



БОНДАРЕНКО АЛИНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ И ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА ПОДЗЕМНОГО
РУДНИКА К САМОХОДНОМУ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОМУ
ОБОРУДОВАНИЮ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С
АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук в Отделе теории проектирования освоения недр.

Научный руководитель:

Радченко Дмитрий Николаевич – доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Калмыков Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Дик Юрий Абрамович, кандидат технических наук, начальник Отдела горной науки Открытого акционерного общества «Уралмеханобр», г. Екатеринбург.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.

Защита диссертации состоится «28» сентября 2022 г. в 10 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИПКОН РАН:
<http://ипконран.рф>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

_____ В.С. Федотенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Интенсивная разработка месторождений твердых полезных ископаемых неминуемо приводит к истощению балансовых запасов, что обуславливает поиск условий для вовлечения руд в промышленную эксплуатацию. Одним из таких примеров является крупное Жезказганское месторождение, комплексное освоение которого в настоящее время связано с вовлечением в эксплуатацию забалансовых запасов. Системообразующая стратегическая роль Жезказганского месторождения в экономике Казахстана не позволяет даже предположить возможность приостановки горных работ, но для поддержания производительности по выпуску металлов необходимо добывать в несколько раз больше бедной рудной массы с содержанием меди 0,5 % и менее.

Очевидно, что наращивание объемов добычи при используемой камерно-столбовой системе разработки в будущем будет невозможно без увеличения числа забоев в одновременной работе, а следовательно, без роста числа единиц применяемой большегрузной дизельной техники для доставки, откатки и подъема рудной массы. Это приводит к росту себестоимости добычи руд ввиду усложнения схем вентиляции рудников с увеличением объемов подаваемого в шахту воздуха, эксплуатационных затрат на обслуживание техники и поддержание выработок большого сечения, а также ухудшению санитарно-гигиенических условий труда работников, занятых на подземных горных работах. Все это обуславливает необходимость технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения на базе изыскания новых стратегических решений, которые обеспечат многолетнюю эксплуатацию Жезказганского месторождения и поддержание социальной стабильности в регионе. Одним из стратегических направлений перехода подземных рудников мира к новому технологическому укладу является внедрение электрических средств доставки и откатки горной массы с автономным источником питания.

Цель работы состоит в определении условий и обосновании параметров эффективного перехода к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания при техническом перевооружении подземных рудников с камерно-столбовой системой разработки.

Идея работы заключается в том, что эффективный переход на аккумуляторные погрузочно-доставочные машины возможен на основе установления закономерностей изменения проектных параметров и условий технического перевооружения рудника в зависимости от типоразмера и грузоподъемности погрузочно-доставочных машин, длины откатки, параметров вентиляционной сети и способов зарядки аккумуляторов, в том числе с использованием энергии гидропотоков.

Достижение поставленной цели и реализация идеи связаны с решением следующих научно-практических задач:

- анализ условий и параметров эксплуатации погрузочно-доставочного оборудования в подземных рудниках Жезказганского месторождения и этапов их технического перевооружения по мере изменения минерально-сырьевой базы;
- разработка методики оценки параметров и условий функционирования горнотехнических систем при переходе от самоходного оборудования с двигателем

внутреннего сгорания к электрическому приводу с автономным источником питания;

– исследование условий и параметров перехода к самоходному аккумуляторному оборудованию на примере подземных рудников Жезказганского месторождения;

– разработка рекомендаций и оценка эффективности перехода подземных рудников Жезказганского месторождения на самоходное аккумуляторное погрузочно-доставочное оборудование при камерно-столбовой системе разработки.

Объект исследования: подземные рудники с камерно-столбовой системой разработки (на примере Южно-Жезказганского рудника).

Предмет исследования: условия и параметры перехода подземного рудника к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания.

Методы исследования:

В работе использованы анализ горно-геологических условий эксплуатации Жезказганского месторождения, обобщение опыта технического перевооружения подземных рудников в условиях изменения минерально-сырьевой базы, сравнительный анализ эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода горных машин, анализ конструктивных параметров приводов горных машин, исследование показателей производительности горных машин с автономным источником питания, патентный поиск, опытно-промышленные испытания, натурный эксперимент, хронометражные наблюдения, технико-экономическая оценка.

Положения, выносимые на защиту:

1. Переход подземного рудника при камерно-столбовой системе разработки к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию с электрическим приводом на базе автономного источника питания позволяет в условиях изменения минерально-сырьевой базы и увеличения производительности рудника отказаться от дизельного оборудования по всей транспортной схеме путем обоснованного выбора мест расположения участков рудоспусков для конвейерного транспортирования рудной массы, создания условий эффективной зарядки погрузочно-доставочных машин, а также исключения нагрузки на вентиляционную сеть по фактору разжижения выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания.

2. При камерно-столбовой системе разработки внедрение электрических средств доставки с автономным источником питания позволяет перейти с дизельных автосамосвалов на конвейерное транспортирование и подъем рудной массы, обеспечивая экологически сбалансированное функционирование рудника.

3. Повышение производительности очистных забоев при работе погрузочно-доставочных машин на базе электрического привода с автономным источником питания достигается их повышенной маневренностью по сравнению с дизельными, возможностью увеличения скорости движения груженых и порожних ПДМ к участковым рудоспускам, кратным сокращением простоев, а также увеличением оперативного времени работы погрузочно-транспортного

комплекса подземного рудника за счет снижения продолжительности ремонтных смен.

4. В условиях высоко обводненных подземных рудников внедрение систем энергообеспечения самоходных аккумуляторных машин с генерацией электрической энергии путем преобразования кинетической энергии гидропотоков при перепуске шахтных вод между горизонтами позволяет повысить энергоэффективность горнотехнической системы.

Достоверность научных положений выводов и результатов обусловлена представительным объемом исходных данных, экспериментальной проверкой разработанных технико-технологических решений технического перевооружения подземных рудников Жезказганского месторождения, достоверной сходимостью теоретических расчетов и результатов натуральных исследований, использованием современного оборудования и положительными результатами опытно-промышленной апробации эксплуатации самоходного погрузочно-доставочного оборудования на базе электрического привода с автономным источником питания.

Научная новизна работы:

Установлено, что при подземной разработке рудных месторождений эффективный переход рудника от дизельных к электрическим горным машинам требует соответствующего изменения параметров всей технологической схемы, ключевым звеном которой являются электрические погрузочно-доставочные машины с автономным источником питания.

При камерно-столбовых системах разработки полный отказ от дизельного оборудования по всей транспортной схеме достигается путем сочетания электрических средств доставки с автономным источником питания и конвейерными установками, обеспечивая тем самым экологическое сбалансированное функционирование рудника.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологических рекомендаций по переходу подземных рудников Жезказганского месторождения к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания с внедрением эффективных схем транспортирования и рудничной вентиляции, обеспечивающих снижение себестоимости выпуска готовой продукции за счет отказа от машин с двигателем внутреннего сгорания.

Реализация результатов. Результаты исследований использованы при формировании отчетности по программе БФ ИПКОН РАН «Разработка научно-методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных технологических процессов в условиях интенсивного комплексного освоения недр Земли» в 2018-2022 гг.

Апробация работы. Основные результаты, положения и выводы докладывались и обсуждались на Международном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2018, 2019 и 2021); VI Международной научно-технической конференции «Решение технологических и экологических проблем горных производств на территории России, ближнего и дальнего зарубежья» (Москва, 2019); X Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу» (Магнитогорск, 2019); II Международной

научно-практической конференции «Наука и инновационные разработки – Северу» (Мирный, 2019); 14-й Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2019); Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (Севастополь, 2019); Международной научной школе академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Москва, 2020); II Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» (Челябинск, 2022).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 16 работах, 3 из которых – в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России, получен 1 патент РФ на изобретение.

Личный вклад автора состоит в установлении условий и параметров перехода подземных рудников при камерно-столбовой системе разработки к электро-ПДМ на базе автономного источника питания, разработке методики проведения натуральных исследований и личном участии в опытно-промышленных испытаниях электро-ПДМ на Южно-Жезказганском руднике, обосновании нового способа зарядки аккумуляторов горных машин, позволяющим частично компенсировать рудничные энергозатраты.

Объем и структура работы. Диссертация представлена на 170 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 51 рисунков, 28 таблицы, библиографический список из 135 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ геологических и горнотехнических условий освоения Жезказганского меднорудного месторождения. Проведен ретроспективный анализ этапов технического перевооружения подземных рудников Жезказганского месторождения. Выполнена сравнительная оценка эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода горных машин.

Определено, что благоприятные горно-геологические условия Жезказганского месторождения и относительно низкая ценность руд определили эффективность применения камерно-столбовой системы разработки. За весь период эксплуатации месторождения извлечено более 1 млрд т. медных руд, при этом на сегодняшний день основная часть балансовых запасов уже отработана. Значительный вклад в развитие теории и практики комплексного освоения Жезказганского месторождения, совершенствование системы разработки и механизации горных работ внесли академики АН СССР и РАН М.И. Агошков, А.М. Терпигорьев, К.Н. Трубецкой, Л.Д. Шевяков, академики НАН Казахстана О.А. Байконуров, К.И. Сатпаев, член-корреспондент РАН Д.Р. Каплунов, член-корреспонденты НАН Ш.А. Алтаев, Ш.Г. Болгожин, доктора наук В.И. Борщ-Компониец, Г.Г. Ломоносов, А.Б. Макаров, С.С. Музгин, Ю.Г. Скорняков, М.В. Рыльникова, А.Б. Юн, Р.Б. Юн и многие другие известные ученые. Благодаря их работам на протяжении последних 80 лет производится планомерное техническое перевооружение рудников Жезказгана, основные этапы которого представлены на рисунке 1. Предложенные решения в условиях изменения минерально-сырьевой базы и перехода на добычу руд все более низкого качества оказались весьма

эффективными, однако ориентированными на применение дизельной техники – погрузочно-доставочных машин и автосамосвалов. Предложенная в работах Д.Р. Каплунова, М.В. Рыльниковой, А.Б. Юна новая транспортная схема позволяет снизить затраты на внутришахтный транспорт на 44,6% по сравнению с существующей (рис. 2, а, г) за счет оптимизации схемы транспортирования рудной массы, но не отвечает требованиям по улучшению качества воздуха в добычных панелях, снижению капитальных и эксплуатационных затрат, в первую очередь, на поддержание горных выработок в условиях сложной геомеханической ситуации и затрат на проветривание горных выработок рудника.



Рисунок 1 – Этапы технического перевооружения подземных рудников Жезказганского месторождения и изменение качества медных руд

Современным этапом технического перевооружения подземных рудников Жезказганского месторождения и новым направлением в мире является переход с дизельных горных машин на электрические с автономным источником питания. В мировой практике вопросами технического перевооружения рудников на основе самоходного погрузочно-доставочного оборудования на базе электрического привода с автономным источником питания (далее в т. ч. ЭПДМ) рассмотрены в трудах W. Jacobs, R. S. Schatz, A. Halim, Fugiel A., Kukkonen S., Paraszczak J. и других, где дан анализ потребления электроэнергии в условиях подземного рудника, рассмотрены вопросы повышения потребления энергоресурсов при износе горного оборудования и влияния дизельной горной техники на рудничную атмосферу и условия труда горнорабочих. В России отдельные решения апробированы на рудниках Росатома, Полиметалла, Норникеля, на которых отмечены преимущества этих машин для повышения эффективности вентиляции, что было подтверждено на Жезказганском руднике при испытаниях опытной ЭПДМ Epiroc ST14 Battery. Однако, ведущими специалистами не раскрыты вопросы, связанные с определением изменяющихся параметров рудника при камерно-столбовой системе разработки при переходе на самоходное погрузочно-доставочное оборудование на базе электрического привода с автономным источником питания.

Во второй главе диссертации для установления условий и параметров перехода рудника на новый тип ПДМ разработана комплексная методика исследований показателей двух конкурирующих технологических схем Южно-

Жезказганского рудника. Существующая (рис. 2, а) основана на доставке погрузчиком и последующей комбинированной откатке автосамосвалами и железнодорожным транспортом. Для оценки возможности замены погрузчика с дизельным приводом на электрический были проведены испытания по альтернативной схеме (рис. 2, б). Принятая стратегией развития Компании альтернативная схема предусматривает доставку дизельными ПДМ (ДПДМ), либо ЭПДМ до рудоспусков и откатку автосамосвалами с последующим конвейерным подъемом на поверхность. Методика предусматривала исследование показателей технической и эксплуатационной производительности погрузочно-доставочных средств в добычных панелях, производительности погрузочно-транспортных комплексов в целом по подземному руднику, а также анализ факторов, определяющих выбор конструктивных параметров горных выработок в руднике и параметров вспомогательных процессов горного производства – водоотлива и вентиляции.

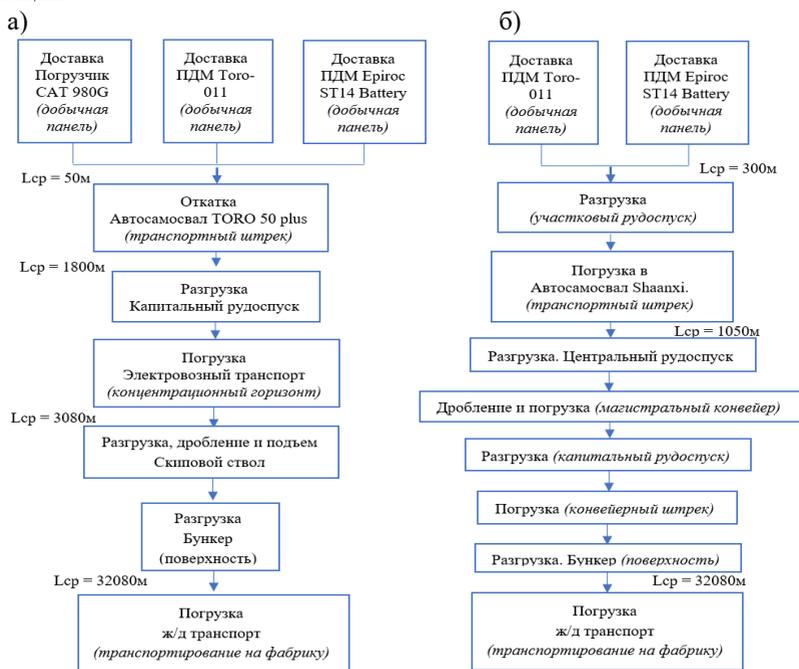


Рисунок 2 – Принципиальные технологические схемы подземных рудников Жезказгана при камерно-столбовой системе разработки: существующая (а), с погрузчиками, ДПДМ и ЭПДМ и альтернативная (б) с ДПДМ и ЭПДМ

Применение методики в ходе опытно-промышленных испытаний вариантов доставки и хронометражных испытаний технологических схем доставки рудной массы позволили выявить следующие особенности: маневренность и производительность доставки зависит не только от типа и грузоподъемности применяемого средства доставки, но и от типа привода горной машины. В ходе исследований каждого средства доставки оценена продолжительность технологических операций, совершаемых машиной за счет усилия силового

привода и отдельно – за счет гидравлического привода стрелы (рис. 3). Подобная методика сравнительной оценки производительности погрузочно-доставочных средств при камерно-столбовых системах разработки, учитывающая тип привода, разработана впервые.

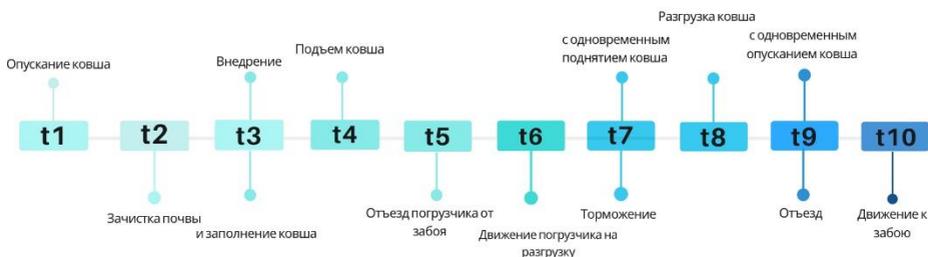


Рисунок 3 – Принцип учета времени на выполнение технологических операций с учетом типа привода горной машины (на примере батарейной ПДМ)

Установлено, что фактическая производительность машин с дизельным приводом в условиях работы в добычных панелях Жезказганского рудника с постановкой автосамосвала под погрузку на расстоянии 50 м от забоя ниже технической для погрузчика на 6%, для ПДМ TORO – на 23 % (рис. 4).

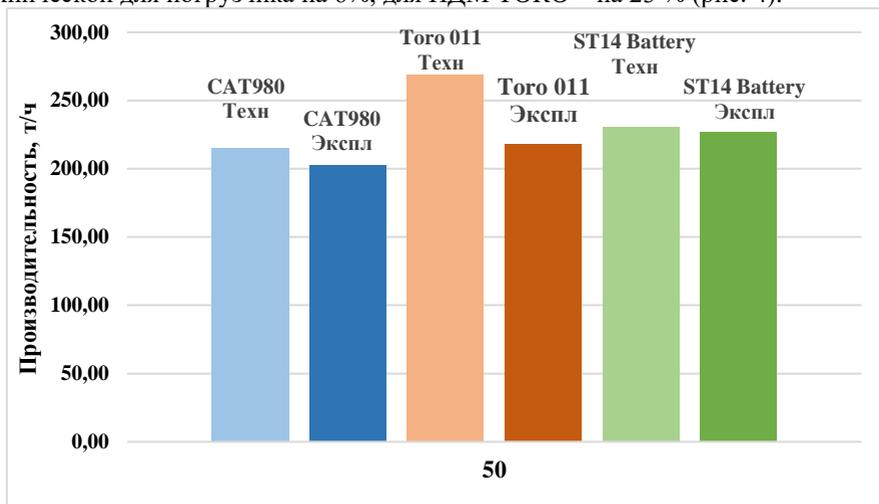


Рисунок 4 – Сравнительный анализ технической и фактической эксплуатационной (по данным опытно-промышленных испытаний) производительности погрузочно-доставочной техники в забоях Южно-Жезказганского рудника при длине доставки 50 м

Техническая и эксплуатационная производительность ЭПДМ оказались сопоставимыми. Более того, несмотря на меньшую емкость ковша ПДМ с автономным источником питания Epiroc ST14 Battery – в 1,72 раза меньше, чем у TORO 0011, производительность ЭПДМ в равных шахтных условиях оказалась выше, ввиду большей маневренности, меньших габаритов и особенностей привода.

В ходе опытно-промышленных испытаний установлено, что такие технологические операции, как внедрение и наполнение ковша, ЭПДМ совершает

быстрее ДПДМ. Это подтверждают результаты моделирования по разработанной в диссертации математической модели, учитывающей особенности привода, сил, действующие при работе ДПДМ и ЭПДМ, массы машин, мощность двигателей и КПД трансмиссий, определяющих напорное усилие машины при внедрении ковшей (табл. 1). Адаптация модели к условиям эксплуатации погрузчиков, ДПДМ и ЭПДМ убедительно свидетельствует о большей забойной производительности последней. Причем выполненные с использованием математической модели теоретические расчеты для условий работы двух ПДМ с одинаковым объемом ковша Epiroc ST14 и Epiroc ST14 Battery наиболее наглядно отражают факт более оперативного внедрения и наполнения ковша – напорное усилие электрической машины с автономным источником питания выше в 1,75 раза, чем машины с дизельным приводом.

Таблица 1 – Результаты апробации предложенной модели расчета показателей производительности дизельных и электрических средств доставки

Показатели и операции	Погрузчики	ПДМ	ПДМ	ЭлектроПДМ
Тип и модель	CAT 980G 2	TORO 0011	ST 14	ST 14 Battery
Емкость ковша, м ³	5,6	10,7	6,2	6,2
Черпание и набор ковша, сек	15,2	31,1	22,7	18,3
Масса машины с грузом, кг	41344	77000	53000	56000
Грузоподъемность, кг	10000	21000	14000	14000
Мощность, кВт	303	352	250	360
КПД трансмиссии, %	0,8	0,8	0,8	0,95
Напорное усилие, кг	24286	38500	18174	31800
Размер машины, ДхШхВ	9465x3800x4775	12570x3023x6649	10853x3922x5588	10865x3929x5586

В ходе эксперимента установлено, что повышение производительности за счет применения ЭПДМ с автономным источником питания при сохранении существующей логистической схемы рудника невозможно (см. рис. 2, а), так как, ввиду горно-геологических условий разработки Жезказганского месторождения, добычные панели находятся на значительном расстоянии от капитальных рудоспусков, при котором автосамосвалам приходится преодолевать расстояние до 2 км по сложным извилистым выработкам с максимальной скоростью 12 км/ч. Это влечет непроизводительные простои ПДМ в панелях. Альтернативная технологическая схема (см. рис.2, б), принятая стратегией развития рудника, предусматривает доставку рудной массы из панелей до участков рудоспусков.

Выполненные исследования показателей производительности погрузочно-транспортных комплексов при различной длине откатки до рудоспуска показали, что несмотря на большую техническую производительность применяемых ПДМ TORO 0011 (рис. 5, а), по данным опытно-промышленных испытаний в условиях ограничения скоростей движения груженых и порожних ПДМ 20 км/ч, установлено, что с увеличением длины откатки суточная производительность Epiroc ST14 Battery

при длине доставки 250 м сопоставима с производительностью большегрузной TORO 0011, а эффективная длина откатки составляет 250 м.

Определено, что возможность принятия отступлений от требований промышленной безопасности к максимально допустимой скорости движения средства доставки влечет резервы повышения производительности ЭПДМ, которая характеризуется большими скоростями на тех же передачах, чем дизельные аналоги. При этом эффективная длина откатки увеличивается, согласно возможностям горной машины с электрическим приводом.

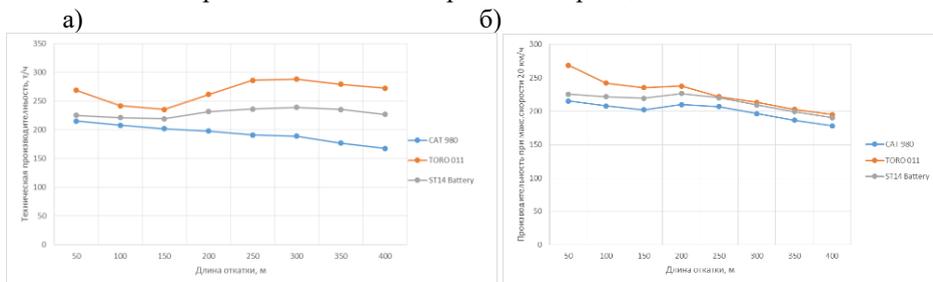


Рисунок 5 – Зависимость показателей технической (а) и установленной по данным опытно-промышленных испытаний фактической (эксплуатационной) (б) производительности погрузочно-доставочной техники в забоях Южно-Жезказганского рудника

Установленные значения эффективной длины откатки позволили для условий отработки перспективных залежей на новых участках выбрать приоритетные схемы расположения участков рудоспусков для альтернативной технологической схемы рудника (рис. 2, б), ориентированной на доставку и откатку горной массы ЭПДМ до рудоспусков.

В рамках промышленного эксперимента оценены время на подготовительно-заключительные операции, непроизводительные простои техники и затраты на плановое обслуживание и ремонты. Установлено, что ввиду конструктивных особенностей электропривода затраты на основные материалы и запчасти для ЭПДМ в 1,5 раз ниже, чем для ДПДМ, а трудоемкость технического обслуживания и ремонтов ниже в 1,4 раза (рис. 6, а, б). Время технического обслуживания сравниваемых средств доставки сопоставимо, но ввиду меньшего количества узлов и деталей машин обслуживание ЭПДМ характеризуется меньшей стоимостью (рис. 6, в, г).

Выполненные оценки эксплуатационной производительности ДПДМ и ЭПДМ, а также продолжительности плановых ремонтов и непроизводительных простоев техники позволили оценить производительность рудника при реализации каждой из сравниваемых технологических схем (см. рис. 2). Определено, что замена погрузочно-доставочной техники на более производительные средства доставки не целесообразна при существующей технологической схеме рудника. Проведенные опытно-промышленные испытания показали, что существующая транспортная схема Южно-Жезказганского рудника не перспективна ввиду повышенной загазованности и связанных с этим высоких штрафов, согласно новому экологическому кодексу Казахстана, а также низкой производительности

погрузочно-доставочного комплекса из-за множественных простоев (табл. 2). С начала эксплуатации рудника при понижении горных работ происходит постоянное увеличение дальности откатки руды дизельным транспортом от рабочих панелей до рудоспусков и, как следствие, рост капитальных и эксплуатационных затрат на дизельный транспорт, повышение выделения CO_2 .

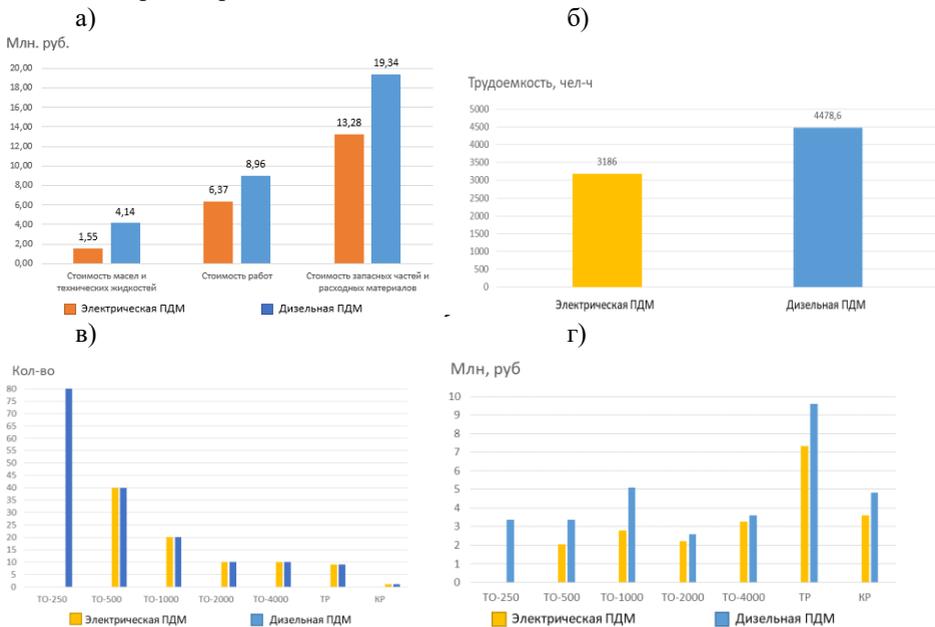


Рисунок 6 – Результаты учета затрат на техническое обслуживание и ремонты дизельных и электрических горных машин: структура затрат на материалы по техническому обслуживанию (а), трудоемкость обслуживания (б); необходимое количество ТО (в), затраты на проведение ТО, ТР и КР в зависимости от количества отработанных моточасов

Анализ альтернативной технологической схемы рудника, представленной на рис. 2, б, свидетельствует, что доставка рудной массы ПДМ до участковых рудоспусков и последующая откатка автосамосвалами позволяет сократить длину транспортирования самосвалами с 1800 до 832 метров. В результате снижения простоев горного оборудования производительность рудника в целом может быть увеличена в 1,2 раза при том же числе рабочих панелей и применяемых единиц техники (таблица 2). Причем определено, что замена ДПДМ на ЭПДМ низкоэффективна, несмотря на доказанную большую маневренность и отсутствие разжижения воздуха в панелях по фактору отработавших газов.

Применение большегрузных автосамосвалов, даже на электроприводе, потребует увеличенного сечения откаточных штреков из-за большого типоразмера автосамосвалов и необходимости подведения вентиляционного рукава для разжижения выхлопных газов при норме подачи 5 м^3 на 1 л/с по действующим в Казахстане нормам. Такое технологическое решение обязует предприятие платить

повышенные экологические штрафы ввиду квот на выбросы, действующих в Республике Казахстан.

Таблица 2 – Результаты оценки годовой производительности Южно-Жезказганского рудника при различных технологических схемах

Технологическая схема	Оборудование	Среднее время за один цикл	Среднее время простоев за смену	Время подготовительных работ	Длина откатки, м	Время следования	Время обслуживания и ремонта	Производительность	Годовая производительность, тонн
Рис. 2, а	CAT 980	1 мин 34,5 сек	24-30 мин	2 ч 26 мин	50 м	13 сек	6 ч+30-60 мин на ремонт	1560 тонн	6406000 тонн
	CAT AD45	22 мин 53 сек	85 мин	2 ч 11 мин	1800 м	13 до 40 мин	6 ч+30-60 мин на ремонт	1170 тонн	
Рис. 2, б	ПДМ TORO 011	5 мин	30 мин	2 ч 26 мин	300 м	3 мин	6 ч	1870 тонн	7212400 тонн
	Shaan xi 35	6 мин 17 сек	45 мин	2 ч 11 мин	832 м	5 мин 16 сек	6 ч	1520 тонн	
Рис. 7	ST 14 Battery	3 мин	30 мин	2 ч 26 мин	300 м	1 мин 36 сек	4 ч	2672 тонн	7924 880 тонн
	Конвейер								

Результаты исследований позволили сформулировать принцип перехода рудника к новой экологически сбалансированной горнотехнической системе (рис. 7), ключевым звеном которой являются погрузочно-доставочные машины с электрическим автономным источником питания, так как именно они определяют перспективы роста производственной мощности рудника.

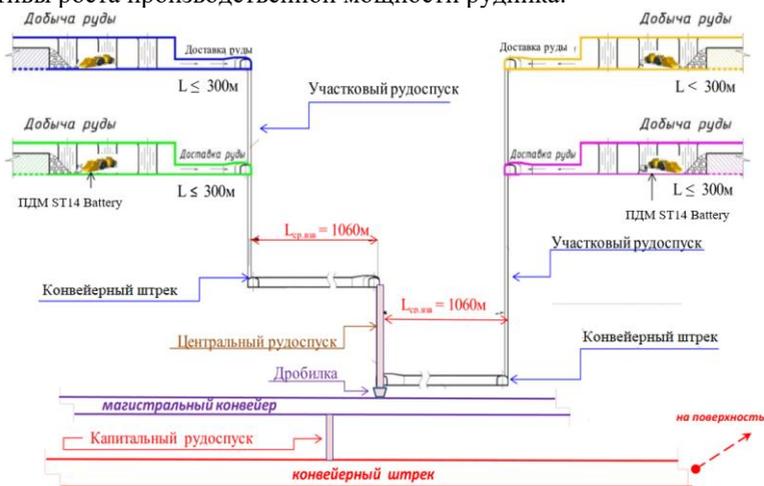


Рисунок 7 – Технологическая схема рудника с полным переходом на погрузочно-доставочные машины с автономным источником питания

Анализ схемы из рисунка 7 свидетельствует, что откатка рудной массы ЭПДМ с автономным источником питания до участков рудоспусков целесообразна при их размещении на расстоянии 250-300 м от панелей. Причем места расположения участков рудоспусков в пределах этажа выбираются с учетом работы нескольких панелей на разных этажах с заменой большегрузных автосамосвалов на конвейерные установки с шириной ленты 500 мм.

Установлено, что по сравнению с существующей на Южно-Жезказганском руднике транспортной схемой, при экологически сбалансированной схеме затраты на комплекс внутришахтного транспорта (ВШТ) снижаются за счет:

- отказа от привязки при откатке руды с каждой панели ($L_{CP} = 1500$ м) к капитальным рудоспускам по протяженным дорогам с тяжелыми условиями эксплуатации, имеющими многочисленные повороты, сложный профиль и применение дорогостоящих подземных самосвалов зарубежного производства TORO-50+;

- рационального размещения участков рудоспусков с длиной откатки $L \leq 300$ м (с заменой технологической пары погрузчик САТ-980GII – самосвал TORO-50+ на погрузочно-доставочные машины на базе электрического привода с автономным источником питания Epiroc ST14 Battery);

- организации транспортировки руды конвейерными установками по горизонтальным прямолинейным транспортным выработками с длиной откатки $L \leq 1060$ м до капитальных рудоспусков при применении конвейерного транспорта;

- увеличения средней скорости движения ЭПДМ с 10 км/ч до 20 км/ч.

При этом из технологической схемы исключаются: дизельные погрузчики и самосвалы; рельсовый транспорт на концентрационном горизонте; скиповый подъем.

Таким образом, разработанная новая технологическая схема транспортировки руды для подземных рудников Жезказганского месторождения (на примере Южно-Жезказганского рудника) позволит не только обеспечить существующую производительность, но и в условиях изменения минерально-сырьевой базы месторождения вовлечь в отработку ранее бедные забалансовые руды в объеме 204 974 тыс. тонн. Внедрение электрических средств доставки с автономным источником питания при камерно-столбовой системе разработки позволяет отказаться от применения дизельных автосамосвалов и перейти на конвейерное транспортирование и подъем рудной массы, обеспечивая экологически сбалансированное функционирование рудника.

Для обоснования экологического перехода на аккумуляторные погрузочно-доставочные машины проведено исследование вспомогательных технологических процессов рудника – вентиляции и водоотлива.

Если условно разделить общешахтное потребление воздуха на две категории:

- потребители, оснащенные двигателями внутреннего сгорания (ДВС):

$$Q_{ДВС} = \Sigma Q \cdot k_{ДВС}, \text{ м}^3/\text{с}$$

- и прочие потребители, получим:

$$Q_{Проч.} = \Sigma Q \cdot (1 - k_{ДВС}), \text{ м}^3/\text{с}$$

где: $k_{ДВС}$ – доля техники с ДВС от общего потребления воздуха.

Полученный коэффициент позволяет сравнить расход воздуха при эксплуатации погрузочно-доставочных машин при различных технологических схемах (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты расчета показателей расхода воздуха при различных погрузочно-доставочных комплексах

Технологическая схема	Рис. 2, а			Рис. 2, б		Рис. 7
	CAT980, AD45	Toro011, AD45	ST14 В, AD45	Toro 011, Shaanxi	ST14 В, Shaanxi	ST14 В, конвейер
Длина откатки	50 м / 1800 м	50 м / 1800 м	50 м / 1800 м	300 м / 832 м	300 м / 832 м	300 м / 850 м
Расход воздуха по фактору газов от ДВС	624 м ³ /с	713 м ³ /с	281 м ³ /с	587 м ³ /с	347 м ³ /с	Отсутствует. Выбирается по пылевому фактору

Полученные результаты расчета расхода воздуха свидетельствуют, что вариант новой технологической схемы обеспечивает снижение нагрузки на вентиляционную сеть рудника в разы и улучшение экологических показателей шахтного воздуха.

Исследование параметров сети водоотлива и условий перехода с дизельного на электрическое оборудование с автономным источником питания показали, что для повышения энергоэффективности функционирования горнотехнических систем, возможна компенсация потребляемой электроэнергии, за счет внедрения внутривидных установок по воспроизводству энергии при освоении месторождений полезных ископаемых. Наиболее перспективным является преобразование энергии рудничных гидротоков, объем которых на подземных рудника весьма внушителен. Проведенные в руднике опытно-промышленные испытания позволили получить зависимости генерируемой шахтной гидротурбиной мощности и времени зарядки аккумулятора ЭПДМ от объема гидротока и высоты перепуска между шахтными горизонтами (рис. 8, а, б).

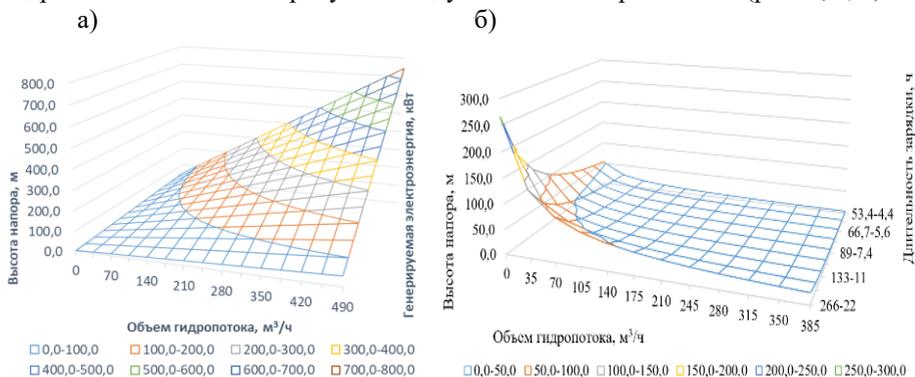


Рисунок 8 – Зависимости генерируемой мощности (а) и продолжительности зарядки аккумулятора горной машины (б) от объема перепускаемой между горизонтами рудничной воды и высоты перепуска

Накопление электроэнергии, выработанной с использованием гидротурбины, производят непосредственно в разряженном аккумуляторе горной машины с электрическим приводом (рис. 9). В результате места генерации энергии и питания аккумуляторных станций совмещаются в единую энергетическую систему, что позволит обеспечивать бесперебойное электроснабжение зарядных станций и частично компенсировать внешнее энергопотребление рудника.

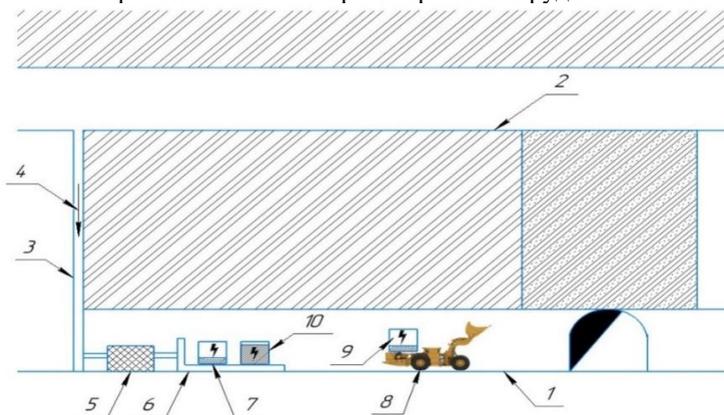


Рисунок 9 – Принцип размещения зарядных станций возле гидротурбинных установок, когда в качестве накопителя энергии используются автономные источники питания горных машин

Доказано, что переход подземного рудника при камерно-столбовой системе разработки к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию с электрическим приводом на базе автономного источника питания позволяет в условиях изменения минерально-сырьевой базы и увеличения производительности рудника отказаться от дизельного оборудования по всей транспортной схеме путем обоснованного выбора мест расположения участков рудоспусков для конвейерного транспортирования рудной массы, создания условий эффективной зарядки погрузочно-доставочных машин, а также исключения нагрузки на вентиляционную сеть по фактору разжижения выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания.

Разработанные технологически решения по техническому перевооружению Южно-Жезказганского рудника эффективны и позволяют снизить полную себестоимость конечного продукта - катодной меди на 36,5% или в 1,6 раза в сравнении с существующей технологией и рентабельно отработать все виды запасов ЮЖР без ущерба экологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано решение актуальной научно-практической задачи, имеющей важное социально-экономическое значение – определены условия и обоснованы параметры эффективного перехода к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на

базе электрического привода с автономным источником питания при техническом перевооружении подземных рудников с камерно-столбовой системой разработки.

1. Доказано, что переход горнопромышленного комплекса на принципы устойчивого развития обеспечивается путем технического перевооружения подземных рудников с переходом на самоходные аккумуляторные горные машины, что обеспечивает повышение годовой производительности по добыче руды, энергоэффективность (сокращение потребления ископаемого топлива, внедрение ВИЭ, снижение затрат электроэнергии на вентиляцию), экологическую безопасность (отказ от выбросов парниковых газов, качественно новые благоприятные условия труда, сокращение углеродного следа за счет применения ВИЭ).

2. Разработана новая методика оценки параметров технологической схемы рудника при переходе к аккумуляторным ПДМ. Исследованы показатели забойной и суточной эксплуатационной производительности погрузочно-доставочных средств в добычных панелях, производительность погрузочно-транспортных комплексов и рудника в целом, а также анализ факторов, определяющих выбор конструктивных параметров горных выработок в руднике и параметров вспомогательных процессов горного производства – водоотлива и вентиляции.

3. Установлено, что фактическая производительность машин с дизельным приводом в условиях работы в добычных панелях Жезказганского рудника с постановкой автосамосвала под погрузку на расстоянии 50 м от забоя ниже технической для погрузчика на 6%, для ПДМ TORO на 23%. Для электро-ПДМ данные показатели сопоставимы. Во всех хронометражных наблюдениях меньшая емкость ковша у ЭПДМ компенсируется лучшими рабочими характеристиками (маневренность и высокая проходимость, скорость движения и поворота, продольная и поперечная устойчивость, тяговые качества и возможность работы на углах подъема до 17 градусов, надежность и меньшие затраты на запасные части).

4. Определено, что при длине откатки до 200 м самым эффективным погрузочно-доставочным средством является дизельная ПДМ Того 011, однако в диапазоне длин с 250 до 350 метров ЭПДМ не уступает в производительности дизельной. Такие результаты исследований связаны с тем, что груженная ДПДМ имеет наибольшую скорость 6-8 км/ч, тогда как ЭПДМ 15-20 км/ч. Порожня ДПДМ развивает скорость 9-12 км/ч, а ЭПДМ – 20 км/ч и выше в зависимости от качества дорог.

5. Установлено, что ввиду особенностей конструктивного исполнения привода затраты на основные материалы и запчасти для электро-ПДМ в 1,5 раза ниже, чем для дизельной, а трудоемкость работ на техническое обслуживание и ремонты - в 1,4 раза. Количество ТО у обоих видов машин сопоставимо, но ввиду меньшего количества узлов и деталей машин, обслуживание ЭПДМ характеризуется меньшей стоимостью на каждом плановом обслуживании при прохождении определенного количества моточасов.

5. Определена эффективная длина откатки ЭПДМ до рудоспусков. Предложен новый вариант технологической схемы Южно-Жезказганского рудника, предусматривающий откатку из панелей электрическими ПДМ с автономным источником питания до участковых рудоспусков, размещаемых на расстоянии 250-300 м от панелей. Причем, по возможности, места расположения участковых

рудоспусков в пределах этажа выбираются с учетом работы нескольких панелей на разных этажах. Дальнейшее конвейерное транспортирование и подъем рудной массы определяют, что ключевым звеном технологической схемы рудника являются погрузочно-доставочные машины с автономным источником питания, так как именно они определяют производственную мощность рудника.

7. Выполнены расчеты и установлены требования к снижению количества подаваемого в рудник воздуха при применении самоходных аккумуляторных горных машин на 40-60% по сравнению с дизельными, что с учетом ограничений и требований к параметрам общешахтной депрессии позволяет снизить потребление электроэнергии рудниками на вентиляцию для условий Южно-Жезказганского рудника – с 24,6 до 15,1 млн кВт*ч/год.

8. Предложена технология компенсации энергозатрат на зарядку аккумуляторных горных машин. В результате места генерации энергии и питания аккумуляторных станций совмещаются в единую энергетическую систему, что позволит обеспечивать бесперебойное электроснабжение зарядных станций, частично компенсировать внешнее энергопотребление рудника. Причем накопление электроэнергии, выработанной с использованием гидротурбины, производят непосредственно в разряженном аккумуляторе горной машины с электрическим приводом.

9. Разработанные технологически решения по техническому перевооружению Южно-Жезказганского рудника эффективны и позволяют снизить полную себестоимость конечного продукта - катодной меди на 36,5% или в 1,6 раза в сравнении с существующей технологией и рентабельно отработать все виды запасов ЮЖР без ущерба экологии.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора.

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Radchenko D.N., Bondarenko A.A. Mining engineering system as an energy asset in INDUSTRY 4.0 // В сборнике: E3S Web of Conferences electronic edition, 2018. #01009. DOI:10.1051/e3sconf/20185801009

2. Бондаренко А.А., Шарипов Р.Х. Опыт и сравнительный анализ эффективности эксплуатации дизельных и электрических погрузочно-доставочных машин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 4. С. 246-257.

3. Туркин И.С., Князькин Е.А., Бондаренко А.А. Исследование технологии производства электроэнергии от потоков гидросмесей для повышения энергоэффективности освоения золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 3. С. 138-150.

4. Способ электропитания горных машин с электрическим приводом в условиях подземных рудников. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Бондаренко А.А., Федотенко В.С. // Патент на изобретение 2750775 С1, 02.07.2021. Заявка № 2020139008 от 27.11.2020.

В прочих изданиях:

5. Бондаренко А.А. Внедрение горнотранспортных машин с аккумуляторным питанием как фактор устойчивого развития подземного рудника //

В книге: Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Челябинск, 2022. С. 120-121.

6. Бондаренко А.А., Шарипов Р.Ф. Сравнительный анализ эффективности эксплуатации дизельных и электрических погрузочно-доставочных машин при подземной доработке Жезказганского месторождения // В книге: Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. Магнитогорск, 2021. -С. 103-105.

7. Бондаренко А.А. Конструктивные параметры горнотехнических систем комбинированной геотехнологии при переходе на самоходное аккумуляторное горно-транспортное оборудование // В книге: Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. Магнитогорск, 2021. -С. 76-78.

8. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Бондаренко А.А. Технология энергообеспечения самоходных аккумуляторных машин при переходе подземного рудника к новому технологическому укладу // В сборнике: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Москва, 2020. -С. 226-229.

9. Радченко Д.Н., Бондаренко А.А., Лавенков В.С. Элементы нового технологического уклада комбинированной разработки рудных месторождений на базе перехода к самоходному горному оборудованию с электрическим приводом // В сборнике: «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу», Сборник статей по результатам Международной конференции, 2019. -С. 182-188.

10. Князькин Е.А., Бондаренко А.А. Повышение энергоэффективности горнотехнических систем при комплексном освоении месторождений в условиях севера // II Международная научно-практическая конференция «Наука и инновационные разработки-Северу»: Сборник материалов конференции / под ред. И.В. Зырянова, Е.Э. Соловьева, А.А. Егорова. – Мирный: Изд-во Мирнинская гор.типогр., 2019, - ч. 1. – С. 139-142.

11. Бондаренко А.А. Обоснование условий и особенностей эксплуатации подземной горной техники с электрическим приводом // Материалы III научно-практической конференции «Промышленная, экологическая и радиационная безопасность-2019». Севастополь, 2019. – С. 297-302

12. Бондаренко А.А. Исследование сравнительных параметров эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода // Материалы 14 Международной научной школы молодых и ученых «Проблемы освоения недр XXI веке глазами молодых». М.: ИПКОН РАН, 2019. – С.218-221

13. Радченко Д.Н., Бондаренко А.А. Принципы технического перевооружения подземных рудников в связи с использованием ВИЭ и развитием отечественного приборостроения // В книге: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. М.: ИПКОН РАН 2018. С. 16-20.

14. Бондаренко А.А., Гавриленко В.В. Обоснование системы энергообеспечения роботизированных горнотехнических систем при техническом перевооружении // В сборнике: стратегия развития геологического исследования

недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ) материалы Международной научно-практической конференции. М.: МГРИ–РГГРУ, 2018. -С. 440-442.

15. Радченко Д.Н., Бондаренко А.А. Горнотехническая система как энергетический объект в ИНДУСТРИИ 4.0 // В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики Материалы 90-е заседания Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко. В 2-х книгах. Ответственный редактор Н.И. Воропай. 2018. С. 136-145.

16. Радченко Д.Н., Бондаренко А.А. Изучение трендов развития индустрии 4.0 в связи с перспективами горной промышленности // В книге: Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность. IX Международная конференция. Магнитогорск, 2017. -С. 60-63.