубопровода возникающие утечки исходящего запыленного воздуха попадают в свежий воздух и хорошо видны. Они

ухудшают качество этого воздуха, а потому, как показывает практика, персонал тут же оперативно ликвидирует любую утечку.

Характер движения в защитном пространстве (в фронтальной микрозоне) и в прищитовой микрозоне при всасывающем способе проветривания остается практически таким же, как и при нагнетательном способе, но качество воздуха на рабочем месте машиниста комбайна существенно меняется.

В частности, скорость движения свежего воздуха на рабочем месте машиниста комбайна снижается до $(1 \pm 0,2)$ м/с, а сам поток становится заметно стационарнее во времени и однороднее в пространстве.

При этом, в прищитовой микрозоне воздух движется по почве и вдоль боковин выработки — к забою, а у кровли и вдоль поверхности комбайна в верхних микрозонах — от забоя к всасу вентилятора. Тем самым сильно загазованные и запыленные «протуберанцы» постоянно оттесняются потоком свежего воздуха к щиту, где попадают к всасу вентилятора и удаляются из забоя на исходящую струю. Потоки свежего воздуха в этой ситуации выступают своеобразным аэродинамическим барьером (щитом) распространения пыли от места ее основного генерирования — фронтальной микрозоны.

Следует отметить, что если при нагнетательном способе основной вихрь, образованный раскрывающейся струей, непрерывно перемешивал последствия выбросов «протуберанцев» из-за щита с воздухом забоя по всему забою, то интенсивный всас вентилятора-пылеотсоса наоборот прижимает фронтом свежего воздуха загрязненный пылью воздух к щиту, быстро подхватывая «протуберанцы» и удаляя их из забоя, не допустив излишнего перемешивания. Пылевая обстановка в забое и на ра-

бочих местах горнорабочих «на глазах» улучшилась.

Скорость движения воздуха в различных микрозонах меняется от микрозоны к микрозоне, а также во времени в зависимости от выполняемых технологических операций (рубка, погрузка, движение вагона) в пределах $1 \pm 0,5$ м/с. На этом фоне легко было видно существенное влияние на микроциркуляционные потоки работы крыльчаток электродвигателей, осуществляющих их охлаждение, которое в сильно загрязненном и турбулированном воздухе при нагнетательном способе проветривания практически не просматривается.

Крыльчатки бермовых двигателей, создавая избыточное давление, своей воздушной струей, направленной на двигатель, т.е. к груди забоя, прижимают пыль к щиту, обеспечивая в «левой рабочей» и «правой нерабочей» микрозонах приемлемое качество воздушной среды. При этом в случае нормального поступления свежего воздуха в данные микрозоны реализуется расширение общей зоны чистого воздуха. Если же при поршневом эффекте движения вагона из выработки к месту разгрузки фактическая подача свежего воздуха в забой временно несколько снижается, то потоки воздуха из-за работы этих крыльчаток образуют замкнутый контур и продолжают препятствовать распространению пыли в другие микрозоны.

Работа крыльчаток двигателей скребковых конвейеров погрузчика комбайна и бункера перегружателя оказывает негативное воздействие на запыленность и загазованность в микрозоне рабочего места машиниста комбайна, поскольку образующиеся при этом кольцевые потоки микроциркуляции захватывают микрозоны пылеобразования и газы-деления, а затем приносят эту пыль и газ в зону дыхания машиниста комбайна. Создание механических препятствий

таким кольцевым движениям сразу резко улучшает качество воздуха в зоне дыхания машиниста комбайна.

Интересно отметить, что пространство обратных по направлению (от щита в забой) запыленных и загазованных потоков («протуберанцев») у кровли выработки над комбайном (верхние микрозоны) периодически увеличивается и уменьшается с периодом около 15 с при стандартной производительности комбайна. Такое пульсирование связано с вращением режущего органа за щитом.

Все микроциркуляционные воздушные потоки между микрозонами при всасывающем способе проветривания достаточно жестко локализованы в пространстве, легко видимы и управляемы, а наиболее активное и плохо управляемое вихреобразование запыленного воздуха наблюдалось только около всаса вентилятора пылеотсоса, т.е. в противоположном от рабочего места машиниста комбайна углу забоя. Тем самым создавалась резкая неравномерность запыленности воздуха — относительно высокая запыленность в нерабочих микрозонах и относительно низкая — в рабочих. При этом цель проветривания — нормализация качества воздуха в рабочих зонах и в зонах дыхания — была достигнута.

Кроме того, если при нагнетательном проветривании соляная пыль оказывается рассредоточенной по всему свободному объему выработки, где сохраняется в витающем состоянии, а, осев, поднимается движущимся вагоном, то при всасывающем проветривании пыль быстро оказывается в стесненном пространстве вентиляционного трубопровода, где из-за своей очень высокой концентрации частично агрегируется.

Все это резко улучшает пылевую обстановку не только на рабочих местах горно-рабочих, но и в целом. На рабочем месте машиниста самоходного ва-

гона концентрация пыли при всасывающем способе равна фоновой, либо незначительно ее превышает. Его условия труда существенно улучшаются. Такой же пылевая обстановка будет и на рабочем месте машиниста комбайна при нулевой подаче комбайна на забой.

Однако при работе комбайна пыль, образующаяся при пересыпании руды, сносится воздушными потоками на рабочее место машиниста комбайна, а потому запыленность в зоне дыхания комбайнера превышает фоновую, но остается в 3–5 раз меньшей, чем при нагнетательном способе.

Все это свидетельствует, что всасывающий способ позволяет существенно улучшить условия труда рабочих для комбайновых забоев по сравнению с нагнетательным.

Заключение

Таким образом, разбиение традиционного объекта проветривания забоя на микрозоны открывает эвристически результативный путь выявления и понимания механизмов микроциркуляции, определяющих качество воздуха в зонах дыхания горнорабочих, и позволяет выработать технические решения по управлению запыленностью и загазованностью в забое. Кроме того, данный подход позволяет объективно сравнивать различные способы проветривания тупиковых выработок, отрабатываемых комбайновыми комплексами, оптимизировать проветривание тупиковых комбайновых забоев, тем самым открывая дорогу повышению производительности, снижать вентиляционную нагрузку на проветривание выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Шляпников Д.М., Маркович Н.И. Биохимические маркеры ранней диагностики производственно обусловленной гипертонической болезни у работников рудообогатительных производств // Медицина труда и промышленная экология. — 2016. — № 8. — С. 20–25.
2. Косяченко Г.Е. Условия труда и уровни пылевых нагрузок у горнорабочих калийных рудников Беларуси // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. — 2018. — Т. 1. — С. 250–257.
3. Zhou Z., Hu P., Han Z., Chen J. Effect of heading face ventilation arrangement on regulation of dust distribution // Journal of Central South University. Science and Technology. 2018. Vol. 49, no 9, pp. 2264–2271.
4. Ekkehard M. Ventilation measures for pollutant control [Wettertechnische Massnahmen zur Schadstoffbeherrschung] // Gluckauf: Die Fachzeitschrift fur Rohstoff, Bergbau und Energie, 1998, Vol. 134, no 10, pp. 707–711.
5. McDaniel K.H., Griswold L., Kelleher J., Saulter R. Dry, visible, salt-dust filtration of the face exhaust air at the WIPP // Mining Engineering, 2001, Vol. 53, no 3, pp. 45–48.
6. Исаевич А.Г., Кормищиков 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.
7. Левин Л.Ю., Исаевич А.Г., Семин М.А., Газизуллин Р.Р. Исследование динамики пылевоздушной смеси при проветривании тупиковой выработки в процессе работы комбайновых комплексов // Горный журнал. — 2015. — № 1. — С. 72–75.
8. Газизуллин Р.Р., Исаевич А.Г., Левин Л.Ю. Численное моделирование процессов выноса вредных примесей рудничной атмосферы при проветривании тупиковых выработок различными способами // Научные исследования и инновации. — 2011. — Т. 5. — № 2. — С. 127–129.

9. Zhang F., Chen J., Jiang Z. Numerical simulation and field measurement of dust concentration distribution in belt conveyor roadway // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 170, no 3, art. no. 032170.

10. Файнбург Г.З. Бережливое проветривание: концепция и основные средства для ее проветривания // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования. — 2014. — Т. 1. — № 1. — С. 115–121.

11. Kęsek M., Bogacz P., Migza M. The application of Lean Management and Six Sigma tools in global mining enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol. 214, no 1, art. no. 012090.

12. Николаев А.В., Файнбург Г.З. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок нефтешахт // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. — 2015. — № 14. — С 92–97.

13. Hasheminasab F., Bagherpour R., Aminossadati S.M. Numerical simulation of methane distribution in development zones of underground coal mines equipped with auxiliary ventilation // Tunnelling and Underground Space Technology, 2019, Vol. 89, pp. 68–77.

14. Романченко С.Б. Управление аэропыледи динамическими процессами при подземной угледобыче // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 298–333.

15. Сутормин Е.В., Треков М.В. Проходческие комбайны для добычи силвинитовых руд / Молодежь и научно-технический прогресс. Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Губкин, 16 апреля 2015 г. — Белгород, 2015. — С. 138–140.

16. Лискова М.Ю., Ковалев Р.А., Копылов А.Б., Воронкова Ю.А. Пылевая обстановка на руднике // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 3. — С. 49–61.

17. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников. — Свердловск: УрО АН СССР, 1990. — С. 250.

18. Файнбург Г.З., Овсянкин А.Д., Красюк Н.Ф., Вайсман О.Я., Шалаев С.Б., Забелин А.Ю. Проветривание тупиковых комбайновых забоев калийных рудников всасывающим способом / Разработка калийных месторождений: Межвузовский сборник научных трудов. — Пермь: Пермский политехнический институт, 1989. — С. 153–159.

19. Файнбург Г.З., Овсянкин А.Д., Вайсман О.Я., Шалаев С.В. Опыт применения всасывающего способа проветривания комбайновых выработок на Верхнекамских калийных рудниках / Совершенствование разработки соляных месторождений: Межвузовский сборник научных трудов. — Пермь: Пермский политехнический институт, 1990. — С. 122–127. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Zemlyanova M.A., Zaytseva N.V., Shlyapnikov D.M., Markovich N.I. Biochemical markers of early diagnostics of production-induced idiopathic hypertension of ore mill personnel. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2016, no 8, pp. 20–25. [In Russ].

2. Kosyachenko G.E. Working conditions and dust burden levels of potash mine personnel in Belarus. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*. 2018. Vol. 1, pp. 250–257. [In Russ].

3. Zhou Z., Hu P., Han Z., Chen J. Effect of heading face ventilation arrangement on regulation of dust distribution. *Journal of Central South University. Science and Technology*. 2018. Vol. 49, no 9, pp. 2264–2271.

4. Ekkehard M. Ventilation measures for pollutant control [Wettertechnische Massnahmen zur Schadstoffbeherrschung]. *Gluckauf: Die Fachzeitschrift fur Rohstoff, Bergbau und Energie*, 1998, Vol. 134, no 10, pp. 707–711.

5. McDaniel K.H., Griswold L., Kelleher J., Saulters R. Dry, visible, salt-dust filtration of the face exhaust air at the WIPP. *Mining Engineering*, 2001, Vol. 53, no 3, pp. 45–48.

6. Isaevich A.G., Kormshchikov D.S. Analysis of dust conditions in potash mine, experience of dust reduction at workplaces. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2018, no 4, pp. 60–74. [In Russ].

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

8. Gazizullin R.R., Isaevich A.G., Levin L.Yu. Numerical modeling of emission of harmful mine air impurities by various-mode ventilation of blind stopes. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2011. Vol. 5, no 2, pp. 127–129. [In Russ].

9. Zhang F., Chen J., Jiang Z. Numerical simulation and field measurement of dust concentration distribution in belt conveyor roadway. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 170, no 3, art. no. 032170.

10. Faynburg G.Z. Economic ventilation: concept and basic means. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gorno-shakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*. 2014, Vol. 1, no 1, pp. 115–121. [In Russ].

11. Kęsek M., Bogacz P., Migza M. The application of Lean Management and Six Sigma tools in global mining enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, Vol. 214, no 1, art. no. 012090.

12. Nikolaev A.V., Faynburg G.Z. Energy- and resource-saving ventilation of underground openings in oil mines. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya, neftegazovoe i gornoe delo*. 2015, no 14, pp. 92–97. [In Russ].

13. Hasheminasab F., Bagherpour R., Aminossadati S.M. Numerical simulation of methane distribution in development zones of underground coal mines equipped with auxiliary ventilation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2019, Vol. 89, pp. 68–77.

14. Romanchenko S.B. Air-and-dust flow dynamics control in underground coal mining. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 5, pp. 298–333. [In Russ].

15. Sutormin E.V., Trekov M.V. Continuous heading machines for sylvinitic production. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Gubkin, 16 aprelya 2015 g. [The Youth and Scientific-and-Technical Progress. International Scientific-Practical Conference for Students, Post-Graduates and Young Scientists. Gubkin, April 16, 2015]. Belgorod, 2015, pp. 138–140. [In Russ].

16. Liskova M.Yu., Kovalev R.A., Kopylov A.B., Voronkova Yu.A. Dust conditions in mine. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2018, no 3, pp. 49–61. [In Russ].

17. Medvedev I.I., Krasnoshteyn A.E. *Aerologiya kaliynykh rudnikov* [Aerology of potash mines], Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 1990, pp. 250.

18. Faynburg G.Z., Ovsyankin A.D., Krasnyuk N.F., Vaysman O.Ya., Shalaev S.B., Zabelin A.Yu. Ventilation in blind shear face areas in potash mine by suction. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Development of potassium ore fields: Intercollegiate collection of scientific papers], Perm, 1989, pp. 153–159. [In Russ].

19. Faynburg G.Z., Ovsyankin A.D., Vaysman O.Ya., Shalaev S.V. Experience of suction ventilation in shear stopes in the Upper Kama potash mines. *Sovershenstvovanie razrabotki solyanykh mestorozhdeniy: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Improvement of salt field development: Intercollegiate collection of scientific papers], Perm, 1990, pp. 122–127. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Файнбург Григорий Захарович¹ – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: faynburg@yandex.ru,

Исаевич Алексей Геннадиевич¹ — канд. техн. наук,
заведующий сектором, e-mail: aero_alex@mail.ru,

¹ Горный институт Уральского отделения РАН.

Для контактов: Исаевич А.Г., e-mail: aero_alex@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

G.Z. Fainburg¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, e-mail: faynburg@yandex.ru,

A.G. Isaevich¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector, e-mail: aero_alex@mail.ru,

¹ Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.

Corresponding author: A.G. Isaevich, e-mail: aero_alex@mail.ru.

Получена редакцией 14.11.2019; получена после рецензии 23.12.2019; принята к печати 20.02.2020.

Received by the editors 14.11.2019; received after the review 23.12.2019; accepted for printing 20.02.2020.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОПТИЧЕСКОЙ КУСКОВОЙ СЕПАРАЦИИ ЩЕБНЯ

(№ 1214/03–20 от 31.01.2020; 11 с.)

Шогенова Залина Асланбековна¹ — старший преподаватель, e-mail: shogenova.88@mail.ru,

Жилов Ислам Анзорович¹ — студент, e-mail: Wazaabi@mail.ru,

Замеев Руслан Анзорович¹ — студент, e-mail: Zamaev1998@gmail.com,

Созаев Ильяс Исхакович¹ — студент, e-mail: sozaev.ilias2014@yandex.ru,

Нагоев Султан Артурович¹ — студент, e-mail: sjsula07@gmail.com,

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова.

Рассмотрены вопросы по управлению процессом оптической кусковой сепарации щебня и о совершенствовании горно-обогажительного производства, которое определяется новыми ресурсосберегающими технологиями и оборудованием. Совершенствование технологии и экономики обогащения в последние годы связывается с введением в рудоподготовительный передел операций предварительного обогащения, позволяющих после первых стадий дробления удалить из процесса породные фракции. Предварительное обогащение может быть реализовано механическими методами гравитационными, магнитными, специальными, избирательным дроблением-грохочением или методами радиометрической сепарации. В ряде случаев возможна комбинированная технология предварительного обогащения, включающая несколько различных процессов.

Ключевые слова: кусковая сортировка, сепарация щебня, условия рудоподготовки, стабилизация качества, сепарация руд, асбестовые руды.

TECHNICAL MEANS OF AUTOMATION AND PROCESS CONTROL OF OPTICAL LUMP SEPARATION OF CRUSHED STONE

Z.A. Shogenova¹, Senior Lecturer, e-mail: shogenova.88@mail.ru,

I.A. Zhilov¹, Student, e-mail: Wazaabi@mail.ru, R.A. Zamaev¹, Student, e-mail: Zamaev1998@gmail.com,

I.I. Sozaev¹, Student, e-mail: sozaev.ilias2014@yandex.ru, S.A. Nagoev¹, Student, e-mail: sjsula07@gmail.com,

¹ Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov,

360004, North Caucasian Federal district, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Russia.

The work is devoted to the analysis and study of issues of controlling the process of optical lump separation of crushed stone. The issues of improving the mining and processing production, which are determined by new resource-saving technologies and equipment, are considered. Improvement of the technology and economics of enrichment in recent years is associated, first of all, with the introduction of preliminary enrichment operations in the ore preparation stage, which allow, after the first stages of crushing, to remove rock fractions from the process. Pre-enrichment can be implemented by mechanical methods, gravitational, magnetic, special, selective crushing-screening or radiometric separation methods. In some cases, a combined pre-enrichment technology is possible, including several different processes.

Key words: lump sorting, crushed stone separation, ore preparation conditions, quality stabilization, ore separation, asbestos ores.