

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ГРУЗОПОТОКОВ АСБЕСТОВОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

А.А. Жилинков^{1,2}, Ю.А. Лагунова^{1,2}

¹ Уральский государственный горный университет,
Екатеринбург, Россия, e-mail: yu.lagunova@mail.ru

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Проведены исследования процесса материалодвижения на крупном горно-обогатительном комбинате при добыче пород хризотил-асбестовых и габбро-базальтовых групп. Рассмотрены особенности функционирования производственно-транспортной системы. Определены виды производств в структуре горно-обогатительного комбината, схемы функционирования и взаимодействия основных производственных подразделений. Проведены идентификация и систематизация материальных потоков и грузопотоков и установлены их классификационные признаки. Выполнены расчеты объема материальных потоков и грузопотоков, а также их процентного соотношения в общем объеме перевозок. Проведен анализ транспортно-технологической схемы движения материальных потоков и грузопотоков на рассматриваемом предприятии. Материальные потоки и грузопотоки проклассифицированы по виду груза, транспорта, производства, назначению, по признакам регулярности и непрерывности. Также установлено, что в последнее время начинают появляться и развиваться сопутствующие производства, требующие новых логистических решений. Предложена усовершенствованная методика определения величины грузопотоков на основе расходных технологических коэффициентов. Создана основа для разработки формирования грузопотоков и определения объема производственных и транспортных ресурсов горных предприятий.

Ключевые слова: горно-обогатительный комбинат, горнопромышленный транспорт, хризотил-асбест, габбро-базальтовая руда, производственная структура, материальный поток, грузопоток, транспортная система, идентификация, классификация, расходный коэффициент.

Для цитирования: Жилинков А. А., Лагунова Ю. А. Математическая модель оценки грузопотоков асбестового горно-обогатительного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 3. – С. 168–181. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_3_0_168.

Mathematical model of material flow analysis at asbestos mining and processing plant

A.A. Zhilinkov^{1,2}, Yu.A. Lagunova^{1,2}

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia, e-mail: yu.lagunova@mail.ru

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Eltsin,
Ekaterinburg, Russia

Abstract: Material flows at a large mining and processing plant involved in extraction of chrysotile–asbestos and gabbro–basalt mineral groups are analyzed. Specifics of functioning of production and transportation systems are discussed. The types of production in the structure of the mining and processing plant, as well as the charts of performance and interaction of production units are determined. Material flows and cargo traffic are systematized, and their classification signs are identified. The volumes of material flows and cargo traffic, and their percentages in the overall freight hauling are calculated. The transportation flow chart of material flows and cargo traffic at the test plant are examined. Material flows and cargo traffic are classified by the types of cargo, transport and production, function, and regularity and continuity signs. It is also found that recently developing associate productions need novel logistics. An improved procedure of evaluating cargo traffic using coefficients of material consumption is proposed. The framework is created for the cargo traffic formation and for determining production and transportation resources at mines.

Key words: mining and processing plant, mine transport, chrysotile–asbestos, gabbro–basalt ore, production structure, material flow, cargo traffic, transportation system, identification, classification, material consumption coefficient.

For citation: Zhilinkov A. A., Lagunova Yu. A. Mathematical model of material flow analysis at asbestos mining and processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(3):168-181. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_3_0_168.

Введение

Горно-обогатительные комбинаты (ГОК) по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды имеют весьма разветвленную производственную и транспортную инфраструктуру. В составе крупного ГОКа функционируют подразделения основного, вспомогательного (обслуживающего) и сопутствующего производств, а также имеется центр управления.

Крупный ГОК — это большая техническая система, где процесс материалодвижения обеспечивается горнопромышленным транспортом и представляет собой производственно-транспортную систему (ПТС). В составе ПТС функционируют ведущая производственная и обслуживающая транспортная подсистемы [1].

Ведущая подсистема определяет технологию и ход производственного процесса, перечень и порядок выполнения технологических операций. Функции

ведущей системы ПТС включают подготовку к выемке, выемку, погрузочно-разгрузочные и перегрузочные работы, складирование горной массы, обогащение и переработку руд и пустой породы, складирование и отгрузку готовой продукции. Кроме того, ведущая подсистема ПТС формирует совокупный материальный поток (грузопоток), условия его трансформации, а также перечень и характеристики элементарных грузопотоков.

Функцией транспортной подсистемы ПТС является эффективное транспортное обслуживание ГОКа на всех требуемых грузопотоках с заданными параметрами (свойства груза, объем, направление, регламент) [2, 3].

Объектом исследования является процесс материалодвижения на крупном ГОКе по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды.

Цель исследования — разработка математической модели для оценки грузо-

потоков горно-обогатительного комбината по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды.

Методы исследований

Методологической основой работы является совокупность ряда методов, среди которых метод анализа, метод синтеза, метод обобщения, методы индукции и дедукции, метод классификации (таксономии), сравнительный метод.

Результаты исследования

Основное производство связано с процессами добычи, обогащения и переработки руд. В результате обогащения хризотил-асбестовой руды на обогатительной фабрике производится товарный асбест. Готовой продукцией производства по переработке габбро-базальтовой руды являются различные теплоизоляционные материалы. Добыча этих руд осуществляется открытым способом в карьерах, которые характеризуются общей производительностью 25–30 млн т горной массы в год, при этом на руду приходится 10–15 млн т/год. Общая площадь карьеров может достигать 40 км² и более, при длине карьера до 7,0–10,0 км, ширине 2,2–3,0 км и глубине до 350 м.

Вспомогательное (обслуживающее) производство на ГОКе включает ремонтное хозяйство, транспортные подразделения, складские комплексы, электросиловое и компрессорное хозяйство, дробильное хозяйство для собственных нужд, подразделения для прокладки и ремонта различных коммуникаций, непромышленные участки и отделы (проектно-конструкторские, материально-технического снабжения, социальной сферы и др.), лаборатории, различные предприятия, в том числе и дочерние.

Отдельно следует выделить сопутствующие производства. На рассматриваемых ГОКах параллельно основному

производству функционируют подразделения, которые выпускают побочные продукты из пустой и отвальной породы (строительные материалы, товары народного потребления, добавки к дорожной смеси и др.). В настоящее время такие производства расширяют свою деятельность и перечень выпускаемой продукции [4–6].

Технологический процесс основного производства по добыче, обогащению руды, выпуску готовой продукции включает следующие технологические операции:

- подготовительные работы;
- буровзрывные работы;
- вскрыша;
- добыча;
- транспортировка руды на склад;
- складирование;
- транспортировка руды на обогащение;
- обогащение и производство;
- транспортировка отходов (отвальной породы);
- отвалообразование;
- переработка отходов (отвальной породы).

Характеристика и перечень технологических операций основного, вспомогательного (обслуживающего) и сопутствующих производств приведены в табл. 1 [7–9].

Таким образом, крупный ГОК в своей структуре имеет подразделения добывающего производства (рудоуправление), перерабатывающих и ремонтных производств, а также транспортные подразделения (рис. 1):

- дробильно-обогатительная фабрика (ДОФ), производящая готовую продукцию (пакетированный асбест);
- дробление пустой породы внутри карьера (щебень, отсев, песок и др.);
- производство нерудных строительных материалов на периферии (камень бутовый, щебень разных фракций, пе-

Таблица 1

Характеристика производств на ГОКах по добыче и переработке хризотил-асбестовых и габбро-базальтовых руд

Characteristics of production facilities at mining and processing plants for the extraction and processing of chrysotile-asbestos and gabbro-basalt ores

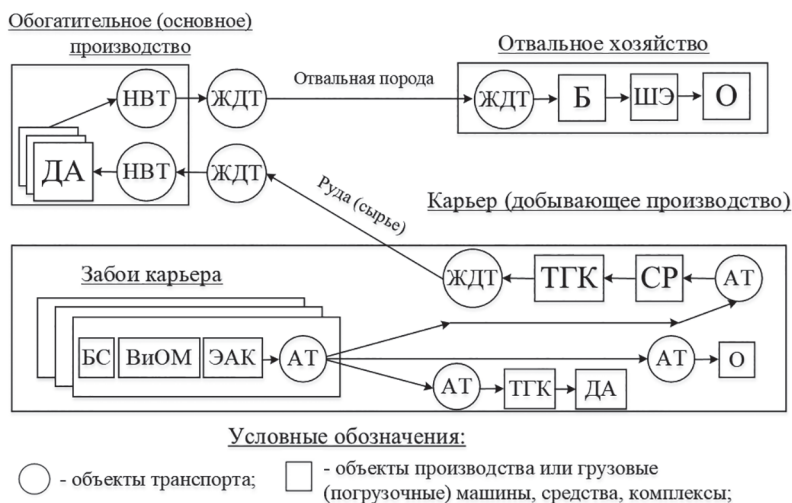
Вид производства		Наименование подразделения	Перечень технологических операций
Основное	Добыча	Рудоуправление и др. предприятия	подготовительные, буро-взрывные работы, вскрыша, добыча, складирование
	Обогащение (переработка)	ДОФ	стадийное дробление, грохочение, извлечение, упаковка, складирование
		ЗТИМ	плавление, извлечение, складирование, формирование, обрезка, упаковка, складирование
Вспомогательное	Транспортирование	АТЦ	технологические, вспомогательные и пассажирские перевозки
		УЖДТ	технологические перевозки
	Ремонт, обслуживание машин и оборудования	РМЗ	литье заготовок, механическая обработка, сварка и др. работы, в том числе профилактические
	Обустройство и содержание коммуникаций, зданий, сооружений	Различные службы и отделы	дробление дорожных материалов, обустройство и содержание дорог, электросиловых линий, различных объектов
	Материально-техническое снабжение	Отделы МТО, склады	доставка, хранение, распределение запчастей, материалов, инвентаря, инструмента и др.
Сопутствующее	Производство строительных материалов	Подразделения по переработке нерудных материалов	дробление, грохочение, складирование, отгрузка
	Переработка отвальной породы после ДОФ	Перерабатывающие подразделения	окомкование, отсеивание, складирование, упаковка, отгрузка и др.

сок, смеси, добавки, асбестоцементные изделия и др.);

- производство теплоизоляционных материалов (ТИМ) — тепло-, звукоизоляция, минеральная вата, базальтовая изоляция и др. на соответствующем заводе (ЗТИМ);
- переработка отходов отвальной породы (соединения магния, никеля, хлорит, хромит, кварц, кальценит);
- ремонтное производство (производство литья и заготовок, металлооб-

работка, сборка, текущие и капитальные ремонты, техническое обслуживание горных машин и подвижного состава);

- автотранспортное предприятие или цех (АТП или АТЦ) выполняет технологические и вспомогательные перевозки грузов, перевозку пассажиров);
- управление железнодорожного транспорта (УЖДТ) осуществляет технологические перевозки грузов, маневровую и вывозную работу, перевозки готовой продукции, всевозможных дру-



БС – буровой станок; ВиОТ – вспомогательные и обслуживающие машины; ЭАК – экскаваторно-автомобильный комплекс; О – отвал; АТ – автомобильный транспорт; ТГК – транспортно-грузовой (транспортно-погрузочный) комплекс; СР – склад руды; ДА – дробильный агрегат (установка); ЖДТ – железнодорожный транспорт; НВТ – непрерывный и внутрищелевой транспорт; Б – бункер; ШЭ – шагающий экскаватор

Рис. 1. Производственный процесс ГОКа по добыче и переработке пород хризотил-асбестовых и габбро-базальтовых групп

Fig. 1. The production process of the mining and processing plant for the extraction and processing of rocks of chrysotile-asbestos and gabbro-basalt groups

гих грузов, прибывающих с внешней сети.

Технологические внутрикарьерные перевозки горной массы осуществляются комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом. Железнодорожным транспортом руда доставляется с мест временного складирования внутри карьера на дробильно-обогательную фабрику (ДОФ). Этим же транспортом производится вывоз отходов (пустой отвалной породы) в отвальное хозяйство (см. рис. 1).

Автомобильный транспорт используется для транспортирования хризотил-асбестовой руды на пункты перевалки (складирования), а также для перевозки пустой породы к отвалам либо к дробильным агрегатам внутри карьера [10, 11].

К вспомогательным перевозкам как внутри карьера, так и на поверхности относятся различные хозяйственные пе-

ревозки для обустройства, содержания и ремонта всевозможных коммуникаций, сетей, автомобильных дорог, перевозки разнообразных материалов, запчастей, оборудования, мусора, отходов металла и др., а также пассажирские перевозки.

Внешние перевозки также осуществляются железнодорожным и автомобильным транспортом. Входящий грузопоток внешних перевозок формируют различные грузы, необходимые для обеспечения всего производства (хозяйственные грузы, запчасти, оборудование, узлы, агрегаты, детали, материалы, добавки, различные машины и др.). Выходящий грузопоток — это готовая продукция (пакетированный асбест, теплоизоляционные материалы, нерудные строительные материалы и другие продукты переработки отвалных пород).

Вышеперечисленные подразделения имеют межпроизводственные связи и постоянно взаимодействуют посредством

движения материальных потоков в прямом и обратном направлении. Специфической особенностью горных предприятий, как добывающих, так и обогащительных, является то, что имеется весьма ограниченное количество материальных потоков большого объема (горная масса, полезное ископаемое, пустая порода, готовая продукция).

На рис. 2 приведены данные по распределению грузопотоков (материальных потоков) на крупном ГОКе с объемом добычи 30 млн т в год хризотил-асбестовых и габбро-базальтовых руд.

Грузопотоки большого объема зарождаются, трансформируются и поглощаются подразделениями основного производства. Их относят, как правило, к технологическим перевозкам. По свойствам непрерывности материало-, грузо- и транспортные потоки большого объема могут быть как дискретными, так и непрерывными. По свойствам регулярности грузопотоки большого объема в рассматриваемых условиях носят детерминированный характер, но могут быть и вероятностными, когда этого тре-

бует конъюнктура рынка. Примером может служить повышение или понижение спроса на готовую продукцию (товарный асбест, ТИМ, НММ и др.).

Грузопотоки вспомогательного (обслуживающего) и сопутствующего производств имеют значительно меньшие объемы, но более расширенную номенклатуру. Большая часть данных грузопотоков относится к вспомогательным перевозкам [12 – 14].

Установлено, что в процессе материалодвижения и фазового преобразования:

- при выемке, погрузке-разгрузке, перегрузке, складировании горной массы (руды, пустой и отвалной породы) автомобильным и железнодорожным транспортом, при отгрузке готовой продукции в вагоны грузопотоки будут только дискретными, а по признаку регулярности могут быть как детерминированными, так и вероятностными (рис. 3);
- в подразделениях основного производства с технологическими линиями, где используется внутрицеховой специальный транспорт, потоки сырья, полу-

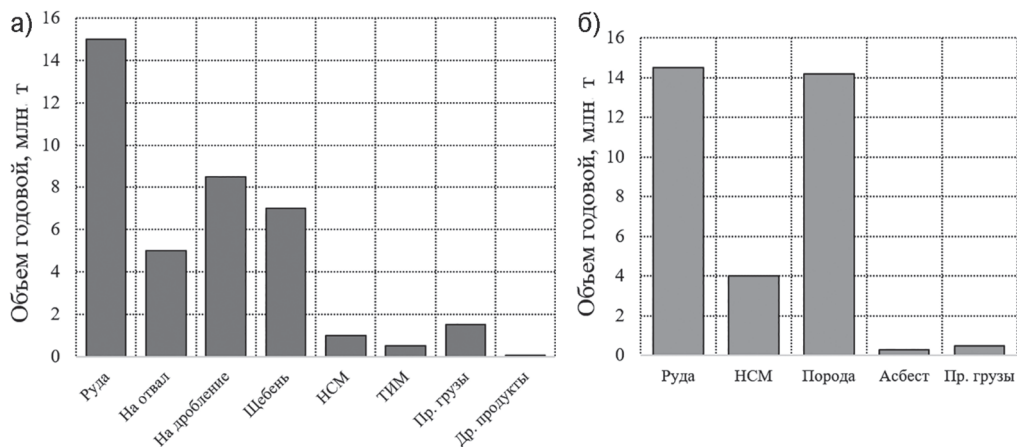


Рис. 2. Объемы основных грузопотоков крупного ГОКа по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды: грузопотоки автомобильного транспорта (а); грузопотоки железнодорожного транспорта (б)

Fig. 2. Volumes of the main cargo flows of a large mining and processing enterprise for the extraction and processing of chrysotile-asbestos and gabbro-basalt ore: cargo flows of road transport (a); freight flows of railway transport (b)

фабрикатов и готовой продукции имеют непрерывный и детерминированный характер (рис. 3);

- вспомогательные перевозки для нужд всех видов производств на ГОКе могут иметь дискретные грузопотоки детерминированного и вероятностного характера (рис. 4) [15, 16].

Каждое производственное подразделение, цех, транспортно-перегрузочный комплекс (ТГК) ГОКа характеризуется основным материальным потоком или основным грузопотоком, прибывающим в виде сырья или полуфабриката (промежуточного продукта) ($P_{вх}$), а также отправляемым в виде руды, породы, готовой продукции или полуфабриката ($P_{вых}$). Некоторые ТГК, такие как автомобильно-экскаваторные комплексы (ЭАК), имеют только грузопоток по отправлению [17 – 19].

Для расчета годового объема перевозок основные материальные потоки

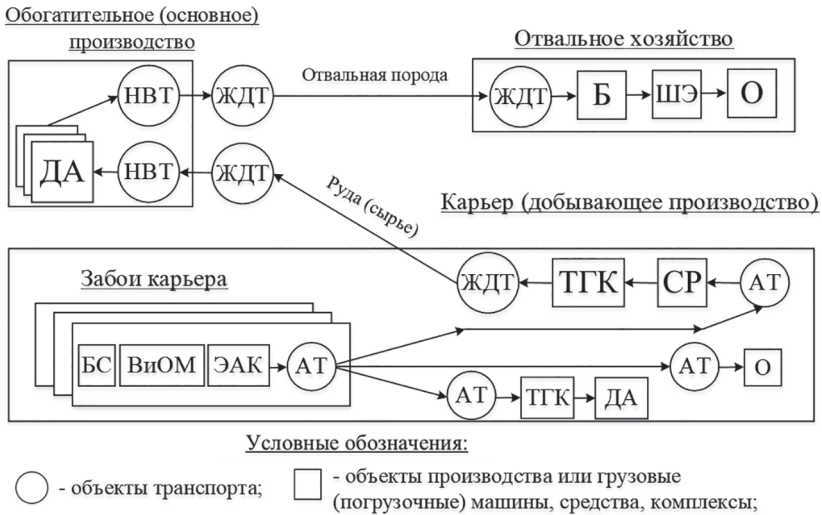
прибытия и отправления идентифицируются как основные грузы прибытия и отправления производственных подразделений (цехов).

$$P_{вх} = Q_{пр} \text{ и } P_{вых} = Q_{от}. \quad (1)$$

Каждое производственное подразделение, кроме основных материальных потоков прибытия ($Q_{пр}$) и отправления ($Q_{от}$), имеет определенную номенклатуру сопутствующих (вспомогательных) грузов прибытия ($q_{п}$) и отправления ($q_{от}$).

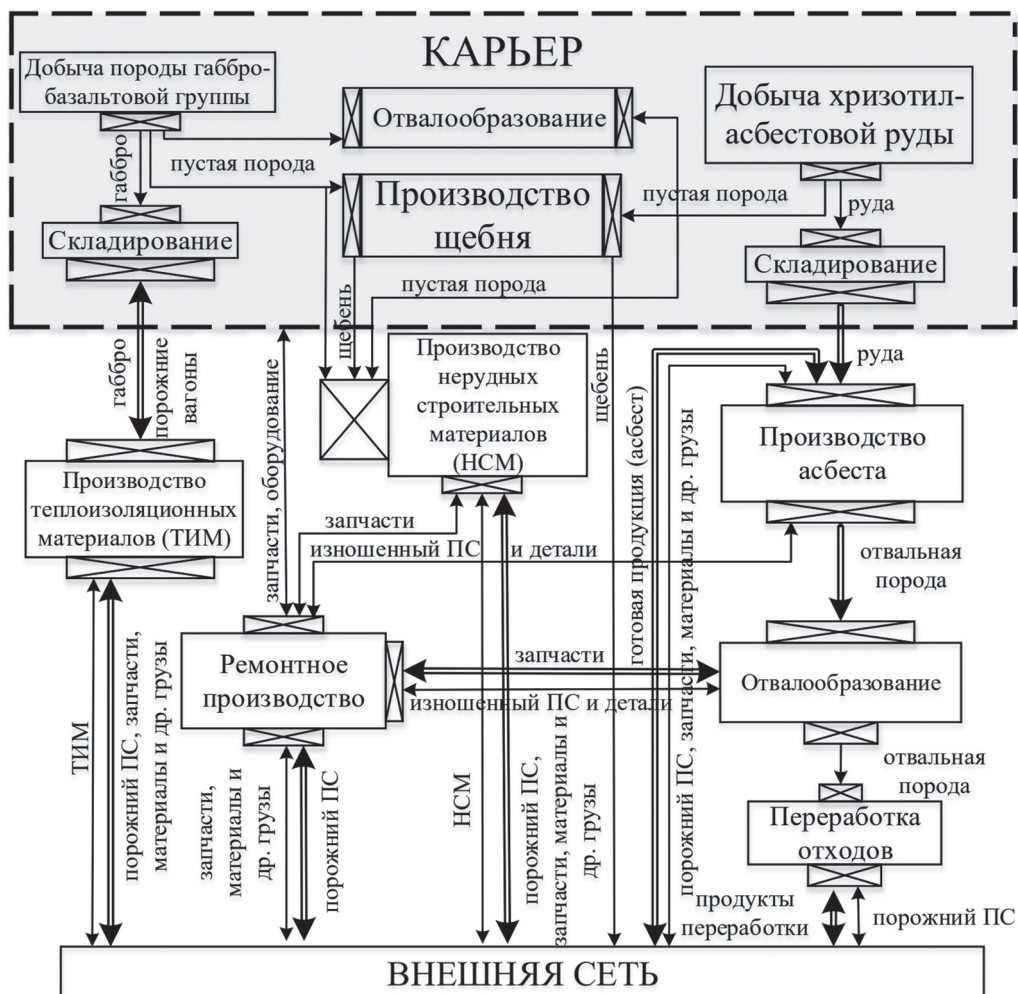
Все эти грузы характеризуются показателями качества, регламентированными технологиями производства, а также имеют на заданный период определенный объем и конкретное направление (адресность) перевозок. Следовательно, подача в цех и уборка этих грузов и являются элементарными грузопотоками предприятия (см. рис. 4) [20].

Перечень сопутствующих грузов определяется технологическим регламен-



БС – буровой станок; ВиОМ – вспомогательные и обслуживающие машины; ЭАК – экскаваторно-автомобильный комплекс; О – отвал; АТ – автомобильный транспорт; ТГК – транспортно-грузовой (транспортно-погрузочный) комплекс; СР – склад руды; ДА – дробильный агрегат (установка); ЖДТ – железнодорожный транспорт; НВТ – непрерывный и внутрицеховой транспорт; Б – бункер; ШЭ – шагающий экскаватор

Рис. 3. Структурные схемы движения и трансформации грузопотоков основного производства
Fig. 3. Structural diagrams of movement and transformation of cargo flows of the main production



Условные обозначения:

- грузо- и вагонопотоки железнодорожного транспорта (ЖДТ)
- грузопотоки автомобильного транспорта (АТ)
- транспортно-грузовой комплекс (ТГК)

Рис. 4. Транспортно-технологическая схема движения и трансформации материальных потоков крупного ГОКа по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды

Fig. 4. Transport and technological scheme of movement and transformation of material flows of a large mining and processing plant for the extraction and processing of chrysotile-asbestos and gabbro-basalt ore

том каждого производственного подразделения, цеха, ТГК.

Следовательно, схема грузопотоков производственного подразделения формируется как совокупность входных (q_n) и выходных (q_v) элементарных грузо-

потоков, объем которых определяется по основному выходящему грузу (руда, готовая или промежуточная продукция) $Q_{\text{вых}(i)}$.

Годовой объем перевозок каждого производственного подразделения фор-

мируется всеми элементарными грузопотоками прибытия и отправления. Фактический годовой объем грузопотока можно определить с помощью расходных технологических коэффициентов, устанавливающих потребность в данном виде груза на 1 т основной продукции.

$$q_{ij}^{np} = \Pi_{\phi_i} k_{p_{ij}}^{np}; q_{ij}^{om} = \Pi_{\phi_i} k_{p_{ij}}^{om}, \quad (2)$$

где $k_{p_{ij}}^{np}, k_{p_{ij}}^{om}$ — расходные коэффициенты i -го подразделения (цеха) j -го вида груза соответственно по прибытию и отправлению, тыс. т;

Годовой объем перевозок i -го подразделения, цеха или ТГК, тыс. т:

- по прибытию —

$$Q_{u_i}^{np} = \Pi_{\phi_i} \sum_{i=1}^m k_{p_{ij}}^{np}, \quad (3)$$

- по отправлении —

$$Q_{u_i}^{om} = \Pi_{\phi_i} \sum_{i=1}^m k_{p_{ij}}^{om}, \quad (4)$$

где n и m — количество грузопотоков прибытия и отправления.

Общий годовой объем перевозок подразделения, цеха или ТГК, тыс. т:

$$Q_{u_i} = Q_{u_i}^{np} + Q_{u_i}^{om}. \quad (5)$$

Если формулы (3) и (4) подставить в (5), то получим

$$Q_{u_i} = \Pi_{\phi_i} \sum_{j=1}^m (k_{p_{ij}}^{np} + k_{p_{ij}}^{om}). \quad (6)$$

Математическая модель для определения общего годового объема перевозок ГОКа, тыс. т:

$$Q_{ГОК} = \sum_{i=1}^n Q_{u_i} = \sum_{i=1}^n \left[\Pi_{\phi_i} \sum_{j=1}^m (k_{p_{ij}}^{np} + k_{p_{ij}}^{om}) \right]. \quad (7)$$

Исходными данными для подобных расчетов являются планируемый объем выемки горной породы и ряд расходных технологических коэффициентов. Для расчета значений расходных коэффициентов предложена следующая методика.

Все расходные коэффициенты разделены на три группы, им присвоены степени:

- расходные коэффициенты первой степени — показывают долю (процентное соотношение) полезных ископаемых (руды) или пустой породы в общем объеме добываемой горной массы, определяются выражениями (7);

- расходные коэффициенты второй степени — доля готовой продукции (полуфабриката), отвальной породы, побочных продуктов после извлечения из руды, можно рассчитать по выражению (8);

- расходные коэффициенты третьей степени — доля вспомогательных грузов, прочих отходов производства в соотношении с объемом готовой продукции подразделения, рассчитываются по выражению (9):

$$K'_{P(nu)} = \frac{q_p}{Q_{2m}}; K'_{P(nn)} = \frac{q_{nn}}{Q_{2m}}, \quad (8)$$

где Q_{2m}, q_p, q_{nn} — общие объемы горной массы, полезного ископаемого (руды) и пустой породы, соответственно, млн т (тыс. т).

$$K''_{P(2n)} = \frac{q_{2n}}{q_p}; K''_{P(on)} = \frac{q_{on}}{q_p}, \quad (9)$$

где q_{2n}, q_{on} — объемы готовой продукции и отвальной породы, соответственно, млн т (тыс. т).

$$K'''_{P(ij)} = \frac{q'_{ij}}{q_{2n}}; K'''_{P(ij)} = \frac{q''_{ij}}{q_{2n}}, \quad (10)$$

где q'_{ij}, q''_{ij} — объемы грузопотоков i -го подразделения (цеха) j -го вида вспомогательных грузов, соответственно по прибытию и отправлению, тыс. т.

С учетом формул (8)–(10), выражение (7) можно записать иначе:

$$Q_{ГОК} = \sum_{i=1}^n \left[\Pi_{\phi_i} \sum_{j=1}^m (K'_{P(ij)} + K''_{P(ij)} + K'''_{P(ij)} + K''''_{P(ij)}) \right] \quad (11)$$

Таблица 2

Пример расчета грузопотоков и общего объема перевозок дробильно-обогатительной фабрики в составе асбестового горно-обогатительного комбината
An example of calculating cargo flows and the total volume of transportation of a crushing and processing plant as part of an asbestos mining and processing plant

№ п/п	Наименование грузопотока	Откуда/куда	Расходный коэффициент	Значение	Вид транспорта
Прибытие					
1	Асбестовая руда	Карьер	1,00	11 115 000	ЖДТ
2	Материалы, запчасти, оборудование	ВС, РП	0,00 068	7 558,2	АТ, ЖДТ
Всего:				11 122 558	
Отправление					
1	Готовая продукция (асбест)	ВС	0,032	355 680	АТ, ЖДТ
2	Отвальная порода	Отвал	0,97	10 781 550	ЖДТ
3	Производственные отходы	Отвал и др.	0,00 067	7 447,05	АТ
4	Изношенные детали и оборудование	РП и др.	0,00 066	7 335,9	АТ, ЖДТ
Всего:				11 152 013	
Итого ДОФ:				22 274 571	

Таблица 3

Основные факторы, определяющие величину расходного технологического коэффициента
The main factors determining the value of the consumption technological coefficient

Класс расходного коэффициента	Вид груза, грузопотока	Основные факторы	Значение
I	Полезные ископаемые, руды, грунт, пустая порода	Физико-химические свойства горной массы, геологические, природно-климатические условия, способ выемки и технология ведения горных работ, производительность предприятия, особенности транспортной системы, структура производства, квалификация работников добывающего производства	< 1,00
II	Готовая продукция, полуфабрикаты, концентраты, продукты обогащения, побочные продукты, отходы обогащения, производства, обработки	Физико-химические свойства руд (полезных ископаемых), геологические, природно-климатические условия, способ и технология обогащения, переработки и производства, структура и производительность предприятия, квалификация работников обогатительного производства	< 1,00 > 1,00
III	Вспомогательные грузы, различные материалы, запчасти, оборудование, машины, изношенные детали, неисправные машины и оборудование и прочее	Технология и особенности производства, технического обслуживания и ремонта горных машин, ТГК, зданий, сооружений, оборудования, качество машин, оборудования, материалов, запчастей, квалификация работников обслуживающего производства	< 1,00

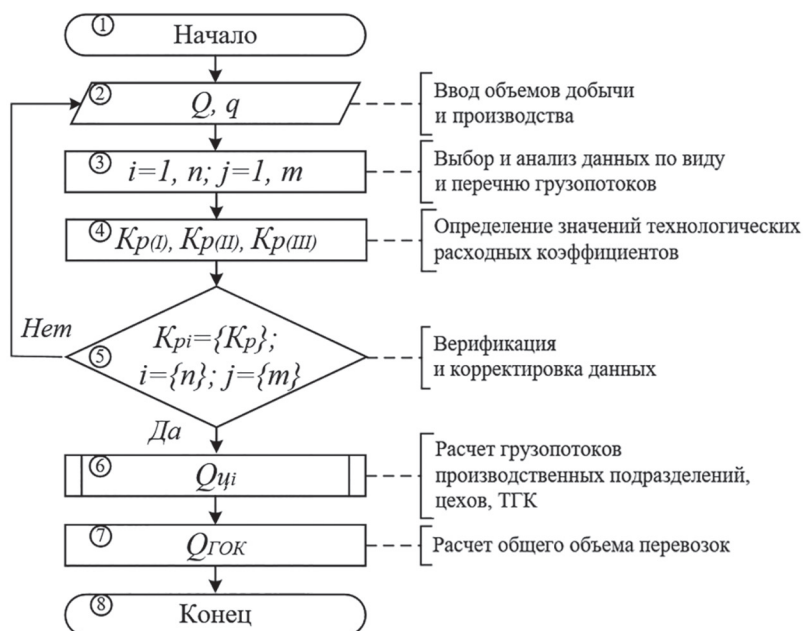


Рис. 5. Блок-схема алгоритма для расчета величины грузопотоков и общего объема перевозок горнодобывающего предприятия (открытый способ добычи и последующее обогащение)

Fig. 5. Block diagram of the algorithm for calculating the value of cargo flows and the total volume of transportation of a mining enterprise (open-pit mining and subsequent enrichment)

На рис. 5 показана блок-схема алгоритма расчета общего объема перевозок и величины грузопотоков горнодобывающего предприятия с карьером. Пример расчета для одного из перерабатывающих подразделений асбестового ГОКа — дробильно-обогажительной фабрики (ДОФ), приведен в табл. 2.

Наиболее ответственным этапом приведенных расчетов является установление значений расходных технологических коэффициентов. Их перечень и величина зависят от множества факторов и могут изменяться с течением времени.

При этом каждому расходному коэффициенту соответствует свой диапазон значений, а сами коэффициенты имеют значения либо больше, либо меньше единицы (табл. 3).

Для установления фактических значений конкретных расходных коэффициентов нужно использовать данные о производственном процессе, способе добы-

чи, технологии ведения различных работ, условиях работы и др. Таким образом, предложенную методику можно использовать для определения величин элементарных грузопотоков всех производственных подразделений, цехов и ТПК, а также общего объема перевозок ГОКа.

Выводы

1. Крупные ГОКи по добыче и переработке хризотил-асбестовой и габбро-базальтовой руды имеют разветвленную структуру с несколькими перерабатывающими производствами.

2. В ходе анализа выполнена идентификация материальных потоков крупного асбестового горно-обогажительного комбината и установлены характерные признаки для их классификации.

3. Основные и наибольшие по величине грузопотоки на данных предприятиях — это руда и отвальная порода. Но из-за наличия нескольких видов по-

лезных ископаемых и видов готовой продукции номенклатура перевозимых грузов весьма широка.

4. Для оценки величины грузопотоков и общего объема перевозок горных предприятий предложена усовершен-

ванная методика на основе расходных технологических коэффициентов.

5. Создана основа для разработки метода формирования грузопотоков и определения объема производственных и транспортных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдин А. В., Шестаков В. С. Системный подход, принципы формирования и критерии оценки перегрузочных систем с гибкими свойствами // Известия УГГУ. — 2019. — № 4(56). — С. 118 — 126. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-4-118-126.

2. Жилинков А. А., Маслак А. В., Парунакян В. Э. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта при грузопереработке в процессе материалодвижения предприятий / Инновационная наука, образование, производство и транспорт: техника и технология. — Одесса, 2018. — С. 80 — 96. DOI: 10.30888/978-617-7414-51-2.0-023.

3. Behjati R., Nejati S. Architecture-level configuration of industrial control systems foundations for an efficient approach // Science of Computer Programming. 2018, vol. 160, pp. 30 — 47. DOI: 10.1016/j.scico.2017.10.001.

4. Агафонов О. А., Афонина Н. Б. Уточнение методов расчета грузопотоков конвейерных транспортных систем угольных шахт // Горная промышленность. — 2023. — № 6. — С. 89 — 94. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-6-89-94.

5. Бахтурин Ю. А. Параметрическая адаптация транспортных систем карьеров на основе универсальной интерактивной имитационной модели // Проблемы недропользования. — 2018. — № 4. — С. 71 — 80. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.071.

6. Яковлев В. Л., Яковлев В. А. Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. — 2018. — № 6. — С. 118 — 126. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-118-126.

7. Трейман М. Г., Копанская А. А. Анализ технико-экономических показателей транспортных систем горно-обогатительных комплексов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. — 2020. — № 4(43). — С. 17 — 28. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-4-17-28.

8. Балашов А. М. Тенденции цифровизации производственных процессов в горном деле // Горная промышленность. — 2023. — № 3. — С. 134 — 137. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-134-137.

9. Nehring M., Knights P. F., Kizil M. S., Hay E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems // International Journal of Mining Science and Technology. 2018, vol. 28, pp. 205 — 214.

10. Parhizkar A. Location theory applied to optimize the position of road exit(s) in open pit mining (case study) // Arabian Journal of Geosciences. 2018, vol. 11, article 796. DOI: 10.1007/s12517-018-4165-3.

11. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks // Automation in Construction. 2018, vol. 87, pp. 297 — 308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.

12. Коптев В. Ю. Структурная оптимизация транспортных систем горнодобывающих предприятий // Проблемы современной науки и образования. — 2016. — № 3. — С. 121 — 123.

13. Громов Е. В., Билин А. Л., Белгородцев О. В., Наговицын Г. О. Обоснование вида и параметров горнотранспортных систем при освоении рудных месторождений в условиях Кольского полуострова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 4. — С. 70 — 78. DOI: 10.15372/FTPPI20180409.

14. Журавлев А. Г., Бахтурин Ю. А., Берсенев В. А., Черепанов В. А., Семенкин А. В. Обоснование методов адаптации горнотранспортных систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений // Проблемы недропользования. — 2019. — № 3. — С. 117 — 129.

15. Кулешов А. А., Васильев К. А., Докукин В. П., Коптев В. Ю. Анализ вариантов транспортирования руд от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК «АЛРОСА» // Горный журнал. — 2003. — № 6. — С. 13–17.

16. Galkin V. I., Sheshko E. E., Dyachenko V. P., Szazankova E. S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry // Eurasian Mining. 2021, no. 2. pp. 64–68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.

17. González H., Morales N. Optimal selection and assignment of loading equipment for the compliance of an open-pit production plan / Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection — MPES 2018. Springer, 2019, pp. 245–254.

18. Насиров У. Ф., Заиров Ш. Ш., Каримов Ш. В. Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах // Уголь. — 2023. — № 12. — С. 67–72. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-67-72.

19. Хорешок А. А., Дубинкин Д. М., Марков С. О., Тюленев М. А. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2021. — № 6. — С. 85–93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.

20. Matsimbe J. Optimization of shovel-truck productivity in quarries // International Journal of Research in Advent Technology. 2020, vol. 8, no. 10, pp. 1–9. DOI: 10.32622/ijrat.810202008. **PLAB**

REFERENCES

1. Yudin A. V., Shestakov V. S. Systems approach, principles of formation and evaluation criteria for reloading systems with adaptable properties. *News of the Ural State Mining University*. 2019, no. 4(56), pp. 118–126. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-4-118-126.

2. Zhilinkov A. A., Maslak A. V., Parunakyan V. E. Improving the efficiency of interaction between production and transport during cargo processing in the process of material movement of enterprises *Innovatsionnaya nauka, obrazovanie, proizvodstvo i transport: tekhnika i tekhnologii* [Innovative science, education, production and transport], Odessa, 2018, pp. 80–96. [In Russ]. DOI: 10.30888/978-617-7414-51-2.0-023.

3. Behjati R., Nejati S. Architecture-level configuration of industrial control systems foundations for an efficient approach. *Science of Computer Programming*. 2018, vol. 160, pp. 30–47. DOI: 10.1016/j.scico.2017.10.001.

4. Agafonov O. A., Afonina N. B. Refinement of methods for calculating the material flows of conveyor transportation systems in coal mines. *Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. 6, pp. 89–94. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-6-89-94.

5. Bakhturin Yu. A. Parametric adaptation of the open-cut transport systems on the basis of universal interactive simulation model. *Problems of Subsoil Use*. 2018, no. 4, pp. 71–80. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.071.

6. Iakovlev V. L., Iakovlev V. A. Open pit transport systems formation with the account of adaptation to deep-lying complex-structured deposits development changing conditions. *Minerals and Mining Engineering*. 2018, no. 6, pp. 118–126. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-118-126.

7. Treyman M. G., Kopanskaj A. A. Analysis of technical and economic indicators of transport systems mining and processing complexes. *Scientific journal NRU ITMO. Series Economics and Environmental Management*. 2020, no. 4(43), pp. 17–28. [In Russ]. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-4-17-28.

8. Balashov A. M. Trends in digitalization of production processes in mining. *Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. 3, pp. 134–137. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-134-137.

9. Nehring M., Knights P. F., Kizil M. S., Hay E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, pp. 205–214.

10. Parhizkar A. Location theory applied to optimize the position of road exit(s) in open pit mining (case study). *Arabian Journal of Geosciences*. 2018, vol. 11, article 796. DOI: 10.1007/s12517-018-4165-3.

11. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks. *Automation in Construction*. 2018, vol. 87, pp. 297–308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.

12. Koptev V. Yu. Structural optimization of transport systems of mining enterprises. *Problems of modern science and education*. 2016, no. 3, pp. 121 – 123. [In Russ].
13. Gromov E. V., Bilin A. L., Belogorodtsev O. V., Nagovitsyn G. O. Substantiation of mining-and-transportation system type and parameters for mining of ore deposits in the conditions of the on the Kola Peninsula. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2018, no. 4, pp. 70 – 78. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRP120180409.
14. Zhuravlev A. G., Bahturin U. A., Bersenev V. A., Cherepanov V. A., Seminkin A. V. Substantiation of methods of adaptation of mining transport systems to changing conditions of development of complex-structured deep-lying deposits. *Problems of Subsoil Use*. 2019, no. 3, pp. 117 – 129. [In Russ].
15. Kuleshov A. A., Vasiliev K. A., Dokukin V. P., Koptev V. Y. Analysis of options for transporting ore from a quarry to a processing plant in the conditions of AK «ALROSA». *Gornyi Zhurnal*. 2003, no. 6, pp. 13 – 17. [In Russ].
16. Galkin V. I., Sheshko E. E., Dyachenko V. P., Sazankova E. S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry. *Eurasian Mining*. 2021, no. 2. pp. 64 – 68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
17. González H., Morales N. Optimal selection and assignment of loading equipment for the compliance of an open-pit production plan. *Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2018*. Springer, 2019, pp. 245 – 254.
18. Nasirov U. F., Zairov Sh. Sh. & Karimov Sh. V. Research and evaluation of process fleet for effective haulage of rock mass in deep open pits. *Ugol'*. 2023, no. 12, pp. 67 – 72. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-67-72.
19. Khoreshok A. A., Dubinkin D. M., Markov S. O., Tyulenev M. A. On changes of efficient productivity of excavators when using dump trucks with different body capacity. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021, no. 6, pp. 85 – 93. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
20. Matsimbe J. Optimization of shovel-truck productivity in quarries. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2020, vol. 8, no. 10, pp. 1 – 9. DOI: 10.32622/ijrat.810202008.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жилинков Александр Александрович^{1,2} – канд. техн. наук, доцент, e-mail: aa.zhilinkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3252-8577,

Лагунова Юлия Андреевна^{1,2} – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3828-434X,

¹ Уральский государственный горный университет,

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Для контактов: Лагунова Ю.А., e-mail: yu.lagunova@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Zhilinkov^{1,2}, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: aa.zhilinkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3252-8577,

Yu.A. Lagunova^{1,2}, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3828-434X,

¹ Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia,

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Eltsin, 620002, Ekaterinburg, Russia.

Corresponding author: Yu.A. Lagunova, e-mail: yu.lagunova@mail.ru.

Получена редакцией 16.07.2024; получена после рецензии 25.11.2024; принята к печати 10.02.2025.

Received by the editors 16.07.2024; received after the review 25.11.2024; accepted for printing 10.02.2025.