

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.6

DOI:10.7242/echo.2025.3.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ССЫПАНИИ КАЛИЙНОЙ СОЛИ НА КОМБАЙНОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Н.А. Бруев, А.Г. Исаевич, Д.А. Дегтерев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассматривается вопрос пылеобразования при ведении очистных работ на калийных месторождениях. Основное внимание уделяется зонам пересыпа руды как ключевым источникам пылеобразования. В ходе исследования были проведены экспериментальные замеры концентрации пыли в тупиковом добычном забое при различных режимах работы горнодобывающего оборудования. Полученные результаты позволяют установить, что 65-75% пыли формируется в процессе ссыпания руды со стрелы добычного комбайна, тогда как вклад процесса разрушения породы составляет 25-35%.

Ключевые слова: пылеобразование, калийная руда, подземный рудник, пересып руды, очистной забой.

Введение

Вещественный состав калийной пыли в основном определяется составом разрабатываемых пластов. Однако количественное соотношение отдельных компонентов (минералов) исходной пыли по мере перехода ее во взвешенное состояние может существенно меняться. Установлено, что с увеличением крепости компонентов их удельное содержание в пыли снижается, а содержание компонентов с меньшей крепостью и плотностью возрастает. Так, содержание крепких минералов NaCl, KCl в пыли снижается в среднем в 1,05-1,12 раза, тогда как содержание $MgCl_2$ и $CaSO$ возрастает в 1,15-1,9 раза [1].

Источниками пылеобразования в подземном руднике служит широкий спектр технологических операций, включая добычу руды, перегрузку её между конвейерами, а также загрузку и разгрузку скипов [2, 3, 4]. Наибольшее пылевыведение наблюдается в районе очистного забоя, в пределах которого можно выделить три основных зоны образования пыли:

- разрушение горной массы за щитом комбайна;
- пересып руды с комбайна в бункер-перегрузатель;
- пересып руды из бункера в самоходный вагон.

На рисунке 1 показаны зоны выделения пыли в тупиковом комбайновом забое.

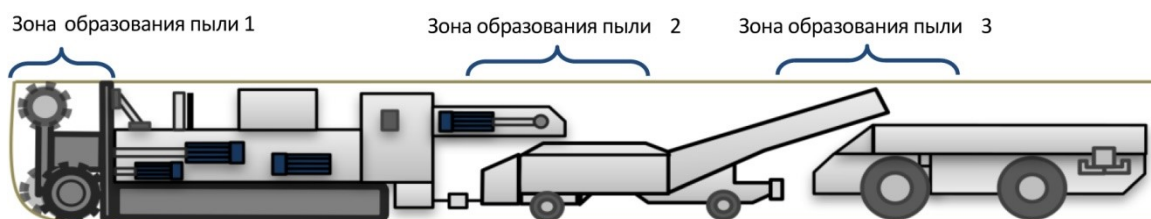


Рис. 1. Зоны образования пыли

В научной литературе отсутствуют четкие сведения о том, какой из источников внесет основной вклад в процесс пылеобразования. Классически считается, что процесс разрушения массива горных пород является основным источником пылеобразования [5, 6, 7]. Это утверждение справедливо, если мы рассматриваем именно процесс разрушения и перемалывания горной массы. Однако современные комбайновые комплексы

оснащены оградительными щитами, которые ограничивают попадание пыли в рабочую зону, в то время как зоны пересыпа руды ничем не ограничены.

Это диктует необходимость проведения количественной оценки выделения пыли в зонах пересыпа и подробного изучения процесса пылеобразования при ссыпании.

Оценка интенсивности источников пылеобразования

Экспериментальные исследования проводились на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (г. Березники, Пермский край). Для оценки пылеобразования использовалось оборудование механизированного комбайнового комплекса, включающего проходческо-очистной комбайн «Урал-20Р-12», бункер-перегрузчик БП17 и шахтный самоходный вагон ВС17.

Для количественной оценки пылеобразования на комбайновом комплексе планировалось отдельно определить объем выделяемой пыли от двух укрупненных источников:

- из-под щита комбайна во время его работы (зона 1 на рисунке 1);
- при пересыпе руды (включая пересып с комбайна в бункер-перегрузчик и из бункера в самоходный вагон – зоны 2 и 3 на рисунке 1).

Замеры концентрации пыли проводились на исходящей из забоя струе воздуха (рисунки 2) при различных режимах работы комбайна:

- режим холостого хода – при работе комбайна на холостом ходу (зарубка), когда призабойная часть руды измельчается, но конвейеры комбайна не работают, а бункер-перегрузчик не наполняется рудой. Этот замер позволит оценить уровень пылеобразования, связанный исключительно с процессом разрушения руды под щитом комбайна;
- режим нормальной работы комбайна – в той же точке при нормальной работе комбайнового комплекса в момент начала загрузки бункера-перегрузчика.

Разница в концентрации пыли между первым и вторым замером позволит количественно определить вклад ссыпания руды в общий уровень пылеобразования.

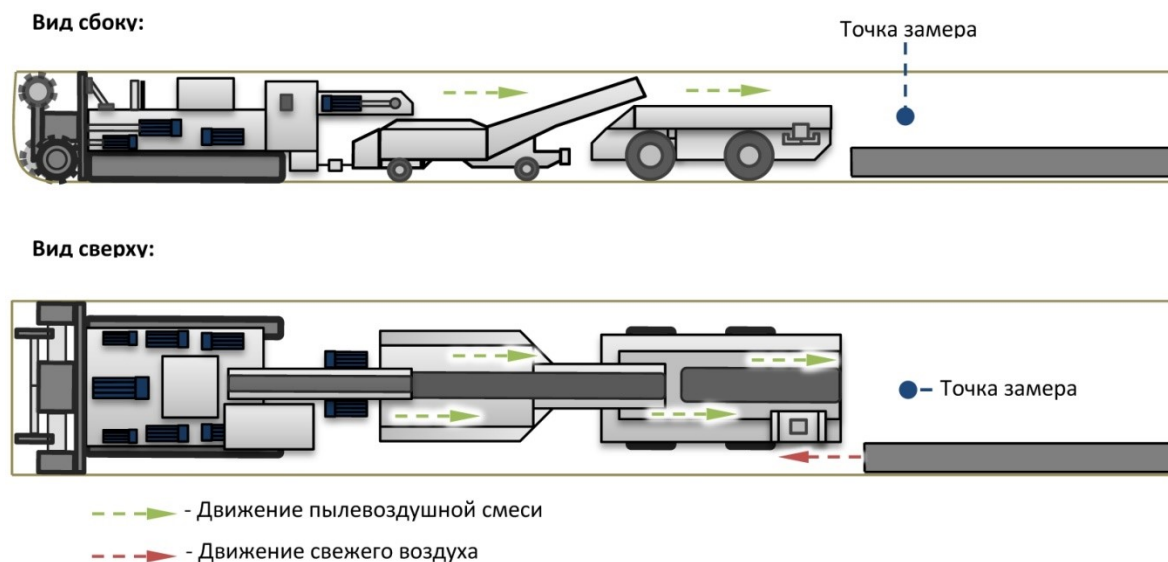


Рис. 2. Расположение точки замера

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

На основании полученных данных будет определено процентное соотношение факторов пылеобразования при работе комбайнового комплекса – сколько пыли выделяется из-под щита комбайна и сколько образуется при пересыпах руды.

Результаты эксперимента

Эксперимент был проведен на двух комбайновых комплексах. В результате получены количественные значения концентрации пыли от различных источников пылеобразования.

Полученные значения концентрации пыли представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Режим работы комбайнового комплекса	Комбайн №1	Комбайн №2
Режим холостого хода	59,4 мг/м ³	143,2 мг/м ³
Нормальная работа	170,9 мг/м ³	582,5 мг/м ³

Расчёт процентного соотношения показывает, что пылеобразование от разрушения руды составляет порядка 25-35%; основная часть пыли (65-75%) образуется от ссыпания рудной массы.

Важно отметить, что полученные значения отражают условия конкретного месторождения и исследуемого комбайнового комплекса. Разброс значений между двумя комбайнами указывает на возможное влияние конструктивных особенностей (состояние оградительных щитов) и характеристик добываемого пласта. Поэтому приведённые соотношения могут отличаться на других месторождениях и при исследовании других комбайновых комплексов и требуют дальнейшего уточнения.

Влияние различных факторов на процесс пылеобразования при ссыпании

Для детальной оценки пылеобразования при ссыпании руды необходимо определить:

- содержание пылевидной фракции в тонне руды;
- количество пыли, выделяющееся в процессе ссыпания руды;
- факторы, влияющие на интенсивность пылеобразования.

Определение этих параметров позволит разработать математическую модель процесса ссыпания руды, которая корректно описывает механизм пылеобразования. Это, в свою очередь, станет основой для разработки технических решений, направленных на снижение запыленности рабочих зон.

На первом этапе исследования планируется определить фактическое количество пыли, содержащейся в калийной руде, и количество пыли, выделяющейся непосредственно в процессе ссыпания руды.

Фактическое количество пыли, содержащееся в тонне руды (P_1 мг/т), возможно определить методом ситового анализа [2, 8], заключающегося в разделении проб по классам крупности с использованием сит и дальнейшей оценке отсеянной фракции с использованием микроскопа.

В технологическом процессе высвобождается не вся пыль, содержащаяся в руде, поэтому на втором этапе исследования важно определить, какая ее доля переходит во взвешенное состояние при пересыпе. Для этого разработан проект экспериментального стенда, который позволит определить количество пыли, выделяющееся непосредственно в процессе ссыпания руды (P_2 мг/т). Проект экспериментального стенда представлен на рисунке 3.

Предварительно взвешенная порция руды загружается в бункер (поз. 1). После открытия задвижки (поз. 2) руда самотеком падает на регулируемый по высоте поддон (поз. 3), имитируя процесс технологического пересыпа. Наблюдение за пылевыми вихрями осуществляется благодаря стенке, выполненной из оргстекла (поз. 4).

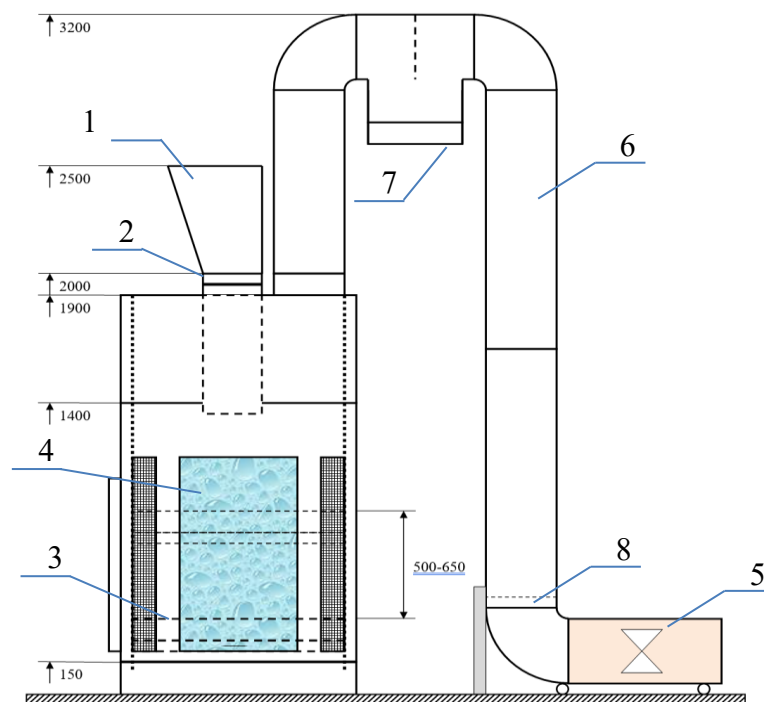


Рис. 3. Экспериментальный стенд

При ударе рудной массы о поддон мелкие частицы переходят во взвешенное состояние и подхватываются потоком воздуха, удаляемого с помощью вентилятора (поз. 5) по воздушному трубопроводу (поз. 6).

На пути воздушного потока установлены два элемента пылеулавливания:

- съемный бункер, в котором оседает часть пылевидных частиц, ударяющихся о барьерную преграду (поз. 7);
- фильтрующий элемент (поз. 8), на котором оседает остаточная пыль.

Итоговая масса пыли рассчитывается как сумма массы, собранной в бункере (поз. 7) и на фильтре (поз. 8), и определяется с помощью аналитических весов. Таким образом, фиксируется количество пыли, переходящее во взвешенное состояние в процессе пересыпа.

На основании экспериментальных данных планируется установить эмпирические зависимости количества пыли, образующейся при технологическом процессе ссыпания, от ключевых факторов. Основное внимание уделяется следующим переменным:

- высота ссыпания (H , м);
- массовая влажность руды (W , %);
- физико-механические свойства руды, определяемые геологическими особенностями (характеристики плотности, прочности и пр., условно обозначенные как параметр G).

Количество пыли (P , мг/т) планируется описывать в виде обобщенной функции вида:

$$P = f(H, W, G),$$

где f – эмпирическая функция, определяемая по результатам многофакторного анализа экспериментальных данных.

Данные зависимости позволят разработать математическую модель процесса ссыпания руды и оценить воздействие различных факторов на пылеобразование.

Выводы

Формирование пылевой обстановки на комбайновом комплексе – это сложный процесс, в котором участвуют несколько источников пылеобразования. На сегодняшний

день в научной литературе отсутствуют точные количественные данные о вкладе различных источников в общий уровень запыленности. Особенно это касается зон пересыпа руды, которые конструктивно практически не защищены от распространения пыли.

По результатам экспериментальных замеров установлено, что процесс разрушения руды за щитом комбайна «Урал-20Р-12» формирует 25-35% от общего объема выделяющейся пыли, тогда как основной вклад (65-75%) в запыленность рабочей зоны вносит пересып руды при её транспортировке с комбайна в бункер и далее в вагон.

Определена методика оценки содержания пыли в руде за счет ситового анализа. Разработан проект стенда для лабораторных исследований процессов пылеобразования при ссыпании руды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Борьба с пылью на калийных рудниках. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
2. Максимов А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочно-го оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Максимов Алексей Борисович. – Пермь, 2019. – 182 с.: ил.
3. Исаевич А.Г., Суханов А.Е., Желнин М.С., Поляков И.В. Оценка эффективности различных вариантов проветривания тупикового комбайнового забоя по пылевому фактору в условиях глубокого калийного рудника // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 43-49. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.07.
4. Исаевич А.Г. Научное обоснование методологии управления пылевой обстановкой в горных выработках калийных рудников: дис. ... докт. техн. наук: 2.8.6: защищена 12.07.23 / Исаевич Алексей Геннадьевич. – Пермь, 2023. – 266 с.
5. Овсянкин А.Д. Исследование и разработка способов мокрого обеспыливания в комбайновых забоях калийных рудников: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02. – Пермь, 1975. – 231 с.
6. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников / УрО АН СССР. – Свердловск, 1990. – 251 с.: ил.
7. Левин Л.Ю., Суханов А.Е., Исаевич А.Г., Козунин И.И. Экспериментальные исследования зависимости пылевой обстановки в тупиковой выработке от применяемого способа проветривания при механизированной добыче калийных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 10. – С. 35-50. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_10_0_35.
8. Шишляников Д.И., Максимов А.Б., Трифанов Г.Д., Чекмасов Н.В. Исследование процесса формирования небогатимых классов калийной руды при добыче, погрузке и транспортировании // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2019. – № 2. – С. 230-242.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2025.3.7

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ЧАСТИ ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ

О.С. Краев, Н.А. Князев, Д.С. Кормициков
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрен опыт создания программного обеспечения для визуализации и оперативного контроля за реализацией мероприятий, предусмотренных оперативной частью плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛЛПА) в командных пунктах предприятий, осуществляющих разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом. Описаны этапы развития проекта, функциональные возможности системы, особенности её применения в работе горного диспетчера и перспективы внедрения технологий виртуальной реальности для обучения персонала.

Ключевые слова: ликвидация аварий, диспетчеризация, цифровая модель, визуализация, VR, промышленная безопасность.