

УДК 622.271.06.22 : 004.9

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУДНОГО СЫРЬЯ
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Е. В. Громов, В. В. Бирюков, А. М. Зотов

*Горный институт КНЦ РАН, E-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,
ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Россия*

Показаны особенности использования информационных технологий для повышения эффективности и безопасности комплексного освоения недр. Представлены результаты работ по созданию информационного ресурса для хранения и обработки данных месторождений редкоземельного и редкометалльного сырья. Приведен пример реализации комплексного подхода к освоению георесурсов в условиях экологических ограничений на месторождении Партомчорр, расположенного в Арктической зоне РФ. Обоснованы малоотходные технологии добычи, переработки и складирования рудного и техногенного сырья. Приведены наиболее значимые направления исследований в области автоматизации и роботизации горных работ.

Комплексное освоение месторождений, Арктическая зона РФ, экологические ограничения, информационные технологии, компьютерное моделирование, геотехнология, автоматизация и роботизация горных работ, обогащение полезных ископаемых

DOI: 10.15372/FTPRPI20180613

Развитие горнодобывающей промышленности России в значительной мере зависит от создания новых технологий, которые должны способствовать повышению эффективности добычи и комплексной переработки стратегического минерального сырья и будут отвечать современным требованиям энерго- и ресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности. В современных реалиях создание прогрессивных технологий невозможно без мощного развития информационного обеспечения, дающего новый импульс исследованиям в результате получения новых знаний моделированием объектов и процессов горного производства, управлением этими процессами, выявлением закономерностей и прогнозированием параметров горных работ, выполнением и анализом многовариантных расчетов при решении различного рода оптимизационных задач. В настоящей работе представлены результаты исследований, выполненные Горным институтом КНЦ РАН, по созданию и применению информационных технологий добычи, переработки и обеспечения горных работ для реализации комплексного подхода к освоению георесурсов в условиях Арктической зоны РФ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 14-17-00761П).

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Для создания единой базы данных и кадастра редкоземельного и редкометалльного сырья Кольского полуострова с целью обеспечения оперативности накопления, систематизации и анализа данных, получаемых в ходе исследований, разработан специализированный информационный ресурс, включающий в себя средства хранения и обработки данных, получаемых от разных групп специалистов [1].

Учитывая специфику задач, требующих полное описание месторождений редкоземельного и редкометалльного сырья и способов их разработки, архитектура информационного ресурса включает в себя: свойства минерального сырья (минеральный состав, структурно-текстурные особенности, физико-механические свойства); характеристики рудного сырья; технологии его добычи и переработки, а также складирования и сохранения сырья техногенных месторождений. Также в структуре информационного ресурса присутствует раздел оценки эколого-экономической эффективности разработки техногенных месторождений, по результатам которой можно делать выводы относительно целесообразности его эксплуатации.

Для оперативного внесения актуализированных и формализованных данных в базу информационного ресурса разработаны программные модули интеграции и визуализации предметно-ориентированных данных. Основным форматом, в котором находятся исходные данные, является формат электронного документа Microsoft Word. Он удобен для наглядного представления информации, но если речь идет об анализе данных, то возникает необходимость формализации этих данных. База данных информационного ресурса, в свою очередь, имеет структуру данных MySQL, в которой каждый отдельный блок (таблица), например минеральный состав отдельного вида сырья, выполнен в виде набора пар полей “Имя” – “Значение”, где каждому полю “Имя” в текстовом формате отвечает поле “Значение” в числовом или текстовом формате. Такой формат представления данных позволяет проводить выборку интересующей информации, анализировать эти данные и отображать результаты анализа.

Возникает необходимость конвертации электронного документа в формате Microsoft Word в промежуточный текстовый формат, что дает возможность перевести полученные данные в формат базы данных MySQL, используя разработанный программный модуль интеграции предметно-ориентированных данных.

Управление базой данных информационного ресурса осуществляется при помощи пользовательского приложения, выполненного при помощи скриптового языка программирования общего назначения PHP, языка гипертекстовой разметки HTML и технологии каскадных таблиц стилей CSS. Структура пользовательского приложения позволяет добавлять функциональные блоки, расширяющие функциональность этого приложения. Одним из таких блоков или программных модулей является так называемый плагин — независимо компилируемый программный модуль, динамически подключаемый к основной программе и предназначенный для расширения ее возможностей, который может проводить формализацию и загрузку информации в базу данных информационного ресурса.

Принцип работы плагина основан на синтаксическом анализе исходного электронного документа в формате Microsoft Word, в процессе которого исходный текст преобразуется в структурированный файл в формате XML — расширяемом языке разметки, удобном для создания и обработки документов программами и одновременно удобном для чтения и создания документов пользователем.

Для непосредственного занесения данных в базу информационного ресурса файл в формате XML подвергается обработке, называемой парсингом. В процессе парсинга программный модуль построчно проходит по всему документу, интерпретируя нужную информацию, и при помощи языка структурированных запросов SQL данные передаются в соответствующие таблицы базы информационного ресурса.

Разработанный программный модуль интеграции предметно-ориентированных данных позволяет формализовать отдельные виды данных и заносить информацию в базу информационного ресурса в автоматизированном режиме. Такой подход к наполнению информационного ресурса разрешает оперативно обмениваться необходимой информацией, использовать ее для анализа, формировать отчеты. Разработанный информационный ресурс и сформированная на его основе база данных перспективных месторождений редкоземельного и редкометального сырья служат основой для последующей геолого-экономической оценки эффективности освоения и обоснования организационно-технических и технологических решений по их добыче и переработке.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основе комплексного подхода к оценке эффективности освоения перспективных месторождений Арктической зоны РФ, базирующегося на разработанном информационном ресурсе, компьютерном моделировании параметров геотехнологии и оптимизации технологических решений по экономико-экологическому фактору, выполнено обоснование геотехнологии освоения месторождения комплексных апатит-нефелиновых руд Партомчорр (содержащих редкоземельные элементы и металлы), расположенного вблизи проектируемых и существующих особо охраняемых природных территорий. Проведен подсчет и корректировка запасов, что позволило уточнить количество и характер распределения полезных компонентов в массиве. Выполнено научное обоснование комбинированного способа разработки месторождения, обеспечивающего значительное ускорение начала горных работ и поддержание стабильной производственной мощности по руде в период строительства и развития подземного рудника (на протяжении 9 лет). На этапе открытых горных работ (ОГР) определены параметры новой конструкции борта карьера, включающие формирование 4 компактных добычных участков. Рациональное размещение объектов горно-обогачительного комбината (ГОКа) дало возможность разместить обогачительное хозяйство на единой промплощадке с рудником и реализовать внутреннее складирование отвалов вскрыши и хвостов обогащения, снизив размеры экологических платежей при повышении общей экономической эффективности разработки.

На этапе подземных горных работ для первой очереди отработки представлены способ и схема вскрытия с применением малолюдных конвейерных транспортных систем, параметры селективной выемки с предконцентрацией отбитой руды, обеспечивающие возможность утилизации отходов предконцентрации и породы от проходки в подземных условиях [2, 3].

Выполнены исследования минерального состава бедной апатитсодержащей руды с целью разработки эффективных схем обогащения и оценки целесообразности комплексной переработки с получением всех возможных полезных компонентов. Предложена схема комплексной переработки апатит-нефелиновых и сфен-apatитовых типов руд с использованием эффективных реагентных режимов, обеспечивающих селективное разделение нефелина и темноцветных минералов (рис. 1). В результате комплексного обогащения апатитсодержащей руды получены пять концентратов, удовлетворяющих требованиям соответствующих ГОСТов и ТУ (табл. 1) [4].

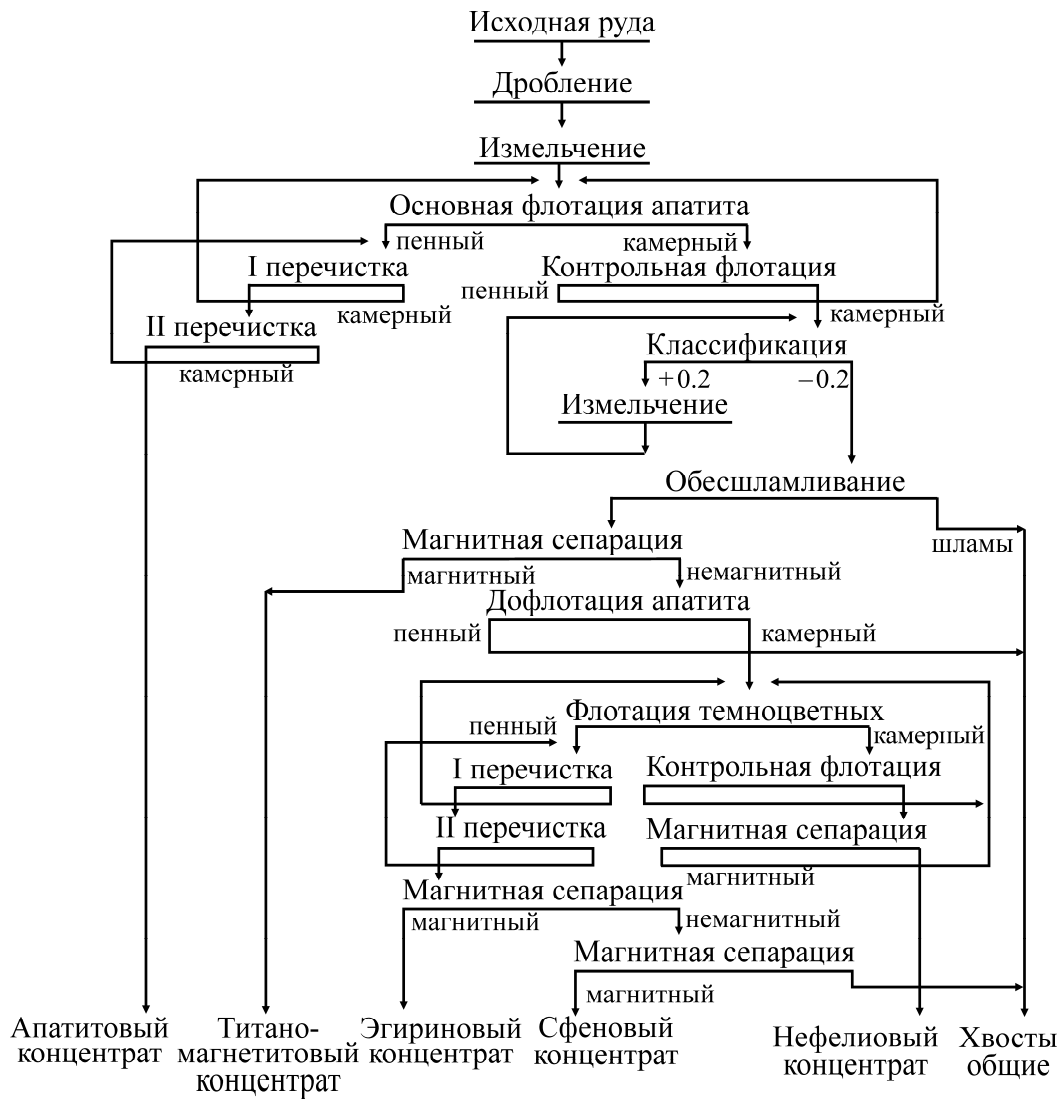


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема комплексного обогащения руды

ТАБЛИЦА 1. Результаты комплексного обогащения бедной апатитсодержащей руды, %

Продукт	Выход	Содержание					Извлечение				
		P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO
Апатитовый концентрат	14.91	39.41	0.56	0.41	0.36	0.20	88.48	0.55	1.02	0.84	0.80
Нефелиновый концентрат	36.33	0.12	29.95	1.21	1.81	0.39	0.66	71.02	7.34	10.29	3.79
Титано-магнетитовый концентрат	6.53	0.37	1.85	15.74	39.06	32.22	0.36	0.79	17.16	39.92	56.26
Эгириновый концентрат	18.68	0.32	5.07	6.03	9.04	6.09	0.90	6.18	18.80	26.43	30.42
Сфеновый концентрат	6.73	0.84	2.81	35.46	1.23	0.26	0.85	1.23	39.84	1.30	0.47
Общие потери	16.82	3.45	18.43	5.64	8.06	1.84	8.75	20.23	15.84	21.22	8.26
Руда	100.0	6.64	15.32	5.99	6.39	3.74	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

В едином цикле малоотходной технологии добычи с внутренним складированием отходов обоснована технология обезвоженной укладки хвостов обогащения с использованием очистных пространств открытых и подземных горных работ. Технические решения по формированию хвостохранилища включают: обезвоженную укладку хвостов в карьерное и частично подземное очистные пространства, складирование оставшихся объемов в хвостохранилище косогорного типа близи промышленной площадки, что в совокупности позволяет уменьшить в 5.5 раза дальность транспортировки и в 2.22 раза площадь поверхностного хвостохранилища (рис. 2), а также дает возможность отказаться от организации пруда-отстойника, сократив тем самым производственные затраты и экологические платежи. Технические характеристики предлагаемого и традиционного варианта складирования хвостов за период отработки месторождения представлены в табл. 2.

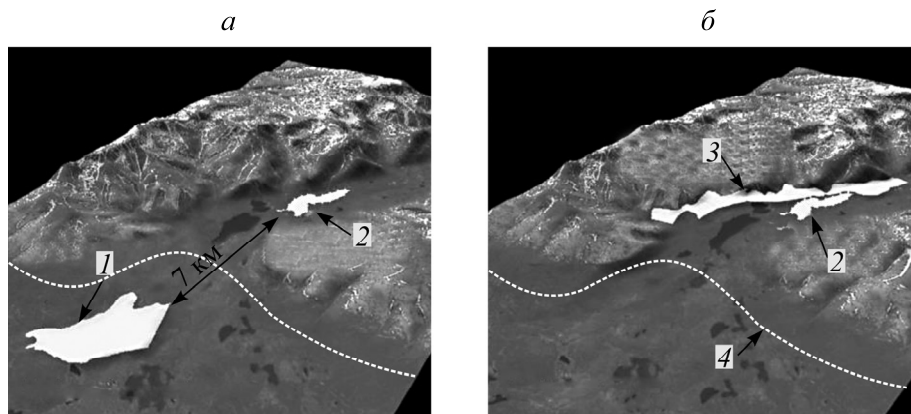


Рис. 2. Варианты размещения хвостохранилищ относительно промплощадки ГОКа: *а* — на равнине в отдалении от мест добычи; *б* — косогором с обезвоженной укладкой на промплощадке рудника; 1 — традиционный вариант; 2 — контур промплощадки ГОКа; 3 — предлагаемый вариант; 4 — граница Симбозерского природного заказника

ТАБЛИЦА 2. Характеристика вариантов складирования хвостов на ГОКе “Партомчорр”

Параметр	Малоотходная геотехнология	Традиционный подход
Годовая добыча руды, тыс. т	7 000	7 000
Количество руды, поступающей на фабрику, тыс. т	5 235	7 000
Качество руды, поступающей на фабрику по P ₂ O ₅ , %	8.75	6.41
Объем хвостов за период отработки, тыс. м ³	285607.8	467 068.3
на поверхности	181 922	467 068.3
в карьерном пространстве	35 000	—
в подземных условиях	103 650.8	—
Средняя дальность транспортирования до поверхностного хвостохранилища, км	1.5	8.1
Необходимая вместимость поверхностного хвостохранилища, тыс. м ³	223 594.75	518 964.82
Необходимая площадь поверхностного хвостохранилища, тыс. м ²	1 821.86	4 051.56

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Опыт последних десятилетий и прогноз развития горнодобывающей промышленности показывают, что добыча основной доли полезных ископаемых (более 75 %) осуществляется на крупных и уникальных месторождениях. Высокая производительность их разработки предопределяет быстрый уход горных работ на большую глубину, сопровождающуюся, как правило, усложнением горно-геологических и геомеханических условий отработки. Радикальным решением проблемы безопасности горных работ в таких условиях является переход на малолюдные, а в перспективе и безлюдные технологии добычи [5]. Проблема автоматизации добычи руды, как и вопросы управления этим процессом посредством информационных технологий последние десятилетия достаточно широко обсуждаются в научных кругах. Наиболее полные и комплексные решения проблемы в этом направлении достигнуты компаниями: LKAB (Швеция), Kemi (работает по концепции Intelligent mine), Pyhasalmi (Финляндия), Inca (Канада), Freerport (Индонезия), Rio Tinto (Австралия), Petra Diamonds (ЮАР) и др.

Автоматизация погрузочно-доставочных работ внедрена на ряде зарубежных предприятий, таких как Kvarntorp (Швеция), Kidd mine (Glencore, Канада), Diavik (Rio Tinto, Канада), Finsch (Petra Diamonds, ЮАР), Northparkes (China Molybdenum Group, Австралия), Andina (Codelco, Чили). Ведущими мировыми поставщиками полных комплексов коммерческого программного обеспечения для автоматизации погрузочно-доставочных работ и оборудования являются Caterpillar (США), Atlas Copco, Sandvik (Швеция), Hitachi (Япония). Ведутся работы по созданию автономных карьерных самосвалов компанией БЕАЗ (Белоруссия) и др. Над реализацией безлюдной работы всего горного оборудования открытых горных работ в рамках проекта Интеллектуальный карьер активно работают компании ВИСТ Майнинг Технолоджи (VIST ROBOTICS) (Россия). Компания Remote Control Technologies (Австралия) — один из мировых лидеров в системах интеллектуального дистанционного управления, телематики и автоматического дистанционного управления техникой как для открытых, так и для подземных горных работ [6].

Компанией Sandvik проведены опытно-промышленные испытания дистанционной самоходной техники на рудниках Kidd mine, Finsch и Northparkes и обосновано увеличение производительности на 23–121 %, срока службы оборудования — на 20 %, снижение количества парка техники на 30 %, операторов — на 60–80 % [7].

В настоящее время выделяют 4 уровня автоматизированного управления техникой: дистанционное управление в пределах прямой видимости, телематическое управление в карьере или подземных условиях, полуавтоматическое управление с поверхности, автоматическое управление. Достоинства и недостатки этих систем представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Достоинства и недостатки различных уровней дистанционного управления техникой

Уровень автоматизации	Достоинства	Недостатки
1. Система дистанционного управления в пределах прямой видимости	Повышение безопасности персонала Умеренная стоимость	Высокий риск повреждения
2. Система телематического управления в карьере или подземных условиях	Значительное повышение безопасности персонала Умеренная стоимость Повышение времени использования техники	Высокий риск повреждения
3. Система полуавтоматического управления с поверхности	Значительное повышение безопасности персонала и времени использования техники Низкий риск повреждения и рост срока службы	Высокая стоимость
4. Система автоматического управления	Значительное повышение безопасности персонала и времени использования техники Низкий риск повреждения и рост срока службы Управление несколькими единицами техники	Высокая стоимость

Несмотря на значительный интерес к проблеме автоматизации горных работ, отсутствуют комплексные исследования по ряду перспективных транспортных систем (конвейерные поезда, различные модификации конвейерного и железнодорожного транспорта, дизель-троллейбусы, высокопроизводительные автопоезд и двухмоторные автосамосвалы и др.), направленные на оценку эффективности их применения с учетом специфики горно-геологических, климатических условий, технологии добычи, а также вещественного состава сырья и особенностей дальнейшей его переработки [8, 9].

Дальнейшие исследования следует направить на разработку подходов к обоснованию выбора и параметров конкретных транспортных систем для различных условий работ, оптимальных уровней и систем автоматизации. При этом необходимо комплексно учитывать риски опасных техногенных явлений, дополнительные затраты на создание безопасных условий труда и ликвидации последствий возможных аварийных ситуаций.

Горным институтом КНЦ РАН на примере месторождения Партомчорр выполнена оценка эффективности вскрытия (табл. 4) и подготовки запасов (табл. 5) с применением традиционных и перспективных (в том числе на дистанционном управлении) видов транспорта. В качестве критерия эффективности принят минимум удельных затрат на транспортирование и подъем с учетом экологических платежей. Исследования проводились при различных значениях производственной мощности рудника, в результате чего получены аналитические зависимости затрат на подъем руды (рис. 3а) и на ее внутрирудничное транспортирование (рис. 3б) от годовой производительности рудника.

ТАБЛИЦА 4. Характеристика способов вскрытия [2]

Способ вскрытия и применяемый транспорт	Угол, град	Длина, м	Высота подъема, м
Конвейерными стволами*:			
<i>наклонным с ленточными конвейерами</i>	12	1493	355
<i>крутонаклонным с конвейером RailCON</i>	50	463	
<i>вертикальным с конвейером Pocketlift</i>	90	355	
Вертикальным скиповым стволом	90	452	452
Наклонными автосъездами:			
– с подземными автосамосвалами	10	2050	355
– с поверхностными автосамосвалами**	10	2050	
– с троллейбусами	11	1860	
Наклонным стволом с конвейерными поездами на дистанционном управлении	11	1860	355

* Курсивом выделены схемы с применением перспективных видов транспорта.

** Учитывались опытно-промышленные испытания АО «АЛРОСА» на Удачинском ГОКе по использованию специально разработанных компанией Scania поверхностных седельных тягачей с полуприцепами, оснащенных каталитическими нейтрализаторами выхлопных газов, дающих возможность их эксплуатации в подземных условиях [10].

На основе полученных закономерностей (рис. 3) установлено, что для условий месторождения Партомчорр, при предполагаемой годовой производительности рудника 7 млн т/год, транспортирование руды по откаточному горизонту рационально осуществлять конвейерными поездами на дистанционном управлении (табл. 5), а подъем — наклонными или крутонаклонными конвейерами (табл. 4). Экономия по себестоимости процессов достигает 29 и 11 % относительно прочих вариантов соответственно. Реализация транспортирования руды предложенными транспортными системами при определенной организации работ может соответствовать 3-му и 4-му уровням автоматизации (табл. 3).

ТАБЛИЦА 5. Характеристика способов подготовки [2]

Вид транспорта на подготовительном горизонте	Плечо транспортирования, м
Конвейерный с ленточными конвейерами	1700
Железнодорожный узкой колеи: отечественное транспортное оборудование	1784
импортное транспортное оборудования	1784
Конвейерные поезда на дистанционном управлении	1784
Автомобильный: подземные автосамосвалы	1784
поверхностные автосамосвалы	1784

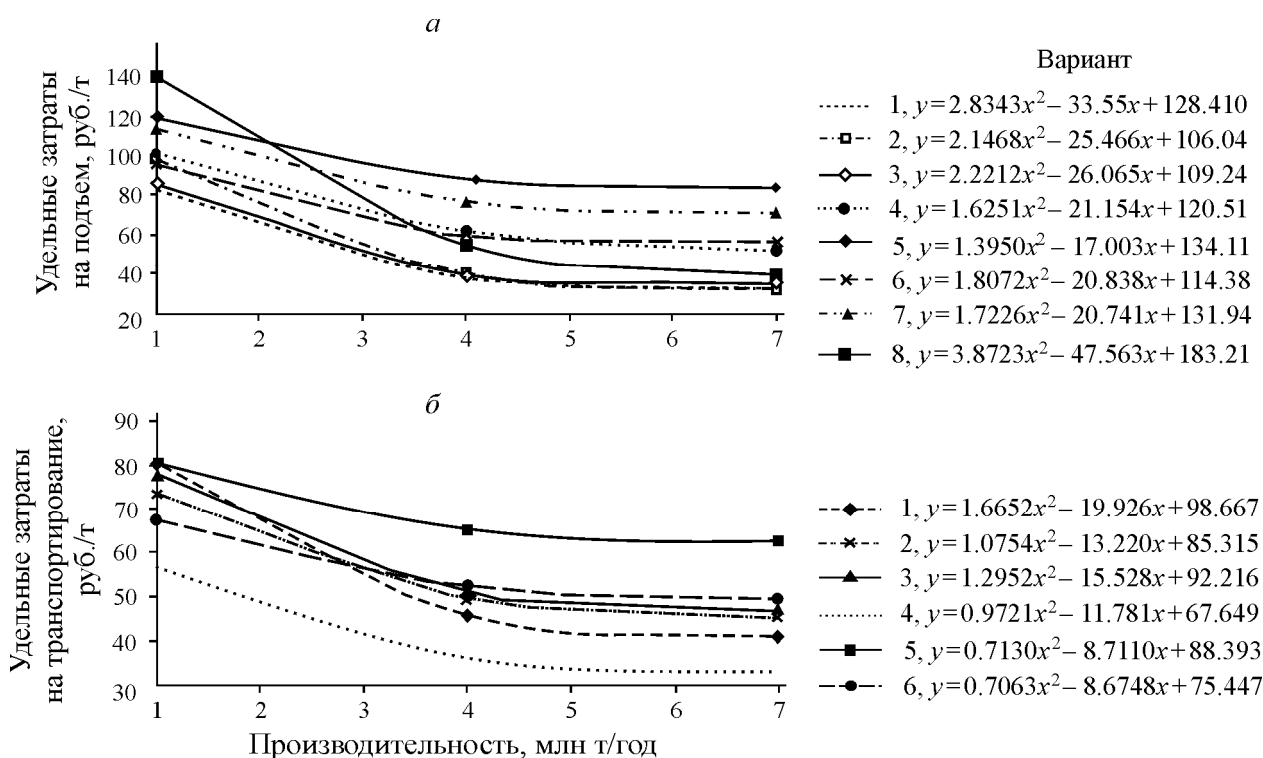


Рис. 3. Зависимость стоимости подъема руды (а) и внутрирудничного транспортирования (б) от годовой производительности

Полученные аналитические зависимости позволяют выбрать наиболее эффективные способы транспортирования руды с учетом экологических платежей (расчет осуществлялся в [8]), а также расширяют теоретическое представление об области рационального применения прогрессивных транспортных систем, что может быть использовано при проектировании других месторождений.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Проблемы, обусловленные снижением качества минерального сырья и необходимостью его комплексной переработки требуют совершенствования отдельных методов обогащения, применении комбинированных схем переработки; увеличения производительности предприятий

путем интенсификации процессов, максимальной автоматизации производства; создания новых обогатительных аппаратов и технологий, обеспечивающих минимальное загрязнение окружающей среды.

Применение информационных технологий при решении инженеринговых задач оптимизации процессов переработки полезных ископаемых подразумевает проведение исследований по нескольким направлениям. Среди них следует выделить: аккумуляцию накопленной информации о геолого-минералогическом составе рудного сырья, физических, химических и физико-химических свойствах минералов, входящих в его состав; создание специализированных баз данных о методах переработки минерального сырья; совершенствование и создание технологического оборудования с использованием CAD-CAM-CAE комплексов; создание автоматизированных систем управления технологическими аппаратами и технологическими схемами переработки минерального сырья; имитационное моделирование технологических схем обогатительных производств.

Компьютерное моделирование позволяет получать информацию о вещественном балансе гетерогенных сред и распределении скоростей и концентраций узких сепарационных фракций в любой точке в любой момент времени сепарационного процесса. Объектами исследований с применением информационных технологий являются сепарационные процессы, многообразие которых определяется вещественным составом перерабатываемого минерального сырья и условиями производства.

Инструменты исследования — математические модели, основанные на фундаментальных законах сохранения массы, энергии и импульса и представляющие собой системы субстанциональных уравнений, такие как модели вычислительной гидродинамики, магнитной гидродинамики, популяционного баланса, модель дискретной взвешенной фазы и др. Результаты моделирования определяются целью вычислительного эксперимента, исчерпывающим набором начальных и граничных условий, выбором структуры математической модели, программным обеспечением и производительностью решателя. В самой простой классификации результаты моделирования можно представить или как сепарационную характеристику конкретного процесса, реализуемого на данном обогатительном оборудовании, или как топологию технологической схемы цикла переработки минерального сырья, т. е. как набор сопряженных сепарационных характеристик [11, 12].

Программный комплекс ANSYS-Fluent — один из наиболее совершенных CAD-CAM-CAE комплексов, в котором реализованы модели многофазной гидродинамики, позволяющие реализовать полный цикл разработки обогатительного оборудования.

В Горном институте КНЦ РАН разработаны конструкции магнитно-гравитационных сепараторов (МГ-сепараторов), в которых заложена возможность регулировки качества выпускаемых горнодобывающими предприятиями железосодержащих концентратов. В основу работы этих аппаратов заложен физический эффект в восходящем водном потоке формирования оживленного слоя ферросуспензии, стабилизированного вертикальным слабонеоднородным постоянным магнитным полем. Воздействие магнитного поля на ферромагнитные частицы приводит к возникновению у них дипольных магнитных моментов и, как следствие, к магнитным межчастичным силам. Разделение частиц при этом происходит по плотности, крупности и магнитной восприимчивости. В аппаратах содержание железа общего в концентрате задается соответствующей настройкой управляющих параметров, что позволяет гибко перенастраивать технологическую схему производства. МГ-сепараторы позволяют выпускать продукцию, пригодную как для доменного, так и для внедоменного получения стали (суперконцентраты).

В результате проведенных на программном комплексе ANSYS-Fluent серий вычислительных экспериментов получена оптимальная конструкция корпуса аппарата (рис. 4). В этой конструкции в цилиндроконическом корпусе размещены устройства для формирования и стабилизации восходящего вихря промывной жидкости. Дополнительное цилиндрическое устройство позволяет также разместить в нем магнитный соленоид, выравнивающий горизонтальные градиенты магнитного поля.

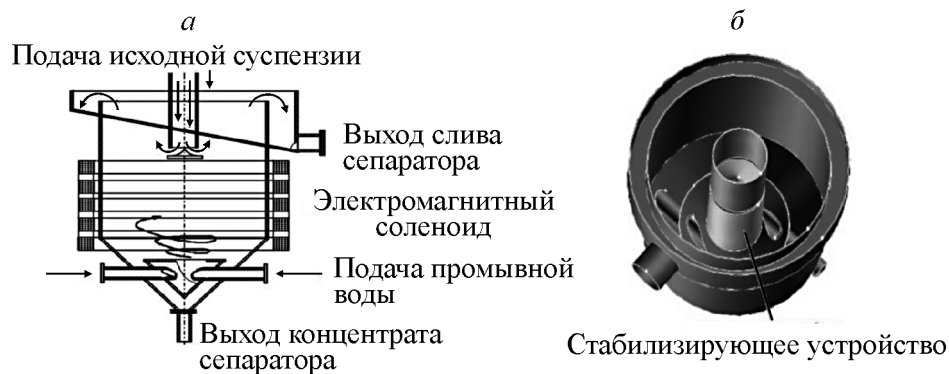


Рис. 4. Схема (а) и 3D-модель (б) МГ-сепаратора

Данная конструкция МГ-сепаратора реализована на ряде предприятий ПАО “Северсталь” в технологии стадийного получения железосодержащего концентрата повышенного качества.

ВЫВОДЫ

На примере месторождения бедных апатит-нефелиновых руд Партомчорр, расположенного вблизи особо охраняемых природных территорий, показано, что реализация комплексного подхода к освоению георесурсов, базирующегося на компьютерном моделировании объектов и процессов геотехнологии, позволяет повысить эколого-экономическую эффективность горных работ. Для решения проблемы безопасности ведения работ на больших глубинах необходимо развитие комплексных исследований, обосновывающих параметры перехода на автоматизированные технологии, с учетом особенностей конкретных горнорудных провинций.

Для оценки целесообразности применения новых транспортных систем при вскрытии и подготовке запасов месторождения Партомчорр установлены аналитические зависимости затрат на подъем и транспортирование руды от производственной мощности подземного рудника. Полученные закономерности укрупненно позволяют обосновать границы рационального применения анализируемых видов транспорта при проектировании других месторождений. В рамках реализации информационных технологий при проектировании обогатительного оборудования и технологических схем переработки минерального сырья представлены результаты серии вычислительных экспериментов в программном комплексе ANSYS-Fluent по оптимизации конструкции магнитно-гравитационных сепараторов. Созданная на основе экспериментов конструкция сепаратора реализована на ряде предприятий ПАО “Северсталь” в технологии стадийного получения железосодержащего концентрата повышенного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н. Н., Зотов А. М. Информационный ресурс для комплексного решения задач освоения месторождений редкоземельного и редкометалльного сырья России в соответствии с экологической стратегией развития горнодобывающей отрасли // ГИАБ. — 2017. — № S23. — С. 535 – 544.

2. **Лукичев С. В., Громов Е. В., Шibaева Д. Н., Терещенко С. В.** Оценка эффективности экологически сбалансированной технологии разработки месторождения стратегического сырья Партомчорр в Арктической зоне России // Горн. журн. — 2017. — № 12. — С. 57–62.
3. **Lukichev S. V., Gromov E. V., Lobanov E. A.** Evaluation of prospects for apatite–nepheline mining at Partomchorr, Eurasian mining, 2017, No. 1. — P. 10–13.
4. **Митрофанова Г. В., Филимонова Н. М., Андронов Г. П., Рухленко Е. Д.** Влияние минералоготехнологических особенностей апатитсодержащих руд месторождения Партомчорр на выбор реагентных режимов флотации // ГИАБ. — 2017. — № S23. — С. 427–435.
5. **Мельников Н. Н., Козырев А. А., Лукичев С. В.** Большие глубины – новые технологии // Вестн. КНЦ. — 2013. — № 4. — С. 58–66.
6. **Опарин В. Н., Русин Е. П., Тапсиев А. П., Фрейдин А. М., Бадтиев Б. П.** Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 99 с.
7. **Sandvik Mining**, 2015, Accessed 27-11-2016: <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/automation/>.
8. **Громов Е. В.** Повышение эффективности разработки месторождений бедных руд в условиях экологических ограничений (на примере апатит-нефелинового месторождения Партомчорр): дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22. — Апатиты, 2016. — 148 с.
9. **Яковлев В. Л., Тарасов П. И., Журавлев А. Г.** Новые специализированные виды транспорта для горных предприятий. — Екатеринбург: УрО РАН, 2011. — 375 с.
10. **Зырянов И. В., Павлов А. П.** Опытнo-промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов Scania в Удачинском ГОКе // Горн. пром-сть. — 2014. — № 6 — С. 38–40.
11. **King C.** A model for the quantitative estimation of mineral liberation from mineralogical texture, Int. J. of Min. Proc., 1979, No. 6. — P. 207–220.
12. **Гейн К., Сарсон Т.** Структурный системный анализ: средства и методы. — М.: Эйтeкс, 1992. — 274 с.

Поступила в редакцию 31/V 2018

После доработки 15/VI 2018

Принята к публикации 28/XI 2018