

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДОБЫВАЕМОЙ РУДЫ С УЧЕТОМ ЛОГИСТИКИ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ ОТ ЗАБОЯ ДО ШАХТНОГО СТВОЛА

П. А. ДАМАРАД

ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск

М. А. ЖУРАВКОВ, М. А. НИКОЛАЙЧИК

Белорусский государственный университет, г. Минск

Стратегия управления шахтными конвейерными линиями должна учитывать вариативность качества добываемой руды и корректировать процесс добычи для оптимального использования ресурсов горнодобывающего предприятия. Современные подземные конвейерные системы характеризуются значительной протяженностью (до нескольких десятков километров) и сложной сетью транспортных магистралей, параметры которых могут изменяться со временем, включая длину и топологию [1].

Для повышения эффективности конвейерного транспорта и сокращения численности обслуживающего персонала в шахтах всё шире внедряются автоматизированные системы управления конвейерными линиями. Основной принцип автоматизированного управления заключается в централизованном контроле процессов пуска и остановки конвейеров, с обеспечением автоматической защиты от аварийных ситуаций. В настоящее время практически все ленточные конвейерные линии, эксплуатируемые в условиях подземной добычи, оснащены такими системами.

Высокая эффективность работы конвейерного транспорта достигается только при слаженной работе всех технологических звеньев: очистного комбайна, участковых, панельных и магистральных конвейеров. Это возможно благодаря внедрению систем мониторинга и управления транспортом шахты, что делает исследование и разработку подобных систем особенно актуальными [2].

В рамках настоящего исследования рассмотрим организацию транспортировки руды, характерную для рудников ОАО «Беларуськалий». Основным средством транспортировки руды на рудниках ОАО «Беларуськалий» являются ленточные конвейеры. Они широко применяются благодаря высокой производительности, возможности бесперегрузочного транспортирования на большие расстояния, простоте конструкции, надежности, а также низкой массе и энергоёмкости в сравнении со скребковыми конвейерами [3].

Средневзвешенное качество материального потока (калийной руды) варьируется между узлами перегруза, это обусловлено средневзвешенным качеством руды, поступающей с панельных конвейеров на магистральный конвейер (рисунок 1).

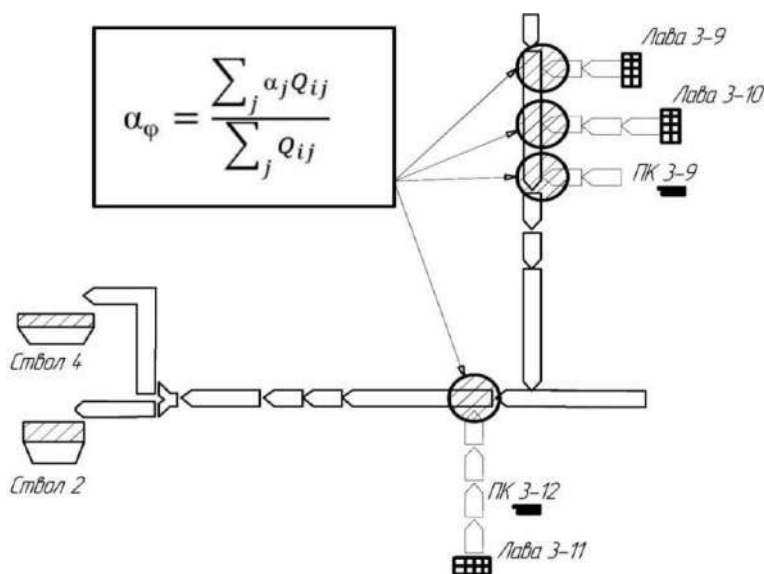


Рисунок 1 – Мнемосхема с местами слияния потоков руды между узлами перегруза

Для поиска оптимального режима работы добычных комплексов с целью минимизации расхождений между плановым и фактическим качеством руды, добываемой из  $j$ -го забоя, используется формула средневзвешенного показателя качества:

$$\alpha_{\phi} = \frac{\sum_{ij} \alpha_{ij} Q_{ij}}{\sum_{ij} Q_{ij}},$$

где  $\alpha_{\phi}$  – показатель качества руды с горизонта, определяемый планом;  $i$  – количество крыльев на горизонте;  $j$  – количество забоев;  $\alpha_{ij}$  – показатель качества руды из  $j$ -го забоя  $i$ -го крыла;  $Q_{ij}$  – объем горной массы с  $j$ -го забоя  $i$ -го крыла.

На магистральных конвейерах реализована система регулирования скорости ленты в зависимости от нагрузки. Данная система использует данные ультразвуковых уровнемеров, установленных перед сбрасывающими барабанами на каждом панельном конвейере и на конвейерах, подающих нагрузку на магистральный конвейер с регулируемой скоростью. Контроль за уровнем руды и скоростью ее перемещения является важным фактором, так как ошибки, возникающие из-за большого расстояния между уровнемером и точкой загрузки, могут привести к перегрузкам.

Расчеты выполняются в центральной системе, которая учитывает скорость конвейеров, расположение точек загрузки и измерителей, а также скорость и нагрузку питающих конвейеров. После обработки данных система корректирует мощность приводных электродвигателей управляемого конвейера [4].

В зависимости от расположения транспортных средств и оборудования в шахте выделяют две основные подсистемы транспортировки руды: участковый и магистральный транспорт. Технологические схемы рудничного транспорта включают отдельные звенья, соединенные узлами перегрузки, по которым перемещаются основные грузопотоки руды и породы из подготовительных и очистных забоев [5].

Таким образом, эффективность контроля качества добываемой руды существенно зависит от учета динамики ее перемещения по транспортной системе рудника. Разработанная в рамках исследований механико-математическая модель позволяет количественно описать изменение средневзвешенного качества рудного потока на каждом узле перегрузки с учетом параметров логистики: скорости конвейеров, расстояний между узлами и временных задержек.

Предложенный метод интегрирует данные ультразвуковых уровнемеров и параметров транспортных линий для построения модели материального потока, что обеспечивает прогнозирование качества и объема руды, поступающей в бункер шахтного ствола с каждого забоя в заданном временном интервале с высокой степенью вероятности.

Аналитическая зависимость времени перемещения руды от забоя до ствола, построенная на основе технических характеристик оборудования и анализа слияния потоков в узлах перегрузки, позволяет реализовать оперативный контроль и управление качеством добываемой горной массы.

Для калийных рудников применение данного математического аппарата стабилизации качества по содержанию КС1 обеспечивает повышение извлечения полезного компонента, снижение расхода химических реагентов и оптимизацию энергетических затрат, что приводит к значительному экономическому эффекту.

#### Список литературы

- 1 Гец, А. К. К вопросу управления качеством руды на калийном руднике / А. К. Гец, С. Г. Оника // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 27–30.
- 2 Шмелев, В. А. Имитационное моделирование в контексте управленческого прогнозирования / В. А. Шмелев. – М.: Лаборатория книги, 2010. – 57 с.
- 3 Дамарад, П. А. Описание непрерывных процессов работы рудника методом имитационного моделирования / П. А. Дамарад // Перспективы инновационно-технологического и экономического развития минерально-сырьевого комплекса: материалы XX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию фак. Горного дела и инженерной экологии БНТУ, г. Минск, 5 апр. 2022 г. / БНТУ; редкол.: А. А. Кологривко (пред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Т. 2. – С. 127.
- 4 Журавков, М. А. Основы САД и САЕ-технологий в механике: учеб. программа УВО по учеб. дисциплине для спец. 1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование», № УД-11136/уч / М. А. Журавков, М. А. Николайчик. – Минск, 2022. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/288266> (дата обращения: 20.01.2025).
- 5 Дамарад, П. А. Цифровизация производственных процессов работы рудника как инновационный элемент управления производством / П. А. Дамарад, М. А. Журавков, М. А. Николайчик // Передовые инженерные школы: материалы, технологии, конструкции: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Пермь, 3–4 декабря, 2024 г. – Пермь: ПНИПУ, 2024. – С. 294.