

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук**

*На правах рукописи*



**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)»**

**Диссертация**

**на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:  
доцент, кандидат технических наук  
Д.Н. Радченко**

**Москва 2022**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1..... АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОСВОЕНИЯ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СВЕТЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО- СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ.....	10
1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки Жезказганского месторождения медных руд .....	10
1.2 Этапы технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения по мере изменения минерально-сырьевой базы .....	22
1.3. Сравнительный анализ эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода горных машин с автономным источником питания.....	37
1.4. Особенности развития подземного рудничного транспорта в свете перехода горных предприятий на принципы устойчивого развития .....	44
1.5 Цель, задачи и методы исследований.....	54
2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОГРУЗОЧНО- ДОСТАВОЧНЫМ МАШИНАМ С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ.....	60
2.1. Условия перехода подземных рудников к самоходному электрическому горному оборудованию .....	60
2.2. Методика проведения исследований и расчета параметров основных технологических процессов при переходе подземного рудника к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания .....	69
2.3 Методика проведения исследований и расчета параметров вспомогательных технологических процессов при переходе подземного рудника к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания .....	82
Выводы по главе 2 .....	90
3..... ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА К САМОХОДНОМУ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ .....	93
3.1 Исследование параметров основных технологических процессов подземной добычи руд при обосновании условий перехода рудника на новый тип средств доставки .....	93
3.2. Результаты опытно-промышленных испытаний эффективности применения дизельных и электрических погрузочно-доставочных средств при существующей и альтернативной технологических схемах рудника .....	103
3.3. Результаты исследований изменяющихся параметров вспомогательных процессов при переходе с дизельных к электрическим погрузочно-доставочным средствам.....	118

Выводы по 3 главе: .....	130
4.РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПЕРЕХОДУ «ЮЖНО-ЖЕЗКАЗГАНСКОГО» РУДНИКА К САМОХОДНОМУ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ .....	133
4.1. Выбор технологической схемы Южно-Жезказганского рудника при переходе к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания .....	133
4.2. Оценка инвестиционных вложений для реализации рекомендаций .....	142
4.3. Оценка себестоимости производства товарной продукции при переходе на ЭПДМ145	
Выводы по 4 главе: .....	151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	156

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы**

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

Очевидно, что в будущем наращивание объемов добычи при используемой камерно-столбовой системе разработки будет невозможно без увеличения числа добычных панелей в одновременной работе, а, следовательно, рост 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 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 путем 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 исследований:**

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 участковых 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 горных машин с генерацией электрической энергии путем преобразования кинетической энергии гидротоков при перепуске шахтных вод между горизонтами позволяет повысить энергоэффективность горнотехнической системы.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обусловлена представительным объемом исходных данных, экспериментальной проверкой разработанных технико-технологических решений технического перевооружения подземных рудников Жезказганского месторождения, достоверной сходимостью теоретических расчетов и результатов натурных 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; в разработке эффективных схем транспортирования и рудничной вентиляции, обеспечивающих снижение себестоимости выпуска готовой продукции за счет отказа от горнотранспортных машин с двигателем внутреннего сгорания.

**Реализация результатов.** Результаты исследований использованы при формировании отчетности по программе ББФ 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); на VI Международной научно-технической конференции «Решение технологических и экологических проблем горных производств на территории России, ближнего и дальнего зарубежья» (Москва, 2019); на X Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу» (Магнитогорск, 2019); на II Международной научно-практической конференции «Наука и инновационные разработки – Северу» (Мирный, 2019); на 14-й Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2019); на Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (Севастополь,



2019); на Международной научной школе академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Москва, 2020); на 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, и 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 натурных 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 171 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 48 рис., 20 табл., список источников из 135 наименований.

# **1. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОСВОЕНИЯ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СВЕТЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ**

## **1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки Жезказганского месторождения медных руд**

Жезказганское месторождение медных руд начали использовать в глубокой древности, о чем свидетельствует большое число «калмыцких выработок» [1]. Впервые о Жезказганском месторождении было заявлено в 1847 году купцом Никоном Ушаковым, наследники которого в 1906 году передали месторождение медных руд в аренду английской концессии [2].

Далее в 1910 году была составлена первая геологическая карта крупного месторождения медных руд, которая включала распространённое описание геологии, включающее возраст и состав горных пород, представленных на картируемой площади. Также были проведены подсчеты запасов, которые показали, что в древние времена на месторождении Жезказгана было добыто более миллиона тонн медной руды [3].

С 1929 года под руководством молодого инженера-геолога К.И. Сатпаева приступили к планомерным геологоразведочным работам и на 1 января 1934 года удельный вес запасов Жезказганского месторождения составлял 20% от общих запасов медной руды по СССР [4]. В 1936 году был издан приказ о строительстве Жезказганского комбината с установленными объемами строительства и сроками освоения месторождения.

Интенсивные геологоразведочные работы под руководством К.И. Сатпаева позволил выявить значительные дополнительные запасы медной руды, благодаря чему Жезказганское месторождение заняло одно из первых мест по запасам.

Жезказганское месторождение занимает значительную площадь и разведано на глубину 500-700 метров. Рудные тела представлены пластообразными залежами серых оруденелых песчаников мощностью от 1,5 до 25-35 метров; средняя

мощность 6-8 метров. Помимо меди в рудах Жезказганского месторождения содержатся свинец, цинк, серебро и другие редкометалльные компоненты.

В геологическом строении Жезказганского рудного района принимают участие образования докембрия, палеозоя и кайнозойские отложения. Наибольшим распространением пользуются каменноугольные отложения [5-8]. Отложения Жезказганской свиты имеют протяженность с Запада на Восток и перекрывают отложения Таскудукской свиты. Суммарная мощность Жезказганской свиты составляет 280 м. К Востоку выклиниваются 9 рудоносных горизонтов и мощность отложения сокращается до 50 м. В плане рудные тела обычно группируются в залежи, которые имеют форму извилистых лент, ориентированных согласно с бортами синклинали, а в разрезе представляют собой пластовые, линзовидные, ленточные и лентообразные тела, протягивающиеся непрерывно или огибающие замковую часть Кенгирской антиклинали разрозненными цепями на несколько километров при ширине от 0.4 до 1.0 км.

Рудные тела залегают исключительно в серых разностях песчаников, которые по падению сменяются красноцветными разностями. По отношению к контакту сероцветных пластов с подстилающими и перекрывающими красноцветными породами рудные тела занимают диагональное положение. Размеры рудных тел колеблются в широких пределах, на периферийных участках размеры ленточных и лентообразных рудных тел незначительны. По морфологии рудные тела Жезказганского месторождения относятся к пластовым и представляют собой рудоносную толщу мощностью 700 м ритмично чередующихся пластов серых среднезернистых рудных и безрудных песчаников (мощностью 0,5-30 м) и красноцветных алевролитов (мощностью 1,5-30 м), что обуславливает многоярусность оруденения (рис. 1.1).

Оруденение на Жезказганском месторождении отличается стратиформностью и локализуется исключительно в сероцветных песчаниках. Характерная особенность месторождения заключается в многоярусности оруденения: выделяются 26 слоев серых полимиктовых песчаников, объединенных в девять стратиграфических рудоносных горизонтов. Рудные тела, приуроченные

к различным горизонтам, имеют кулисообразно смещенные контуры и образуют зачастую дугообразные зоны.

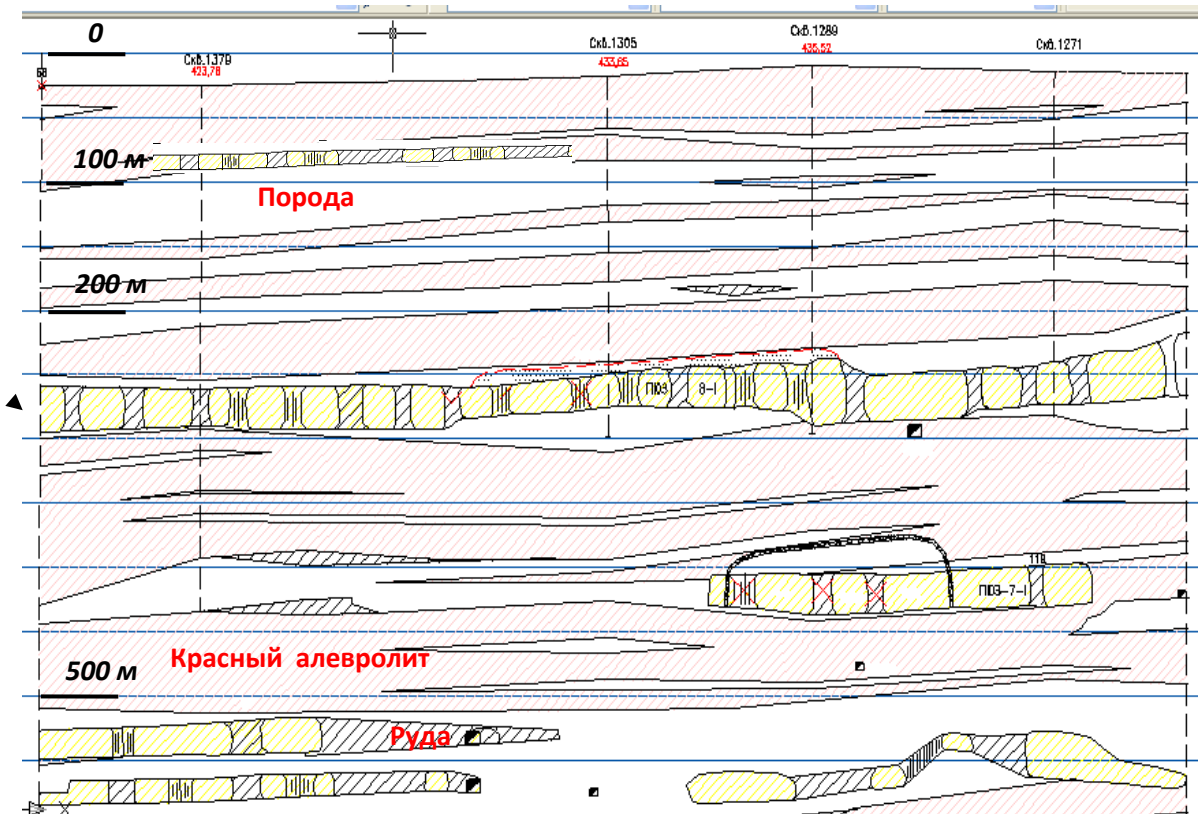


Рисунок 1.1 - Многоярусность оруденения Жезказганского месторождения

Промышленное оруденение присутствует во всех рудоносных горизонтах, причем каждый из них расчленяется на две-три, иногда и более рудные залежи. Мощность рудных слоев изменяется от 1 до 40 м; мощность породных прослоев, разделяющих залежи, колеблется от 2 до 95 м. Каждая рудная залежь характеризуется значительными размерами площади, чередованием в плане участков балансовых и забалансовых руд пластообразной формы. Если рассматривать залежи только в контуре балансовых руд, то они обычно состоят из нескольких обособленных в плане рудных тел. По составу руды месторождения подразделяются на медные (сульфидные, смешанные, окисленные), комплексные (медно-свинцовые, медно-свинцово-цинковые), свинцовые (свинцово-цинковые, цинковые). Доминирующая роль принадлежит медным сульфидным рудам - 83% от общих промышленных запасов месторождения. Попутными элементами, представляющими практическое значение, являются свинец, цинк, серебро, рений



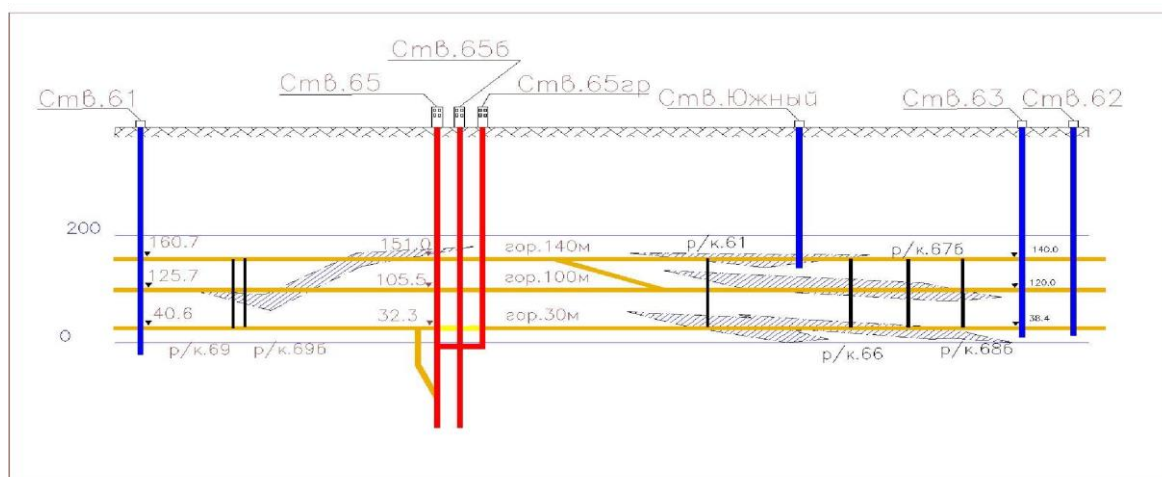
флангов северо-восточными и северными флангам халькозинового оруденения, халькозин-борнитовым, борнитовым, борнит – халькопиритовым, халькопиритовым.

Продуктивная джезказганская свита в пределах рудного поля состоит из 51-ого ритмично чередующегося пласта сероцветных и красноцветных песчаников, алевролитов и конгломератов. Рудное поле Жезказганского месторождения территориально поделено на участки (см. рис. 1.2): Акчий-Спасский, Покро-Юго-запад, Покро-Север, Златоуст, Анненский, Кресто.

Выполненный анализ горно-геологических условий на месторождении показал, что в целом в границах этих условных участков они достаточно равномерные. В разные годы освоение участков велось открытым способом Северным рудником, а также подземными рудниками Восточный, Западный и Южный. Каждый рудник характеризуется схожими горнотехническими условиями, поэтому для диссертационного исследования выбран Южный рудник (далее Южно-Жезказганский рудник, ЮЖР).

Годовая производительность Южно-Жезказганского рудника составляет 5 524 000 тонн. Вскрытие рудного поля ЮЖР осуществлено 11-ю вертикальными шахтными стволами, в том числе: группой центральных стволов – 4-ех стволов скипо-клетьевых (45, 65, 65бис, 65вспомогательная (клетьевой)) и 2-ух грузовых (45-Новая, 65), которые служат для подъема и спуска грузов и людей; 5-ю фланговыми вентиляционными стволами с вентиляционными установками: ств. 63, ств. 61, ств. 46, ств. 62, ств. шх. Южная. Доступ к залежам обеспечивается 10-ю горизонтами: гор. 305 м, гор. 235 м, гор. 199 м, гор. 140 м, гор. 100 м, гор. 30 м – концентрационным рельсовым горизонтом, гор. 6,8 м – дробильным комплексом, гор. 72 м – дозатором, гор. 102 м – камерой перехода в зумпф, гор. 134 м – зумпфом (рис. 1.3, а, б).

а)



б)

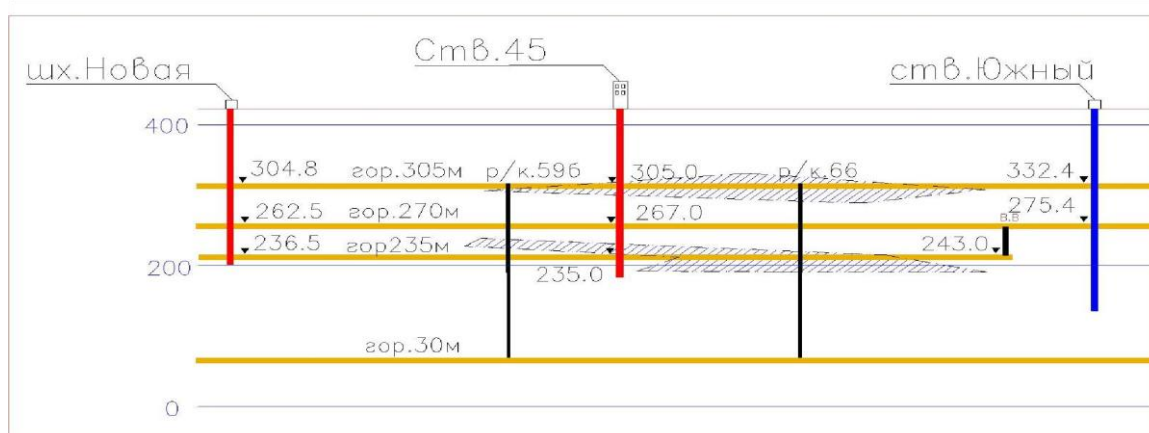


Рисунок 1.3 - Схемы вскрытия Южно-Жезказганского рудника по шахтам 65 (а) и 45 (б)

Проходка горизонтальных выработок осуществляется четырьмя специализированными проходческими бригадами и одной бригадой для проходки ствола «Вентиляционный». На проходке уклонов и камерных выработок используется комплекс самоходного оборудования: для бурения шпуров – буровая установка «Minimatik», для доставки отбитой горной массы – ковшевая погрузочно-доставочная машина TORO 9 и автосамосвалы типа TORO 50 Plus на пусковом комплексе и МоАЗ-75081 при отработке запасов шахтного поля.

Проходка восстающих выработок осуществляется мелко-шпуровым способом, с применением проходческого комплекса КПВ-4А, отдельным проходческим звеном.

Подготовка и отработка пологих залежей осуществляется камерно-столбовой системой разработки (рис.1.4). Залежь разделяется на выемочные единицы - панели. По ширине панели ограничиваются барьерными целиками и расстояние

между осями барьерных целиков составляет 150м. Длина панели составляет 200-300м и определяется размерами залегания рудных залежей.

Отработка панели производится с оставлением междукамерных целиков столбчатой форме по регулярной сетке 20х20м. Параметры барьерных и междукамерных целиков рассчитываются по методике, приведенной в действующей «Временной инструкции по расчету целиков при камерно-столбовой системе разработки с барьерными целиками для пологопадающих и наклонных залежей Джезказганского месторождения» (1984г.), а при глубине разработки более 400м - по методике, приведенной в действующей «Временной инструкции по расчету целиков для пологопадающих залежей на глубине более 400м и наклонных залежей Жезказганского месторождения» (1998г.).

В соответствии с «Концепции дальнейшей безопасной и эффективной отработки запасов Жезказганского месторождения в усложнившихся горногеологических и горнотехнических условиях» (2007г.) область применения данной системы разработки ограничена высотой отработки до 18м. При этом с целью уменьшения потерь руды в целиках предусматривается двухэтапная выемка запасов: на первом этапе осуществляется выемка камерных запасов; на втором этапе - выемка целиков с обрушением налегающих пород.

Для залежей мощностью более 18м разработана рациональная схема отработки, позволяющая использовать конструктивные элементы и параметры камерно-столбовой системы разработки с дальнейшим погашением выработанного пространства (рис.1.4).

В настоящее время на подземных рудниках Жезказганского месторождения используется комплекс самоходного оборудования, позволяющий вести очистные забои высотой 4-5м.



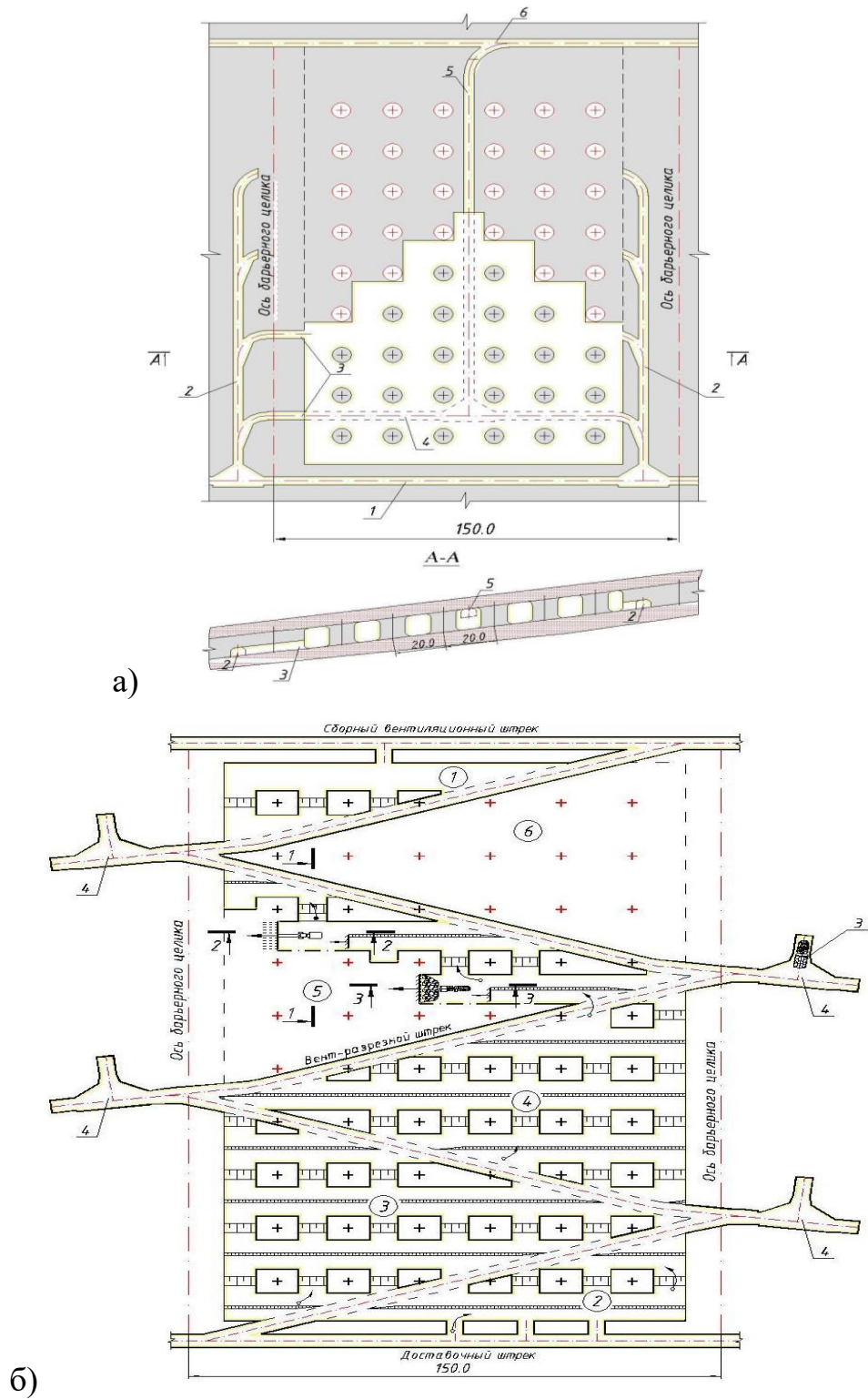


Рисунок 1.4 - Камерно-столбовая система разработки для пологих залежей (а): 1 – транспортный штрек; 2 – панельный штрек; 3 – заезды в панель; 4 – разрезной штрек; 5 – вентиляционный штрек; 6 – сборно-вентиляционный штрек и наклонных залежей (б)

Камерно-столбовая для наклонных залежей отработка (см. рис. 1.4, б) производится с оставлением междукамерных целиков столбчатой форме по

регулярной сетке 22х22м и расположением камер по простиранию. Параметры барьерных и межкамерных целиков рассчитываются по «Временной инструкции по расчету целиков при камерно-столбовой системе разработки с барьерными целиками для пологопадающих и наклонных залежей Джекказганского месторождения» (1984 г), а при глубине разработки более 400 м - по «Временной инструкции по расчету целиков для пологопадающих и наклонных залежей Жезказганского месторождения на глубине более 400м» (1998 г). Система подэтажного обрушения для наклонных крутопадающих залежей распространена в меньшей степени ввиду горно-геологических условий и требований к сохранности объектов поверхности. Отбитая руда под собственным весом и под весом самообрушаемых (при-груженных) пород выпускается через торец буропогрузочного штрека с использованием ковшевой погрузочно-доставочной машины и доставляется к месту загрузки в автосамосвал.

Отработка подэтажа осуществляется в отступающем порядке от отрезного восстающего к заезду на подэтаж.

Очистные работы на подэтажах предусматривается вести в нисходящем порядке. В одновременной работе могут находиться 2-3 подэтажа, при этом опережение отработки верхнего подэтажа по отношению к следующему нижнему должно быть не менее 30-35м.

На участках, где требуются горные меры охраны (сохранение поверхностных объектов или запасов вышерасположенных залежей), отработка ведется системой подэтажных штреков (ортов) с оставлением межкамерных целиков по восстанию рудной залежи. Ширина камер составляет 30-40м, ширина межкамерных целиков - 20-25м. Бурение скважин производится буровыми установками «SOLO - 07F». Для буровых работ применяется буровые каретки: Sandvik DD410-40, Sandvik DD411, Sandvik DEI 30H, Sandvik DL431, Sandvik DL430-7C, Rocket Boomer L2 D, TROIDON88 DUAL. Погрузка и доставка горной массы из очистных камер в рудоспуски и вывозка породы из проходческих забоев производится самоходным оборудованием с двигателями внутреннего сгорания (рис. 1.5).

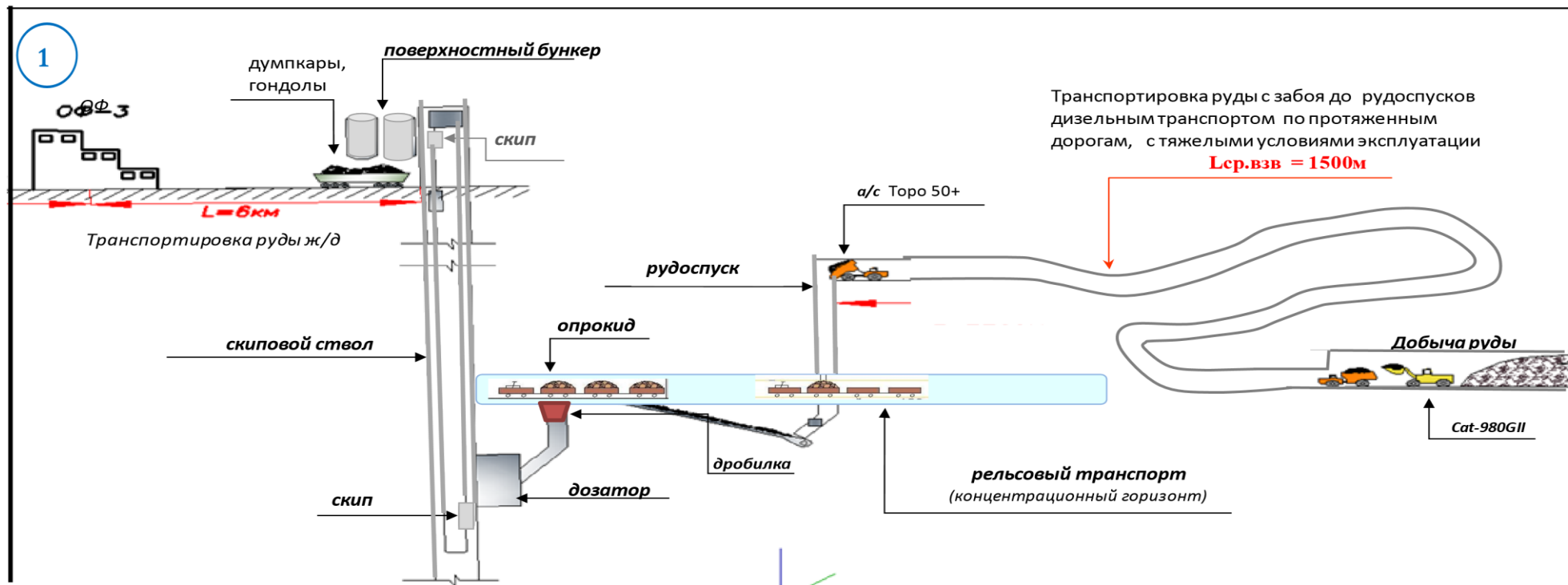


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема транспортирования руды от забоя при существующей технологии разработки запасов Южно-Жезказганского рудника

Добываемая руда погрузчиками типа САТ 980, отгружается в автосамосвалы Того 50+, откуда системой транспортных выработок транспортируется на расстояние в среднем 1500 м до капитальных рудоспусков (рис. 1.5). Далее осуществляется рельсовая откатка руды по концентрационному горизонту 30 м до вагоноопрокидывателей, расположенных в районе стволов 65 и 65 бис, с дальнейшим дроблением и загрузкой в скипы. Схема проветривания рудника фланговая. Способ проветривания всасывающий (рис. 1.6). Горные выработки рудника проветриваются при помощи трех вентиляторов главного проветривания, установленных у устья стволов шх. «Южная», шх. 61 и шх.63: ГВУ «Южный»-1 агрегат типа ВЦД-3,3, имеется резервный электродвигатель; ГВУ шх. 61 - 1 агрегат типа ВЦД-31,5, имеется резервный электродвигатель; ГВУ шх. 63 - 2 агрегата типа ВЦД-31,5, один вентилятор в работе, второй - в резерве.

Проветривание горнопроходческих работ и добычных панелей осуществляется вентиляторами местного проветривания типа «Корфман» и ВМЭ-12, по 1 шт. с диаметром рукава 800 мм. Поступление воздуха и распределение его по выработкам производится за счет общешахтной депрессии. Сложная ситуация с загазованностью шахтного воздуха требует изыскания решений, направленных на совершенствование схем проветривания и снижение количества отработавших газов машин с ДВС. Главным направлением решения этого вопроса является переход на погрузо-доставочные машины с автономным источником питания, что раскрыто в разделе 1.3 настоящей диссертационной работы.

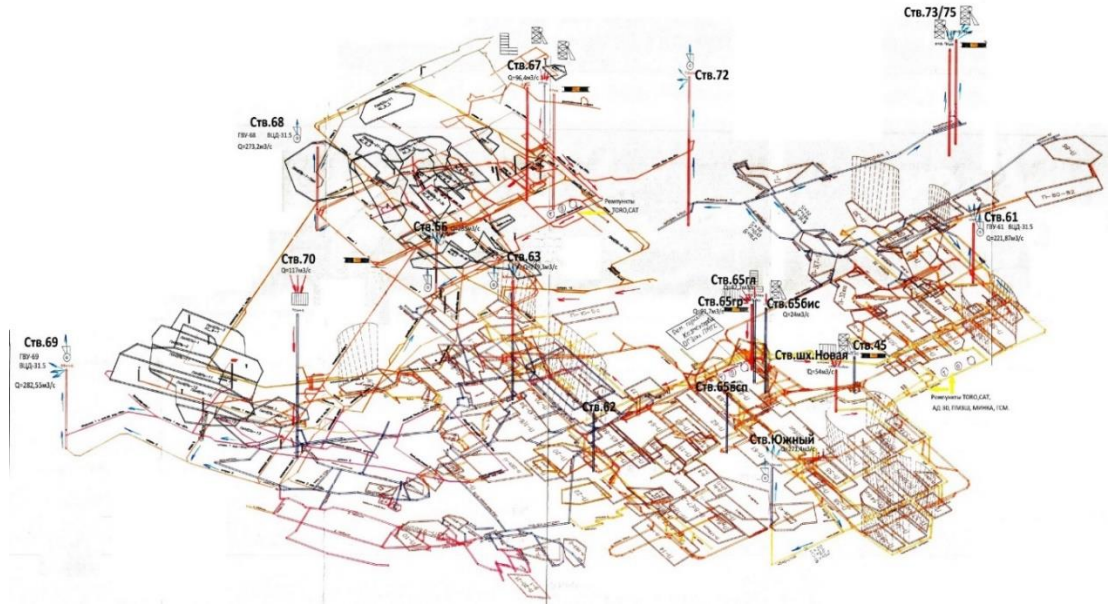


Рисунок 1.6 – Схема вентиляции Южно-Жезказганского рудника

В связи с относительно простыми гидрогеологическими условиями система водоотлива шахты рассчитана на отведение водопритока в объеме  $144 \text{ м}^3/\text{час}$  (рис. 1.7).

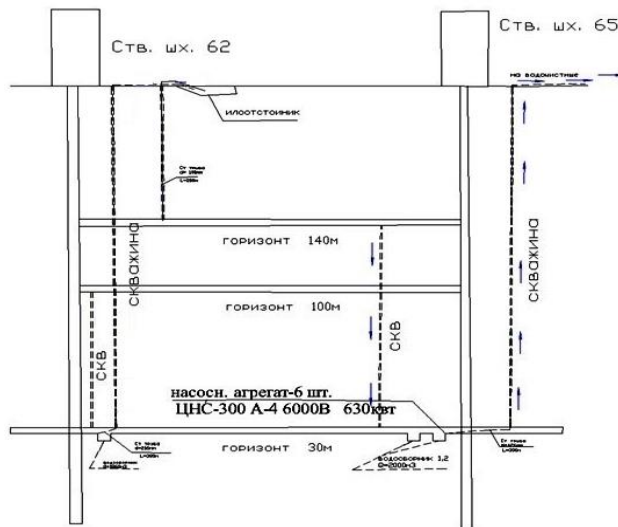


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема водоотведения и водоотлива на Южно-Жезказганском руднике

Анализ системы водоотлива рудника показал, что в руднике для водоотведения бурятся скважины между горизонтами, посредством которых осуществляется перепуск воды на нижележащие горизонты. Это определяет необходимость учета факта перепуска вод при работе технологического транспорта, а также возможность проектирования горнотехнических систем на

базе принципов генерации электроэнергии путем преобразования кинетической энергии потоков шахтных вод в электрическую [9].

Анализ работ ведущих ученых в области проблематики освоения Жезказганского месторождения позволяет заключить, что в целом горно-геологические и горнотехнические условия основания Жезказганского месторождения характеризуются как сложные прежде всего ввиду сложной геомеханической ситуации [10, 11], значительного площадного распространения рудных залежей (десятки километров), перехода на отработку забалансовых запасов и требования к увеличению объемов добычи, сложной транспортной инфраструктуры и высокой загазованности воздуха в руднике из-за применения многих единиц дизельной техники. Все это многие годы освоения Жезказганского месторождения определяло непрерывное техническое перевооружение рудников по мере истощения минерально-сырьевой базы.

## **1.2 Этапы технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения по мере изменения минерально-сырьевой базы**

В настоящее время решение задач технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения является перспективным направлением развития горнопромышленного сектора. В России в соответствии с Федеральным законом 116 от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 29.07.2018) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", техническое перевооружение опасного производственного объекта - приводящие к изменению технологического процесса на опасном производственном объекте внедрение новой технологии, автоматизация опасного производственного объекта или его отдельных частей, модернизация или замена применяемых на опасном производственном объекте технических устройств». Несомненно, к техническому перевооружению относится переход подземных рудников к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию [12-14].

Д.Р. Каплунов в своих трудах привел более обширное описание технического перевооружения: «строительство и реконструкция крупных горнодобывающих предприятий с вводом мощностей очередями, создание и использование оборудования большой единичной мощности, значительный рост объемов добычи полезных ископаемых без увеличения числа рабочих». Это обеспечивает приоритет интенсивности факторов развития горного производства при его техническом перевооружении» [15]. Значимость своевременного технического перевооружения подземного рудника и эффективность принятых решений раскрыты в работе [16-17].

Ввиду долгосрочной и высокопроизводительной эксплуатации недр Жезказганского месторождения состояние минерально-сырьевой базы действующих рудников претерпевает значительные изменения и единственной мерой для продления сроков существования горнопромышленного региона является вовлечение всех возможных запасов и техногенного сырья. Вовлечение большего количества запасов, некоторые, из которых находятся за контуром ведения горных работ и вовлечение которых требует прохождения новых горных выработок потребует большего количества единиц горной техники для поддержания тех же темпов производительности. Поэтому, а также из-за повторной разработки Жезказганского месторождения техническое перевооружение рудника является необходимой мерой. Действительно, начиная с 50-ых годов на предприятиях Жезказганского месторождения на многих технологических процессах проводились мероприятия по техническому перевооружению, что позволяло достигать сбалансированное долговременное развитие добычи полезных ископаемых, улучшение качества сырья и снижение себестоимости впускной продукции, несмотря на ухудшение минерально-сырьевой базы – только за последние 20 лет содержание меди снизилось в 2,25 раз (рис.1.8).

Анализ представленных данных свидетельствует о снижении содержания меди в балансовых рудах, что влечет пересмотр кондиций и вовлечение в разработку запасов, ранее относимых к забалансовым, а также списанным в потери и др. С одной стороны, это позволяет продлить срок службы эксплуатации

месторождения, с другой – неизбежен рост объемов добычи, транспортировка которых экономически и экологически нецелесообразна ввиду обширной площади логистической системы [18]. Необходимо изыскание решений по последующему техническому перевооружению рудника, тем более что вся история рудника связана с планомерным техперевооружением.

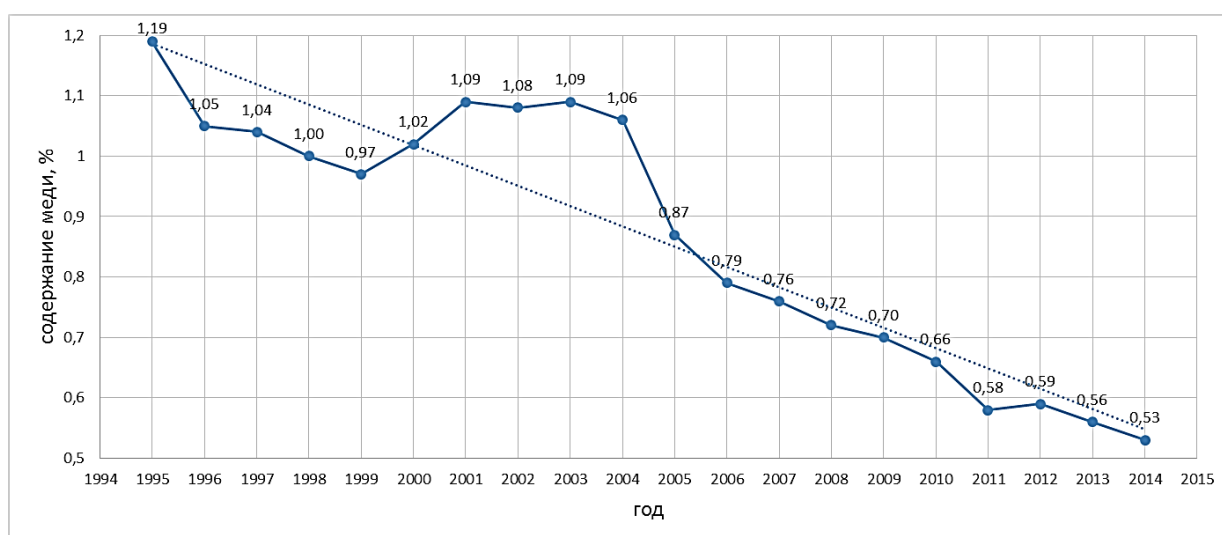


Рисунок 1.8 – Изменение среднего содержания меди в добытой товарной руде на рудниках Жезказганского месторождения

Техническое перевооружение рудников Жезказганского месторождения на базе самоходного оборудования началось с конца 50-ых годов XX века и заключалось в замене оборудования в условиях технологического прогресса и развития горного машиностроительного сектора и в применении новых систем разработки, которые давали более высокие технико-экономические показатели.

Так, в июне 1958 года на шахте № 45 Жезказганского рудоуправления был организован экспериментальный участок, на котором функционировал комплекс безрельсовых забойных машин – буровые каретки СБК-4, экскаваторы Л -67 фирмы «Ландсверк» и кабельные электросамосвалы ТКАС-5. Сменная производительность этого комплекса машин достигла 400 т при расстоянии доставки 150 м. В последующие годы были проведены большие теоретические и экспериментальные исследования, а также конструкторские работы в области систем разработки и разрушения горных пород, вентиляции и конструирования



подземной горной техники. Применение таких дизельных и электрических безрельсовых машин позволило повысить производительность труда рабочих участка в 1,6 раза [19].

Для крупного горно-обогатительного комбината Жезказгана 50-ые годы знаменовались рядом масштабных мероприятий в части технического перевооружения: были выполнены большие объемы капитального строительства, была проведена замена горного технологического оборудования рудников на основе более мощных и производительных средств механизации с одновременным усовершенствованием технологий и организаций работ. Благодаря этому добыча руд на предприятиях увеличилась в 1,5-8 раз, производительность труда рабочего по руднику выросла в 2-3 раза, себестоимость добычи руды снизилась на 40-60% [20].

В 60-ых годах были проведены производственные испытания 80-и типов различного самоходного оборудования в условиях шахт Жезказгана. Это позволило создать и внедрить в производство 18 типов отечественных образцов шахтных самоходных машин, из которых 12 разрабатывались горными инженерами Жезказганского комбината при участии ИГД АН КазССР. С учетом особенностей и возможностей самоходного оборудования данные испытания позволили создать новый вариант системы разработки с открытым очистным пространством, с возможностью предоставления широкого фронта работ для мощных самоходных добычных машин и выявили, что погрузочная машина с новым рабочим органом позволяет: повысить производительность в 1,5 раза; увеличить износостойкость рабочего органа в 17,2 раза; снизить энергоемкость погрузки на 25% [21].

В конце 1965 года в предприятие Жезказганского горно-металлургического комбината была введена шахта № 55. Шахта сооружалась по проекту института Гипроцветмет, тогда она являлась одним из мощных горнорудных предприятий цветной металлургии страны. На новой шахте №55 технологические процессы добычи, включая подъем руды на поверхность, были механизированы и автоматизированы. Добыча руды осуществлялась с помощью самоходного

оборудования: буровых кареток различных типов, экскаваторов и погрузочных машин с загребающими лапами, самоходных вагонов грузоподъемностью 10 и 20 т и горных машин, предназначенных для выполнения вспомогательных процессов (бульдозеры, самоходные полки-каретки для оборки кровли выработанного пространства, установки штанг и зарядания шпуров). Для подъема руды на поверхность была установлена многоканатная подъемная машина на копре башенного типа со скипами грузоподъемностью 25 т. Вся руда на рабочих горизонтах доставлялась безрельсовыми горнотранспортными машинами к капитальным рудоспускам, по которым перепускалась на концентрационный горизонт. По этому горизонту руда транспортировалась к подземной дробильной станции электровозами.

Опыт эксплуатации на руднике самоходного оборудования свидетельствовал о том, что принятая структура технологических комплексов, включающая в один комплекс определенное число буровых, погрузочных и транспортных машин, лишала производственные участки оперативной маневренности, из-за чего снижается общая эффективность работы высокопроизводительных самоходных машин. В дальнейшем это привело к новым этапам технического перевооружения и развития производства с одновременным обновлением технического уровня рудников. В настоящее время шахта № 55 является действующим объектом горнопромышленного Жезказганского комплекса [22].

При модернизации технологических процессов на новой шахте № 55 были проанализированы особенности используемой самоходной техники (относительно большие размеры, масса, мощность привода, газовыделения дизельных двигателей, сложность технического обслуживания и ремонта), которые оказывали существенное влияние на технические решения при проектировании и строительстве рудников, в частности на конструкцию и функции стволов шахт, компоновку сооружений, параметры горно-подготовительных и очистных выработок, схему и режим вентиляции и т. д., так как применение самоходного оборудования, в особенности дизельного, требует соответствующих схем вскрытия, систем разработки и расположения поверхностных сооружений.

Принятые в 60-ых годах новая технология добычи руды с открытым очистным пространством и конструкция системы разработки с вовлечением самоходного горного оборудования создали благоприятные условия для концентрации горных работ и позволили улучшить показатели производительности труда. Таким образом, данные производительности труда Жезказганских рудников при новой технологии добычи руд, полученные в 1970 году, убедительно доказывают бесспорное преимущество самоходного оборудования перед обычными переносными средствами ведения горных работ.

Материалы проведенных промышленных испытаний новых видов горного оборудования свидетельствовали, что при внедрении комплекса самоходных машин увеличился удельный показатель себестоимости 1 т руды ввиду высокой стоимости машин. Действительно, высокая стоимость оборудования, амортизационные расходы, техническое обслуживание и ремонт машин влияли на себестоимость руды. Этому способствовал рост цен на новые горные машины и оборудование, опережающий увеличение их мощности и эксплуатационной производительности. Пример этого - комплекс экскаватор-автосамосвал (рис.1.9) [23]. Очевидно, что такое положение дел сохраняется в настоящее время на этапе замены и модернизации парка самоходных горных машин. Исходя из опыта проведенных ранее мероприятий на Жезказганском месторождении по техническому перевооружению следует, что такой эффект, как повышение себестоимости руды в связи с обновлением горной техники, является временным, а переход на более эффективное горное оборудование - экономически целесообразным.

В 70-ые годы на подземных рудниках Жезказганского горно-металлургического комбината добывалось 50% руды предприятий цветной металлургии Казахстана. В 1971 году почти 60% всей руды, добываемой подземным способом, было получено с применением самоходного оборудования.



Рисунок 1.9 – Автосамосвал МоАЗ-6401-9585 под погрузкой руды экскаватором ЭП-1

Основные шахты-гиганты комбината № 55 и № 57 были оснащены следующими машинами и механизмами. Забои бурили каретками СБУ-2М и СБУ-2К. Для доставки ВМ и зарядания шпуров применялась машина ПМЗШ, для погрузки руды — экскаваторы ЭП-1 с ковшом емкостью 1 м<sup>3</sup>, погрузочные машины ПНБ-3К и ПНБ-3Д весом 24 т и ПНБ-4 весом 32 т (рис. 1.10). Для зачистки забоев использовались бульдозеры БПД-2Д мощностью 100 л. с., для доставки руды к рудоспускам на расстояние до 1,5 км — автосамосвалы грузоподъемностью 25 т. Кровлю крепили с полков СП-12, СП-25, СП-8А и СП-18А. Людей, материалы и запасные части доставляли автосамосвалами МАЗ-503, самоходными вагонами 20РС, самоходными шасси СШ-20 [24].

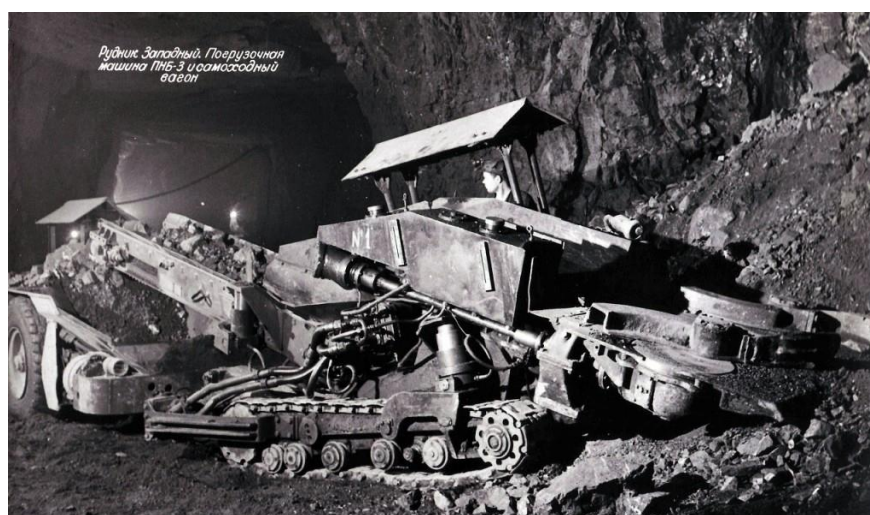


Рисунок 1.10 – Погрузочная машина ПНБ-3К и самоходный вагон

Существенный рост общерудничного показателя производительности труда рабочего по руднику на Жезказганском месторождении зафиксирован в 80-ых годах (на 20-50 % за 1975-1980 гг.). Такие показатели были достигнуты на рудниках с преобладающим удельным весом новой технологии, при комплексном применении самоходного оборудования на всех технологических процессах добычи полезного ископаемого. На шахтах-гигантах Жезказганского месторождения этот показатель составлял около 7 м<sup>3</sup>/чел-смену, что 2-4 раза выше, чем на других рудниках цветной металлургии.

В научных источниках тех лет также было отмечено, что применение самоходного оборудования позволило довести уровень механизации на основных операциях забойного цикла (бурения, погрузки, доставки руды) до 90—98 %. Однако из-за недостатка машин и механизмов для трудоемких вспомогательных и ремонтных работ уровень механизации в целом по процессам был ниже в 1,5-2 раза и составлял, например, на рудниках Жезказганского комбината, около 40-50 % [25].

В 80-ых годах была введена в эксплуатацию шахта № 65, которая превосходила по мощности ранее разведанные шахты-гиганты № 55 и № 57 Жезказганского месторождения, а также другие действующие шахт и рудники цветной металлургии, что определяло особые требования к вскрытию шахтного поля. Достижения проектной мощности по добыче руды могли быть обеспечены только вследствие применения современного безрельсового самоходного оборудования при производстве подготовительных и очистных работ, а также организации бесперебойного транспортирования и выдачи на поверхность большого количества горной массы (рис. 1.11).

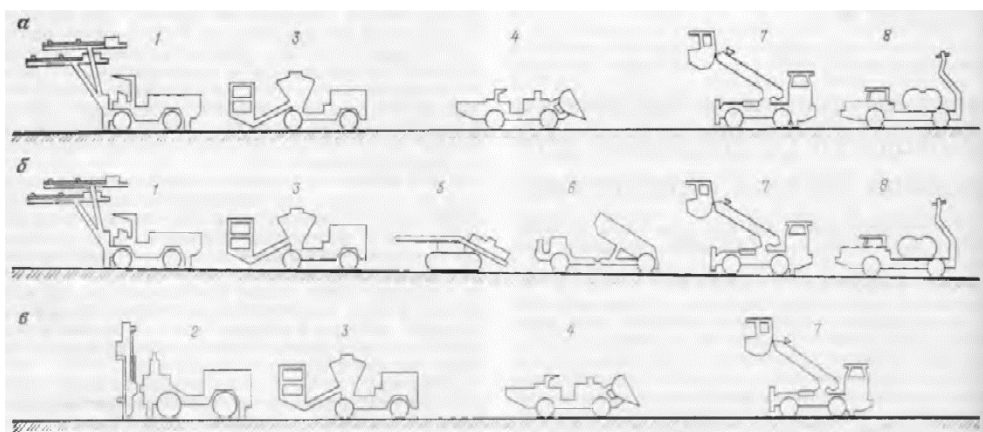


Рисунок 1.11 – Комплексы основного технологического оборудования в 1984 году

Обычные схемы вскрытия этим условиям удовлетворить не могли, поэтому была запроектирована и осуществлена на практике новая схема вскрытия (рис. 1.12), имеющая следующие отличия: вместо полевой подготовки этажей принята рудная подготовка параллельных залежей с применением безрельсового транспортирования руды на всех рудных горизонтах. Транспортирование руды и породы производилось автосамосвалами МоАЗ-6401 грузоподъемностью 20 т.

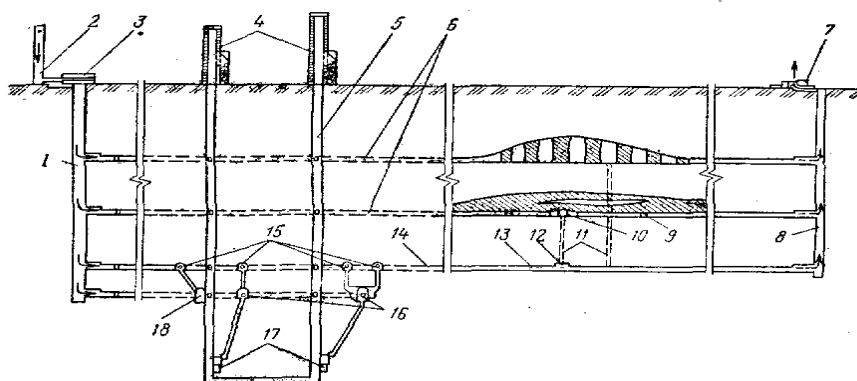


Рисунок 1.12 – Принципиальная схема вскрытия на шахте №65 Жезказганского месторождения

К началу 90-ых годов на подземных рудниках цветной металлургии был накоплен значительный опыт применения самоходного дизельного горного оборудования в различных горнотехнических условиях. Так, на долю самоходных машин приходилось около половины добычи подземным способом руд всех цветных металлов, причем в перспективе этот показатель значительно возрос. С середины 90-ых годов и по настоящее время большая часть оборудования на

предприятиях «Казахмыс» предоставлена компанией «Sandvik», в том числе самосвалы TORO 50 и погрузчики LH514.

В результате планомерного технического перевооружения сформировалась существующая технологическая схема рудника. Вместе с тем, при анализе этапов технического перевооружения определено, что оставшихся балансовых запасов недостаточно для поддержания высокой производительности рудника – их осталось не более чем на 10 лет. При этом специалистами ЮЖР в ходе инвентаризации оценены возможные источники добычи (рис. 1.13) [26]. Установлено, что всего балансовых запасов 104989 тыс. т, из них активные и вовлекаемые запасы составляют 77794,9 тыс. т – 47797 тыс. т охвачены стратегическим планом и 29997,4 тыс. т не охвачены стратегическим планом, а оставшиеся 27194,1 тыс. т приходятся на запасы, не вовлекаемые ввиду особых техникой решений по их отработке.

По полученной инвентаризации (см. рис.1.13), предложенный в работах М.В. Рыльниковой и А.Б. Юна [27] способ гидрометаллургического передела бедных медесодержащих руд позволит вовлечь забалансовые запасы и запасы, ранее списанные в потери. Так, забалансовые запасы были оценены в размере 192037 со средним содержанием 0,4% меди, из которых 107954,1 вовлекаемых. Запасы, списанные в потери, были оценены на 24060,4 тыс. т с содержанием меди 1,1%, 19225,2 тыс. т из которых вовлекаемые. Общее количество вовлекаемого полезного ископаемого составляет 204974 тыс. т, что в 4,2 раза больше, чем объем, который находится сейчас в отработке по стратегическому плану. Таким образом, срок существования ЮЖР будет продлен почти на 50 лет.

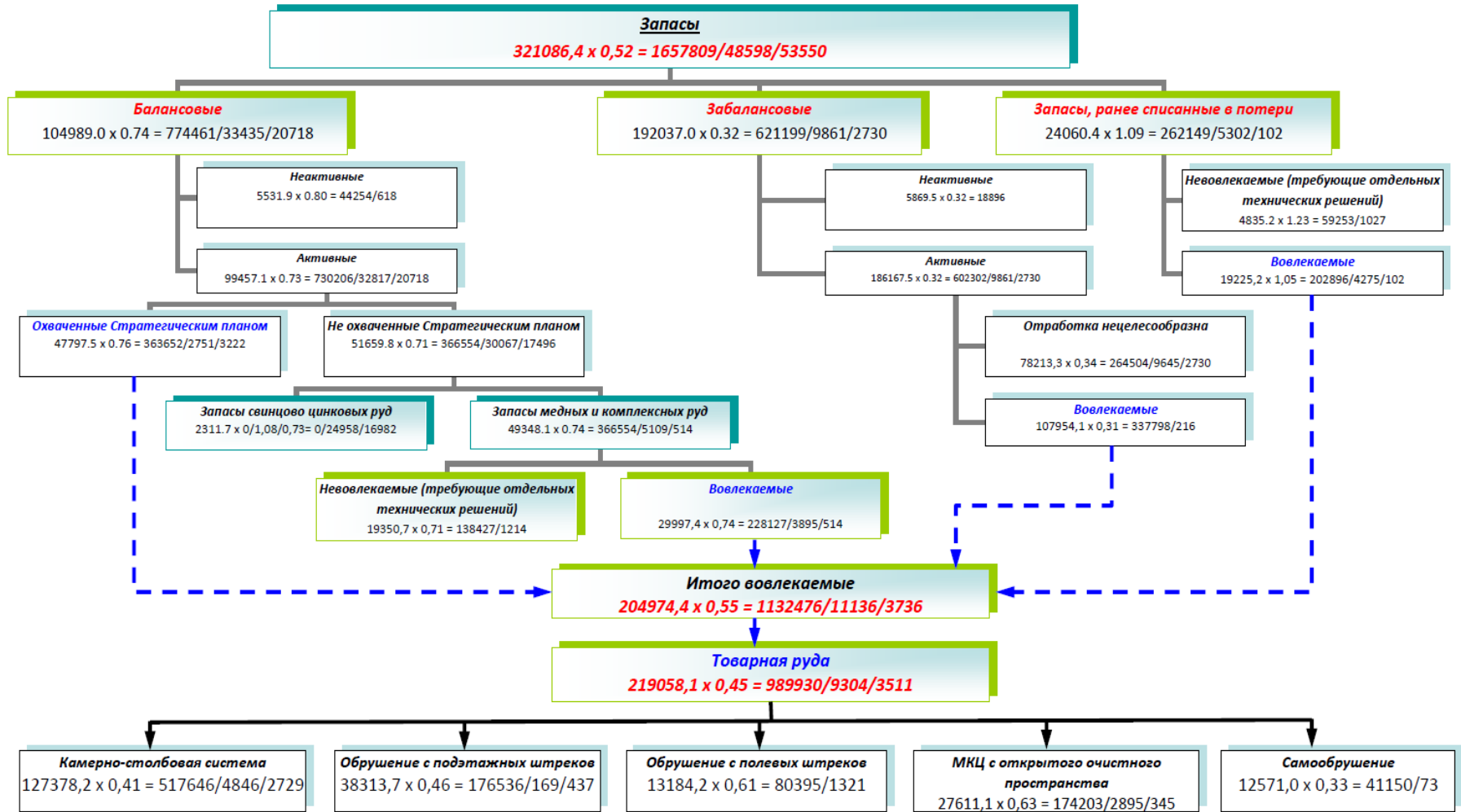


Рисунок 1.13 - Классификация запасов Южного рудника и результаты подсчета их объемов



Технологическая схема, предложенная А.Б. Юном, приведена на рис. 1.14. Данная схема принята Стратегией развития рудников Жезказгана до 2070 года [28]. Она является новым этапом технического перевооружения рудника, которое систематизировано описано в табл.1.1.

Таблица 1.1 – Систематизация этапов технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения

Год	Фактические этапы технического перевооружения	Результаты технического перевооружения
1	2	3
1957-1960	Применение более мощных и производительных средств механизации, значительное усовершенствование технологии и организации работ	Добыча руд на предприятиях увеличилась в 1,5-8 раз, производительность труда рабочего по руднику выросла в 2-3 раза, себестоимость добычи руды снизилась на 40-60%.
1961-1965	Внедрение комплекса безрельсовых машин – буровых кареток, экскаваторов и электросамосвалов	В 1,6 раза повысилась производительность труда рабочих участка.
1970	Внедрение в производство 18-и типов отечественных образцов шахтных самоходных машин	Удельный вес добытой руды непрерывно возрастал и в 1969 составил 51,5%.
1970	Внедрение на рудниках новой технологии добычи и комплексной механизации производственных процессов	Значительно улучшились технико-экономические показатели работы, в особенности производительность труда, что существенно различается с показателями других горнодобывающих предприятий, не применяющих самоходное оборудование.
1971	Разработка работниками Жезказганского комбината специального погрузо-транспортного агрегата ПСШ-20Д, предназначенного для механизации погрузки, доставки, разгрузки материалов и оборудования и т.д.	Существенно облегчены вспомогательные работы и на 70-80% повышена производительность труда.
1972	Анализ основных конструктивных параметров и эксплуатационных показателей различных типов транспортных машин	Установлено, что для подземных условий шахт Жезказгана наиболее эффективны самоходные вагоны самосвального типа с дизельным приводом грузоподъемностью не менее 18—20 т.
1972	Применение агрегатов МПО-1 и самоходных колесосъемников СКС-3	Повышение безопасности труда. Экономический эффект от внедрения одного агрегата МПО-1 составил 27,09 тыс. руб., одного колесосъемника СКС-3 – 14,25 тыс. руб.
1976	Использование погрузочных агрегатов – экскаваторов ЭП-1, погрузочных машин с	Производительность погрузчика за отработанную смену стала на 20% выше, чем экскаватора, годовой объем отгруженной

	нагребающими лапами ПНБ-4 и ковшовых погрузчиков на пневмошинном ходу с ДВС ПДМ-8	руды в расчете на одну списочную машину – в 1,7 раза больше. Кроме того, применение погрузочно-доставочного оборудования, а именно погрузочных машин, позволило повысить сменную производительность автосамосвалов на 10—15% за счет сокращения времени на загрузку.
1978	Внедрение экспериментального образца погрузочной машины на базе ПНБ-3Д	В результате проведенных промышленных испытаний выявлено, что погрузочная машина позволяет повысить производительность в 1.5 раза и снизить энергоёмкость погрузки на 25%.
1981	Комплексное применение самоходного оборудования на очистных и проходческих работах для бурения и зарядки шпуров и скважин, для доставки руды	Существенно возрос, на 20-50 %, общерудничный показатель производительности труда горного рабочего по руднику.
1985-1987	Механизация большинства технологических процессов. Применение таких мощных горных машин, как бурильные установки УБШ-532Д, «Миниматик» фирмы «Тамрок», машины для зарядки шпуров ПМЗШ-2, погрузочные машины ПНБ-4, ковшовые погрузчики 980С фирмы «Катарпиллер», автосамосвалы МоА3-7405 и т.д.	Увеличился объем подземной добычи руды до 84,3% и на 2,75 % по сравнению с 1985 годом. Увеличилась в 1,3 раза годовая выработка на единицу самоходного оборудования. Производительность труда составила 6,9 м <sup>3</sup> /чел-смену, что в 4 раза превысило показатели мировых достижений.
2005-2007	Применение техники компании «Sandvik Tamrok» – буровых установок «LP-140», ПДМ «TORO-400 LP», установок для крепления кровли «Robolt LP-126 XL»	Осуществилось внедрение техники с целью повышения эффективности отработки маломощных залежей.
2008-2022	Внесение предложения новой логистической схемы перемещения рудной массы	Оптимизация транспортной логистической системы позволила снизить на 44,6% затраты на комплекс внутришахтного транспорта; более того, снизятся на 53,3% затраты на дизельный транспорт.

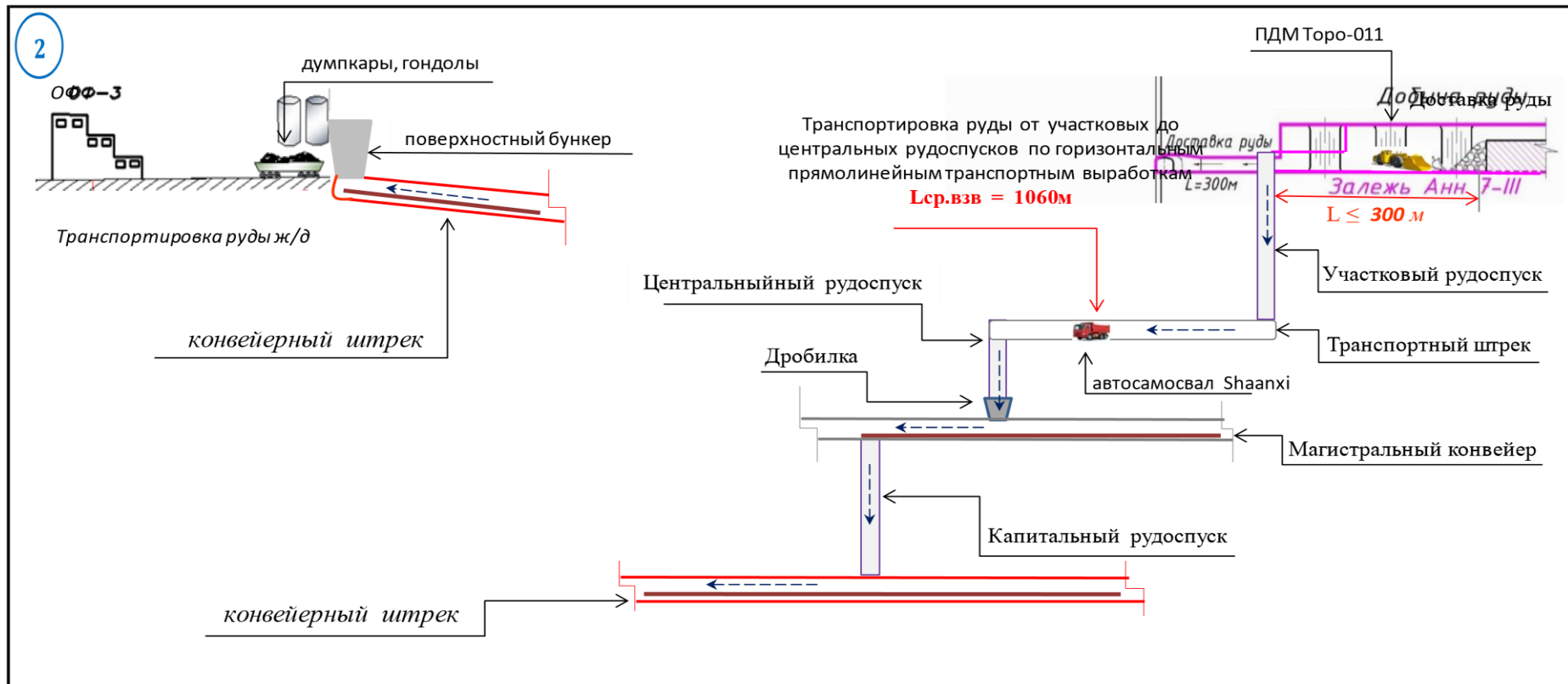


Рисунок 1.14 – Альтернативная технологическая схема Южно-Жезказганского рудника в соответствии с принятой стратегией Корпорации Казахмыс [29]

Анализ рисунка. 1.14 свидетельствует

- о рациональном размещении участковых рудоспусков с ограничением длины откатки  $L < 300$  м заменой существующей технологической пары «погрузчик CAT- 980GII - самосвал TORO-50+» на погрузочно-доставочные машины Sandvik LH621 (TORO-011) и самосвалы Shaanxi;
- об организации транспортировки руды самосвалами по горизонтальным прямолинейным транспортным выработкам со средней длиной откатки до капитальных рудоспусков  $L_{ср.взв.} = 832$  м (рис.3.43) с применением недорогих самосвалов Shaanxi грузоподъемностью 40 т и средней скоростью движения 20-25 км/час;
- об увеличении скорости движения самосвалов с 10 км/час до 20-25 км/час.

Приведенные в диссертации А.Б. Юна расчеты показали, что предложенные решения по оптимизации транспортной логистической системы Жезказганского месторождения снижают на 44,6% затраты на комплекс внутришахтного транспорта и на 53,3% - затраты на дизельный транспорт.

Анализ всех этапов технического перевооружения рудников Жезказгана показал, что оно привело к внедрению высокопроизводительного оборудования, однако это не исключает фактора, связанного с высокими затратами на вентиляцию в добычных панелях и рудника в целом при работе дизельного оборудования, а также фактора прокладки вентиляционных рукавов к очистным забоям, их удаления на время проведения взрывных работ. Весьма высокие, по схеме А.Б.Юна [29], капитальные затраты на проходку горно-капитальных выработок большого сечения для перемещения автосамосвалов и приобретение большего количества автосамосвалов – еще два фактора в пользу изыскания новых решений по модернизации транспортной технологической схемы рудника. Новым направлением в развитии горного машиностроения является разработка и внедрение электрических погрузочно-доставочных машин с автономным источником питания. Для рудников Жезказгана переход на электрическое самоходное горное оборудование и отказ от дизельных горнотранспортных средств

не только позволит полностью исключить использование дизельного топлива, но и приведет к значительному сокращению выбросов отработанных газов дизельного оборудования.

### **1.3. Сравнительный анализ эффективности применения горнотранспортной техники на базе двигателя внутреннего сгорания и электрического привода горных машин с автономным источником питания**

Актуальность технического перевооружения рудников на базе внедрения погрузочных и транспортных машин с электрическим приводом с автономным источником питания состоит в существенном снижении затрат на вентиляцию рудника и снижении отрицательного воздействия горного оборудования с дизельными двигателями в условиях загазованной атмосферы выработок разрабатываемых месторождений [30-35]. Проведенный сравнительный анализ по факторам, определяющим эффективность горных работ, выявил преимущества и недостатки дизельного и электрического приводов (табл. 1.3).

Сравнительный анализ эффективности горных машин с дизельным и электрическим приводом позволил выявить преимущества и недостатки добычи полезных ископаемых при повышенных энергозатратах на проветривание горных выработок, приобретение дизельного топлива и в условиях сильно загазованности атмосферы подземного рудника [36-42].

Одними из значимых критериев, который необходимо учитывать при выборе и обосновании параметров перехода подземного рудника к горному оборудованию с электрическим автономным источником питания, является уровень его негативного воздействия на окружающую среду, а также (что особенно значимо при отработке месторождений в криолитозоне), количество выделяемой теплоты горной машиной при ее эксплуатации. Инвестиционная привлекательность включает в себя разницу эксплуатационных, энергетических и капитальных затрат при отличии дизельного и электрического привода.

Таблица 1.2 - Сопоставление эффективности применения дизельного и электрического привода горного оборудования [43-46]

Факторы, определяющие эффективность технического переоснащения рудника	Привод	
	Дизельный	Электрический
Условия заправки оборудования	Длительность заправки зависит от мобильности комплекса подачи топлива, заправка осуществляется 5-10 мин станцией Nordik, до 55 минут стандартным способом.	Смена заряженного аккумулятора в течении 5 минут
Инвестиционная привлекательность	Низкие капитальные затраты Высокие эксплуатационные затраты	Низкие эксплуатационные затраты Высокие капитальные затраты
Питающий энергоресурс	Затраты на дизельное топливо выше, чем на электричество.	Со временем аккумулятор деградирует и теряет часть запаса емкости.
Негативное влияние на окружающую среду	Высокое загрязнение воздуха выбросами выхлопных и парниковых газов	Отсутствие выхлопных газов, низкий уровень шума, вибрации и испускание меньшего количества тепла
Количество выделяемой теплоты	Выделяет больше тепла, что влияет на износ деталей.	Выделяет меньше количества теплоты, что снижает риск растепления горных пород в условиях вечной мерзлоты.
Влияние на вентиляционную систему рудника	Для разжижения выхлопных газов требуется больше подаваемого воздуха, тем самым создается нагрузка на вентиляцию.	+ На вентиляцию требуется на 50% меньше затрат, чем при использовании дизельного привода.
Энергоэффективность	-КПД составляет 30-35%.	+КПД составляет 90%.

Сравнительный анализ сопоставления дизельного и электрического приводов является одним из основных способов выявления зависимостей параметров вентиляции подземных рудников. Такие параметры определяют перспективу перехода от дизельного горного оборудования к электрическому.

Предложенный для развития иных, альтернативных решений расширения, усовершенствования и улучшения экологической сбалансированной обстановки фронта горных работ подход по ротации дизельного оборудования на горные машины, оснащенные электрическим двигателем, на основе полученных ранее данных позволяет утверждать, что от количества поступающих в шахтный воздух

выхлопных газов напрямую зависят затраты на разжижение отработанных газов с нарастанием глубины разработки и увеличением годовой производительности.

Немаловажным аспектом эффективности выбора горного электрического оборудования являются затраты на питающий энергоресурс – электроэнергию. В ходе анализа этапов технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения было выявлено, что в настоящее время широко применяется дизельный погрузчик LH 514, а не выпускаемый аналог с электрическим приводом (на питающем проводе) LH 514E (рис.1.15) [47].



Рисунок 1.15 - Внешний вид электрического погрузчика Sandvik LH 514E

Поэтому в табл. 1.4 приведен сравнительный анализ двух идентичных единиц горнотранспортной техники компании «Sandvik». Погрузчики LH 514 и LH 514E обладают лишь разного типа приводами, но номинальная мощность, грузоподъемность и емкость ковша одинаковы. Результаты были получены опытным путем при помощи расчетов и сравнения данных. Затраты на эксплуатацию дизельного погрузчика в условиях 3500 часов работы принимает значение в 2,8 раза большее, чем при снабжении электроэнергией электрического погрузчика за приблизительно то же количество рабочих часов (см.табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Сравнительный анализ идентичных погрузчиков с разными приводами

Характеристики	Модель	
	Погрузчик Sandvik LH 514	Погрузчик Sandvik LH 514E
	Дизель	Электричество
Номинальная мощность (кВт)	256	132

Грузоподъемность (кг)	14000	14000
Емкость ковша (м <sup>3</sup> )	5,4	5,4
Крутящий момент (об./мин)	1260	1500
Номинальный расход топлива (литры/кВт*ч)	217	–
Стоимость электроэнергии (среднесуточная с двух тарифным учетом)	–	5 руб./кВт*ч
Стоимость дизельного топлива	45 руб./литр	–
Расход топлива в час (л./час)	42	–
Стоимость топлива/энергии в год (3500 часов работы)	6 615000	2 310000

Исходя из полученных данных следует вывод, что замена дизельного оборудования горными машинами на базе электрического привода значительно сократит потребление такого энергоресурса, как топливо, и финансовые затраты без потерь производительной мощности оборудования, причем наиболее предпочтительна замена дизельных ПДМ на электрические с автономным источником питания.

Оснащение горнотехнических систем оборудованием на базе электрического привода с автономным источником питания и зарядными комплексами потребует более масштабного проектирования подземной вентиляции шахт. На такое проектирование окажут влияние следующие факторы: поток скорости струи воздуха, уровень тепла и пыли от буровзрывных работ, нулевые выхлопные газообразования в результате эксплуатации мобильного электрооборудования.

Неоспоримым преимуществом для конструкции шахты при замене дизельных двигателей на электрическое оборудование, оснащенное зарядными батареями, является сокращение капитальных затрат на проектирование вентиляционной системы и снижение эксплуатационных затрат из-за перехода на более маломощные вентиляторы и из-за работ по охлаждению. Однако существуют проблемы с нынешним состоянием технологии, связанным с модернизацией оборудования, управление оперативной заменой батареей и инфраструктура размещения зарядных станций в условиях горнотехнической системы [48-56].



Далее представлено сопоставление существующей техники в дизельном и электрическом исполнении (табл. 1.4).

Таблица 1.4 - Сопоставление горного оборудования на базе дизельного и электрического привода

Привод горной машины	Грузоподъемность	Дизельный	Электрический
<b>Марка</b>	7 тонн	Погрузчик Epiroc Scooptram ST7	Погрузчик Epiroc Scooptram ST7 Battery
	10 тонн	Погрузчик Epiroc Scooptram ST1030	Погрузчик Epiroc Scooptram EST1030
	3,6 тонн	Погрузчик Epiroc Scooptram ST2D	Погрузчик Epiroc Scooptram EST2D
	6 тонн	Погрузчик Epiroc Scooptram ST3.5	Погрузчик Epiroc Scooptram EST3.5
	14 тонн	Погрузчик Epiroc Scooptram ST14	Погрузчик Epiroc Scooptram ST14 Battery
	42 тонны	Шахтный самосвал Minetruck MT42	Шахтный самосвал Minetruck MT42 Battery
	20 тонн	Шахтный самосвал Minetruck MT2010	Шахтный самосвал Minetruck MT2010 Battery
	14 тонн	Погрузчик LH514	Электрический погрузчик LH514E
	9,6 тонн	Погрузчики Sandvik LH409	Электрические погрузчики Sandvik LH409E
	3,5 тонны	погрузчик Sandvik LH203	Электрический погрузчик Sandvik LH203E
	9,5 тонн	Погрузчик Liebherr L538	Электрические погрузчики GHN-Fahrzeuge LF-10NE
	12 тонн	Погрузчик Liebherr L550	Электрические погрузчики GHN-Fahrzeuge LF-14NE
	21 тонн	Погрузчик Liebherr L586	Электрические погрузчики GHN-Fahrzeuge LF-21NE

Приведенные в таблице 1.4 данные свидетельствуют о развивающемся производстве электрических горных машин и их разнообразии, достаточном для полной замены дизельных погрузчиков с целью технического перевооружения рудников.

Более подробная информация об электромобилях в горнодобывающей промышленности представлена в руководящем документе Global Mining Standards and Guidelines (GMG 2018) [57].

Так, мгновенная передача крутящего момента электродвигателя помогает автомобилям использовать простой зубчатый привод вместо сложной трансмиссии [58]. Анализ конструктивных особенностей дизельного и электрического приводов показал, что в сравнении с дизельным двигателем у электрического улучшенная эластичность трансмиссии, в частности, на разгон машины с места затрачивается гораздо меньшее время. Это связано с тем, что электродвигатель набирает максимальный крутящий момент почти мгновенно со старта (рис. 1.16). Кроме этого, при применении электродвигателя уровень шума в подземном руднике на рабочих местах значительно ниже. Также немаловажным преимуществом является то, что энергозатраты на выполнение той же полезной работы электрической машиной по сравнению с дизельной значительно ниже, ввиду отсутствия механических потерь при работе дизельного привода (от двигателя к ведущему мосту). В ходе выполненного анализа конструктивных особенностей дизельного и электрического приводов определено, что электродвигатель более эффективно поддается электронному управлению. Это, в свою очередь, обеспечивает широкие возможности для регулировки крутящего момента на колёсах и осях.

Анализ рис. 1.16 свидетельствует, что в сравнении с двигателем внутреннего сгорания двигатель электрической машины имеет большое количество достоинств и более эффективен в работе. Известно, что дизельный двигатель не способен обеспечить сразу большой крутящий момент со старта, тогда как конструктивные параметры и эксплуатационные характеристики электрического двигателя позволяет мгновенно набирать необходимое количество оборот и крутящий момент при одновременном снижении номинальной потребляемой мощности. Немаловажным преимуществом является и то, что электрический двигатель всегда обеспечивает необходимый крутящий момент в широком диапазоне частоты вращения ротора [60, 61].

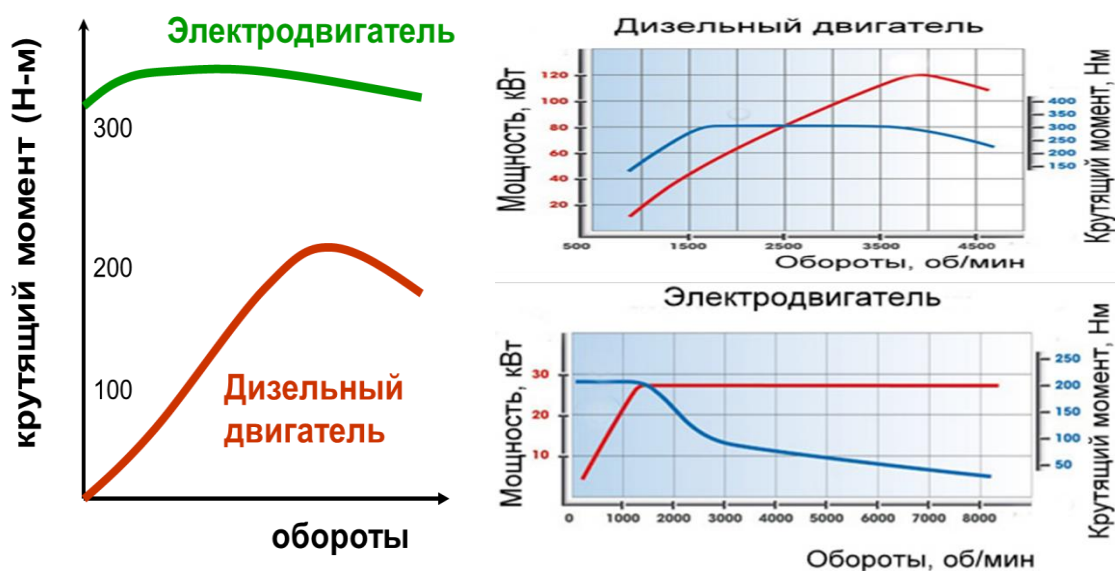


Рисунок 1.16 - Сравнительная характеристика мощности дизельного и электрического приводов [59]

Для выявления признаков производительности необходимо сначала рассмотреть принципы работы дизельной и аккумуляторной машины. В дизельной машине источником движущей силы является двигатель внутреннего сгорания. За счет воспламенения топливной смеси, повышения давления и температуры в цилиндрах генерируется достаточно энергии, для того чтобы приводить в движение поршни. Возвратно-поступательное движение поршней через кривошипно-шатунный механизм переходит во вращательное движение коленвала, это вращение через трансмиссию передаётся на ведущие колеса. В электромобиле же источником энергии выступает блок батарей [60, 61]. Инвертор преобразует постоянный ток батарей в трехфазный переменный ток. Этот ток приводит в движение индукционный мотор, который в свою очередь вращает ведущие колеса [62-64].

Сравнение мощностных характеристик двух приводов показало, что ДВС уступает электродвигателю, т.к. он эффективно работает только в определенном диапазоне оборотов, поэтому в паре с ним приходится использовать дорогую и сложную трансмиссию. Электродвигатель же работает в широком диапазоне оборотов, и мощность можно подавать на колеса без использования дополнительных передач. Обороты электродвигателя контролируются через инвертор простым изменением частоты питающей сети. Поэтому электродвигатель

способен выдавать огромный крутящий момент уже со старта, в то время как ДВС на низких оборотах слаб, и ему требуется помощь стартера, для того чтобы раскрутиться до рабочего диапазона.

Именно эти особенности электропривода определили развитие горного машиностроения как отвечающего принципам устойчивого развития.

#### **1.4. Особенности развития подземного рудничного транспорта в свете перехода горных предприятий на принципы устойчивого развития**

Главенствующим направлением устойчивого развития Жезказганского месторождения является техническое перевооружение на базе перехода от дизельного горного оборудования к электрическому. Для условий Жезказганского месторождения реализация технического перевооружения путем замены дизельного привода электрическими горными машинами позволит достичь следующие 6 целей на пути устойчивого развития [65-70].

- 1 цель и 8 цель - «Повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах», «Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех». Повышение энергоэффективности, сокращение затрат на энергоресурсы и вентиляцию и рациональное недропользование позволит существенно продлить срок службы месторождения, что в свою очередь предполагает продолжительное обеспечение региона рабочими местами.

- 3 цель – «Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте». Как известно, электрическое горное оборудование в период эксплуатации не испускает и не выделяет выхлопные газы, следовательно, в составе рудничного воздуха будет содержаться меньшее количество токсичных выбросов от ДВС. Очевидно, что острое или постоянное воздействие выхлопных газов дизельных двигателей, включая ультрадисперсные аэрозоли, негативно влияет на здоровье горнорабочих и в последствии вызывает

серьезные проблемы, включая рак легких, респираторные заболевания и болезни сердца.

- 7 цель – «Обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех». Применение электрического горного оборудования значительно повлияет на такой неотъемлемый сегмент горного производства, как потребление энергоресурсов. Несомненным преимуществом этого является сокращение затрат на рудничную вентиляцию, отказ от дизельного топлива и возможность заряжать электрическое оборудование только лишь питающим источником, преобразованным от «зеленой» энергии (энергии солнца, воды, ветра и т.д.).

- 9 цель – «Создание стойкой инфраструктуры, содействие обеспечению всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям». В этом направлении значительный интерес представляет развитие роботизированных геотехнологии, переход на автоматизированные, электрические горные машины с элементами искусственного интеллекта.

- 13 цель – «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями». Действительно, оборудование на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) наносит значительно больший вред окружающей среде, поэтому переход на электрическое горное оборудование позволит существенно сократить выбросы CO<sub>2</sub>.

В соответствии с указанными целями устойчивого развития далее представлен анализ мирового опыта в области применения электрического оборудования - влияние всего жизненного цикла электрических машин на количество выбросов выхлопных и парниковых газов, экономическая и экологическая эффективность в сравнении с дизельными машинами.

Установлено, что решение вопросов, связанных с повышением энергоэффективности горнотехнической системы несет повышенную значимость, как с экологической, так и с финансовой позиций [71-76]. Действительно, оборудование с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) несет значительный вред окружающей среде [77,78]. Сокращение выбросов при одновременно повышении

энергоэффективности горнотехнических систем обеспечивает только замена в среднесрочной перспективе дизельных горнотранспортных средств на горное оборудование с электрическим приводом. Именно это будет способствовать снижению энергопотребления на 40% и выше, по сравнению с современным уровнем общего объема потребляемой мощности подземных рудников [79].

Очевидно, что в последнее время мировое сообщество озадачено решением проблем устойчивой развития, энергетической безопасности и изменения климата прежде всего посредством мер, направленных на устранение воздействия выбросов парниковых газов (ПГ) в транспортном секторе. В настоящее время на дизельный транспорт приходится около четверти мирового потребления энергии и выбросов ПГ, причем примерно три четверти этого объема приходится на автомобильный транспорт. По прогнозам, выбросы парниковых газов увеличатся почти на 50% к 2030 году и более чем на 80% к 2050 году [80].

Исследователями было признано, что ежегодно во всем мире эксплуатация и износ дизельного горного оборудования приводят к 970-и миллионам тонн выбросов CO<sub>2</sub> при добыче полезных ископаемых (что составляет 2,7 % мировых выбросов CO<sub>2</sub>). Общие расчетные экономические потери от эксплуатации и износа оборудования при добыче полезных ископаемых составляют в общей сложности 210 000 миллион евро, что ежегодно распределяется как 40 % ресурсов при эксплуатации, 27 % для производства запасных частей и запасного оборудования, 26 % на ремонтные работы и 7 % на потери. Самыми энергоемкими процессами определены торможение, дробление, измельчение, погрузка, перевозка и транспортировка при добыче полезных ископаемых. Потери при эксплуатации и износе горного оборудования, связанные с добычей полезных ископаемых, оказывают большое влияние на потребление энергоресурсов. Влияние использования автомобильного и горнорудного транспорта на мировое потребление энергии было определено несколькими авторами [81-84]. По оценкам, общее энергопотребление в мировой горнодобывающей деятельности, включая добычу полезных ископаемых, составляет 6,2 % от общего мирового энергопотребления. Около 38 % потребляемой энергии расходуется на погрузку и

доставку горных масс, 9 % приходится на обеспечение вентиляции, 8 % энергии затрачивается на буровые работы. Так, авторы предположили, использование преимущества новых технологий для минимизации износа горного оборудования способствует сокращению потерь на 15 % в краткосрочной перспективе (10 лет) и на 30 % в долгосрочной перспективе (20 лет). В долгосрочной перспективе годовая выгода составит 62 200 миллион евро, потребление энергии - 550 ТВтч, а выбросы CO<sub>2</sub> сократятся на 290 млн. т [85]. Горное самоходное электрическое оборудование является более износостойким, не испускает выхлопных газов при эксплуатации, а его упрощенное исполнение позволит сократить время на техническое обслуживание и ремонтные работы, тем самым минимизировав время простоев горного оборудования.

В изученных иностранных источниках показано, что в странах Европейского союза максимальное количество выбросов CO<sub>2</sub> происходит при зарядке электрических машин с выбросами, равными 67 т CO<sub>2</sub>, тогда как эффективность их работы составляет 92 % (КПД) [86]. Предполагается, что общая вырабатываемая электроэнергия в США состоит на 50 % из использования угля, на 17 % - природного газа, на 3 % - нефти, на 19 % - ядерной энергии, на 7% - гидроэнергии и на 4 % - других источников энергии [87,88].

Так, бельгийскими учеными было доказано, что в течение жизненного цикла электрические машины в аккумуляторном исполнении испускают меньше выбросов CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, чем бензиновые и дизельные транспортные средства. Это связано с большой долей потребления ядерной энергии в структуре электричества [89].

В материалах иностранных исследований достоверно указано, что электрические транспортные средства не испускают выбросы CO<sub>2</sub> во время эксплуатации, то есть работают с нулевыми выбросами. Но в процессе производства электроэнергии и аккумуляторов и утилизации аккумуляторов потребление электрической энергии имеет преобладающее значение. Потребление электрической энергии на этих этапах жизненного цикла машин с электроприводом наносит весомый ущерб окружающей среде с точки зрения токсичности для

человека, выбросов парниковых газов и разрушения озонового слоя. Процесс производства электроэнергии играет важную роль в общем воздействии электромобилей на окружающую среду [90].

В некоторых научных источниках доказано, что на этапе производства электрические машины испускают больше выбросов, чем бензиновые и дизельные аналоги. Эти дополнительные выбросы происходят из-за производства литиевых батарей и связанных с ними силовых электронных компонентов. Тем не менее этап производства транспортного средства является одноразовым процессом и выбросы неизбежны. Также гибкость процесса зарядки аккумулятора позволяет использовать электроэнергию от возобновляемых источников, которые характеризуются нестабильным вырабатыванием количества энергии [91].

В частности, результаты показывают, что в экономике, основанной на возобновляемых источниках энергии, для дизельного оборудования требуется в 2,4-2,6 раза больше производства энергии, чем для машин с электрическим приводом. Кроме того, стоимость дозаправки дизельных машин выше почти в три раза. Тогда как электрические машины становятся более эффективными, более чистыми и незначительно затратными с точки зрения производства, дозаправки и инвестиций, направленных на техническое и ремонтное обслуживание [92, 93].

Китайскими учеными было обнаружено, что эффект от применения оборудования в электрическом и гибридном исполнении будет весьма незначителен ввиду качества потребляемой энергии из сети. Соответственно, предпочтительным видом энергии, потребляемой электрическими и гибридными машинами, является «зеленая» энергия. Такое решение позволит значительно снизить выбросы CO<sub>2</sub> на многих этапах жизненного цикла электрического оборудования [94]. В целом различные исследования показывают, что в разной степени, в зависимости от типа, используемого электростанцией и конкретным регионом энергоресурса, электрооборудование позволит сократить выбросы парниковых газов. По сравнению с природным газом и возобновляемыми источниками в зависимости от относительного уровня использования угля для



получения электроэнергии типичные для США сокращения будут составлять порядка 20-50% [95].

Главенствующим направлением научных исследований в области устойчивого развития на базе внедрения электрического самоходного оборудования является создание системы энергопотребления, основанной на возобновляемых источниках энергии. В настоящее время в мире мало проектов, связанных с разработкой этой технологии. Так, теоретические обзоры научных источников дают понять, что электрический и гибридный транспорт имеют высокий потенциал для проведения мероприятий по техническому перевооружению и для отказа от дизельного оборудования. Исследования показывают, что у электрического оборудования улучшены рабочие и технические характеристики транспортного средства, которому свойственно сохранение и рекуперация энергии при торможении [96].

Во многих научных источниках большое внимание было уделено решению проблем потребления ископаемого топлива, включая возможности сокращения выбросов при поставке и эксплуатации оборудования. Переход к оборудованию на базе электрического привода обладает высокой энергоэффективностью и нулевыми выбросами выхлопных газов. Несмотря на то что при эксплуатации электрооборудования отсутствует испускание выхлопных газов, все же значительное количество выбросов приходится на этапах изготовления транспортных средств и аккумуляторов.

Таким образом, связь между долей возобновляемой энергии и внедрением электрических машин очевидна, и поэтому для эффективного решения вопросов устойчивого развития крайне важно одновременно проводить изыскания в секторе производства энергии [97].

В других научных работах рассматривается вопрос растущей экологической проблемы, связанной с глобальным потеплением и ограниченностью источников энергии. Эта проблема вызвала глобальный спрос на поиск более эффективных и экологически чистых способов сокращения выбросов продуктов двигателя внутреннего сгорания в транспортном секторе. Для увеличения срока службы

батареи и повышения энергосбережения электрических машин путем определения наиболее оптимального потока энергии в транспортном средстве было предложено внедрение специального контролера потребления энергии. Результаты моделирования доказали, что предлагаемый котроллер потребления и использования энергии электрической машиной может уменьшить потери энергии внутри батареи и увеличить срок службы батареи рассматриваемого BEV [98], а потенциал для сокращения выбросов огромен [99]. С этой статьей более тесно связаны математические модели программирования [100-102].

Таким образом, на базе выполненного анализа установлено, что снижение токсичных выбросов от оборудования с ДВС влечет значимое сокращение затрат на вентиляцию. Это тем более важно, что проветривание подземных рудников является значимым энергоемким компонентом потребления всей электроэнергии при подземных горных работах [103]. Экономическая и энергетическая эффективность подтверждаются перспективами сокращения общего объема подаваемого в шахту воздуха. Многие исследования подтверждают, что при переходе от дизельных транспортных средств к электрическим с автономным источником питания необходимо учитывать изменение требований к проектированию систем вентиляции горнотехнических систем.

Установлено, что значимость решения вопроса энергоэффективности горнотехнических систем носит весомый характер не только с экологической, но и экономической точек зрения. Это особо значимо в свете роботизации и технического перевооружения рудника. Очевидно, что многие рудники имеют глубокую и разветвленную сеть выработок, их объем постоянно растет, увеличивается объем добычи полезных ископаемых. Экспоненциально нарастает негативное влияние горнотехнических систем на окружающую среду. Существенный вред окружающей среде наносят выбросы продуктов сгорания двигателей дизельного оборудования, эксплуатируемого в горной промышленности.

По данным, представленным зарубежными авторами, известно, что при ведении горных работ с использованием дизельного оборудования количество

выбросов парниковых и выхлопных газов в атмосферу составляет примерно 50% от общего количества выбросов вредных газов, что эквивалентно 5000 т CO<sub>2</sub> в год. Это однозначно свидетельствует, что одним из альтернативных решений, направленных на сокращение выбросов, а также повышение общей энергоэффективности горнотехнических систем является ротация оборудования с дизельными горнотранспортными средствами на горное оборудование с электрическим приводом с автономным источником питания. Это, по данным международных исследований способствует снижению потребления энергоресурсов до 40% от всей потребляемой мощности подземного рудника. Кроме того, такие изыскания направлены на решение проблемы повышения энергоэффективности, минимизации капитальных и эксплуатационных расходов вентиляционных систем рудников. Так как вентиляция является одним из основных энергоемких компонентов общего потребления электроэнергии предприятия, достижение уменьшения расходов электроэнергии на вентиляцию значительно повлияет на рентабельность горных предприятий. Экономическая и энергетическая эффективность такого решения обусловлены потенциалом снижения общего объема воздуха, что влияет на потребности в большем проветривании горных подземных пространств и в изменении требований к проектированию вентиляции горнотехнических систем. Это подтверждается результатами современных исследований [104].

На пути к улучшению состояния шахтного воздуха авторами было предложено оснащение двигателей внутреннего сгорания специальными сажевыми компрессорами [105].

В настоящее время критерии проектирования рудничной вентиляции и расчета качества концентрации воздуха, подаваемого в шахту, на рудных месторождениях, характеризующихся отсутствием выделения газов из горного массива, определяются, главным образом, выбросами от дизельных двигателей, причем требования к рудничному воздуху в условиях эксплуатации электрических горных машин вовсе отсутствуют.

В работе [106] представлены исследования, количественно определяющие вредные вещества, выпускаемые горным оборудованием с электрическим приводом. Исследования проводились на различных подземных рудниках компании «Rio Tinto» - в городе Мельбурн и в регионе Новый Южный Уэльс. Для обоснования перспектив внедрения электрического горного оборудования компании «Sandvik» (испытаны Sandvik LH514E) компанией отмечено, что необходимо выполнение опытно-промышленных испытаний новой горной техники в конкретных горнотехнических условиях, так как на эффективность применения новых средств доставки влияют система разработки, физико-механические свойства горной массы, параметры буровзрывных работ, качество дорог и их трассировка и другие. Это необходимо учитывать при обосновании условий и параметров перехода подземного рудника к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания.

По данным мировых исследований известно, что электродвигатель в рабочем режиме не производит выбросов газов, жидких и твердых частиц дизельного топлива в окружающую среду и выпускает лишь треть части тепла, эквивалентного дизельному двигателю [107]. Исходящее от дизельных двигателей тепло генерируется в три раза больше, чем от электродвигателей с идентичными рабочими условиями и командами. Следовательно, в составе рудничного воздуха будет содержаться меньшее количество токсичных выброс от ДВС. Очевидно, что острое или постоянное воздействие выхлопных газов дизельных двигателей, включая ультрадисперсные аэрозоли, негативно влияет на здоровье горнорабочих и в последствии вызывает серьезные проблемы, включая рак легких, респираторные заболевания и болезни сердца [108].

Тот факт, что электрические транспортные средства являются в принципе «транспортными средствами с нулевым уровнем выбросов» или имеют очень низкую возможность использования горючих и вредных выхлопных газов (в случае грузовых автомобилей с тележкой, оснащенных вспомогательным дизельным двигателем малой мощности), дает несколько преимуществ:

- более безопасные условия труда для горнорабочих;
- отсутствие дополнительного источника тепла - существенное преимущество на глубоких горизонтах шахт;
- потребность в гораздо меньшей вентиляции при отсутствии или незначительном количестве выхлопных газов и значительно меньшем тепловыделении, что помогает снизить капитальные и эксплуатационные расходы;
- практически нулевое негативное воздействие на окружающую среду (очень мало или нет парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу).

Очевидно, что электрический привод также имеет гораздо более высокую эффективность, что приводит к снижению энергопотребления и, следовательно, затрат на электроэнергию [109-111].

В настоящее время транспортный сектор на 95% зависит от жидкого ископаемого топлива, полученного из сырой нефти, и это означает, что 50% добычи нефти используется для транспортирования топлива. Потребление жидкого ископаемого топлива вызывает чрезмерную концентрацию в атмосфере парниковых газов (ПГ), в частности углекислого газа, причем транспортный сектор несет ответственность за приблизительно 25% выбросов ПГ, связанных с энергией, и является основной проблемой изменения климатической обстановки в мире. По этим причинам переход к электрическому оборудованию и отказ от дизельных машин имеет решающее значение для стабилизации экологического состояния и является главенствующим направлением устойчивого развития [112, 113].

Анализ современных научных источников позволяет однозначно утверждать, что переход на электродвигатели должен базироваться на опытно-промышленных испытаниях, так как простая замена одного типа оборудования на другое не является однозначно эффективным решением. Показано, что одним из сдерживающих факторов для эффективного внедрения горного оборудования с электрическим приводом является его высокая стоимость. Также высокую стоимость имеют питающие элементы, т.е. электрические батареи. Вместе с тем, исходя из динамично развивающегося литий-ионного, кобальтового и других производств, отмеченный фактор в ближайшем будущем нивелируется. Это

подтверждает актуальность перехода подземного рудника к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания.

### **1.5 Цель, задачи и методы исследований**

Устойчивое развитие горнодобывающих предприятий неразрывно связано с обеспечением рационального природопользования при добыче и переработке полезных ископаемых. Одной из необходимых мер на пути к реализации устойчивого развития горнодобывающего сектора является техническое перевооружение, которое продиктовано современными тенденциями и новым технологическим укладом.

Переход к новому технологическому укладу предусматривает иные требования к горнотехнической системе, что влечет разработку и внедрение новых принципов их функционирования. Проектирование устойчивого развития и эксплуатации горнотехнических систем с полным циклом комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд, в том числе на больших глубинах, отвечает приоритетному направлению развития науки, технологий и техники. Одним из основных направлений совершенствования горнотехнической системы в усложняющихся условиях разработки месторождений при техническом переоснащении рудников является внедрение горной техники, оснащенной электрическим приводом для обеспечения энергоэффективности и безопасности ведения горных работ. Замена дизельного оборудования машинами с электрическим приводом позволит сократить выбросы отработанных газов дизельного привода, что повлечет существенное снижение затрат на вентиляцию, которая является значимым энергоемким компонентом общего потребления электроэнергии предприятием.

Анализ идей и наработок иностранных и отечественных ученых в данной области позволил убедиться, что техническое перевооружение рудников

посредством внедрения электрического самоходного горного оборудования позволит оптимизировать следующие параметры рудников:

- глубину разработки: применение электрического самоходного горного транспорта позволит вести горные работы на более глубоких горизонтах без дополнительной нагрузки на вентиляционную систему и исключит повышенный нагрев воздуха рабочей зоны за счет тепловыделения горными машинами, оснащенными двигателями внутреннего сгорания;

- производственную мощность: имеются предпосылки для повышения технической производительности электрического самоходного горного транспорта на 20-40% в сравнении с дизельными горными машинами, т.к. электродвигатели допускают кратковременную перегрузку, обеспечивающую повышение напорных усилий и последующее сокращение времени загрузки ковша;

- интенсивность отработки запасов: упрощенное исполнение и сокращённая частота отказов электрического привода позволяет сократить время на техническое обслуживание и ремонтные работы, тем самым минимизируется время простоев горного оборудования;

- энергоёмкость производства: внедрение электрического самоходного оборудования имеет наибольшее значение для горных предприятий с подземным способом разработки полезных ископаемых, т.е. с более высокой энергоёмкостью добычи сырья и опасностью производства, - оно позволит сократить потребление электроэнергии на 40% в части рудничной вентиляции; отказ от дизельного топлива в свою очередь отвечает требованиям устойчивого развития и сокращению эмиссии парниковых газов;

- безопасность ведения горных работ: только внедрение горного электрооборудования позволит развивать такие направления, как внедрение искусственного интеллекта в горные работы и их перевод в автономный режим без участия оператора; роботизация оборудования основывается на сокращении времени нахождения человека в выработках и впоследствии на полной его локализации в безопасных зонах, что повлияет на определение соответствующих условий и требований к среде обитания человека;

- экономическую и энергетическую эффективность, обусловленную потенциалом снижения общего объема подаваемого в рудник воздуха, что влияет на проектные параметры вентиляции горнотехнических систем.

В ходе аналитического обзора по тематике диссертационного исследования убедительно показаны преимущества горнотранспортных и погрузочных средств на базе электрического привода с автономным источником питания. Немногочисленные публикации на русском языке свидетельствуют, что в России отдельные решения апробированы на рудниках Росатома, Полиметалла, Норникеля, на которых отмечены преимущества этих машин для повышения эффективности вентиляции. Это было подтверждено на Жезказганском руднике при испытаниях ЭПДМ. Однако, ведущими специалистами не раскрыты вопросы, связанные с определением изменяющихся параметров рудника в камерно-столбовой системе разработки при переходе на самоходное погрузочно-доставочное оборудование на базе электрического привода с автономным источником питания.

В связи с вышесказанным **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 гидротоков.

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.

В работе использован комплексный метод исследований, включающий 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, исследование изменения конструктивных параметров горнотехнической системы при внедрении электрооборудования, выявление закономерностей влияния замены горных машин с ДВС на самоходное электрическое оборудование, анализ эффективности вентиляционных систем в условиях работы дизельного и электрического горного оборудования для построения закономерностей влияния двух приводов на параметры горнотехнической системы, расчет сценариев зарядки и эффективности внедрения электрического самоходного оборудования, технико-экономическую оценку, статистическую обработку результатов исследований в области технического перевооружения при переходе с дизельного привода на электрический.

В рамках диссертационного исследования был проведен ретроспективный анализ технического перевооружения рудников Жезказганского месторождения,

осуществляемого с 50-х годов по настоящее время. Данный анализ позволил рассмотреть все этапы технического перевооружения и его влияние на изменение показателей производительности рудников и дать оценку экономической целесообразности проводимых мероприятий. Следующим шагом на пути решения проблемы эффективного применения самоходного электрического оборудования было обобщение опыта его применения и сравнительный анализ такого оборудования с дизельными аналогами, применяемыми на горных предприятиях. Это обобщение основано на результатах литературных обзоров и иностранных исследований. Оно позволило сделать вывод о современных тенденциях в развитии области технического перевооружения посредством электрического горного оборудования, а также определить перспективы в интересах устойчивого развития.

Определение параметров горнотехнической системы, отвечающей тенденциям устойчивого развития, базируется на обосновании условий и параметров перехода к самоходному электрическому оборудованию. Основным критерием перехода является оценка эффективности работы и оценка показателей производительности горнотранспортных средств, предложенный в сравнительном анализе дизельного и электрического приводов. Производительность горных машин на базе дизельного и электрического привода определяется по критериям: теоретической и технической производительности, эксплуатационной производительности, показателей надежности, частоты текущих и капитальных ремонтов, грузоподъемности, скорости движения порожней и груженой машины, длины откатки и затрат времени на выполнение основных технологических операций в забое и на разгрузке. Проведение теоретического расчета производительности горных машин позволило определить и сравнить преимущества и недостатки электрического и дизельного приводов.

Исследование влияния перехода к самоходному электрическому оборудованию на конструктивные параметры горнотехнической системы базируются на анализе расчетных данных по сокращению капитальных затрат на горно-капитальные выработки при проектировании.

Обоснование влияния нового электрического доставочного оборудования на параметры вентиляционной системы и состав рудничного воздуха должны базироваться на методах, позволяющих выполнять расчеты количества шахтного воздуха и изменения химико-вещественного состава воздуха и построение сравнительных моделей вентиляционных сетей при использовании дизельного и электрического горного оборудования. Так как при разработке рудных месторождений критерии проектирования рудничной вентиляции и расчет количества воздуха, подаваемого в шахту, определяется по фактору разжижения ядовитых выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания, необходимо выявить параметры совершенствования системы вентиляции. Перспективной задачей данного направления является определение закономерностей изменения параметров вентиляции горнотехнической системы при переходе на электрическое горное оборудование.

Развитие научно-методических основ проектирования горнотехнических систем при переходе от двигателей внутреннего сгорания к электрическому приводу позволяет обосновать выбор параметров горнотехнической системы и систематизацию необходимых этапов технического перевооружения. На пути решения проблемы целесообразности и эффективности применения электрического оборудования возникает ряд задач, требующих научно-методического обоснования. Апробация методики позволила разработать технологические рекомендации технического перевооружения по переходу Южно-Жезказганского рудника на самоходные электрические горные машины и оценить их экономическую эффективность.

## **2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫМ МАШИНАМ С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ**

### **2.1. Условия перехода подземных рудников к самоходному электрическому горному оборудованию**

Аналитический обзор, проведенный в первой главе диссертации, показал, что большинство рудников Жезказганского месторождения претерпевают этап истощения балансовых запасов, что вызывает необходимость поиска новых технологических решений по вовлечению и отработке бедного минерального сырья с низким содержанием меди для продления сроков эксплуатации и поддержки социальной стабильности горнодобывающего региона.

Существующие параметры проектирования горнотехнической системы в условиях выбывающих мощностей не обеспечивают стабильных показателей эффективности горного производства и требуемую устойчивость в условиях роста себестоимости выпускаемой продукции, изменчивости содержания металла в руде и др., что приводит к снижению технико-экономических показателей и требует иного выбора технологий освоения месторождения медных руд.

В связи со сложившейся ситуацией необходимо провести анализ существующих принципов проектирования горнотехнических систем рудников Жезказганского месторождения и определить дальнейшие пути эффективной отработки запасов при «прирезке» забалансовых запасов и увеличении их объема в 4,5 раза. Основные факторы, оказывающие влияние на долгосрочное и устойчивое развитие рудников Жезказганского месторождения, представлены на рисунке 2.1.

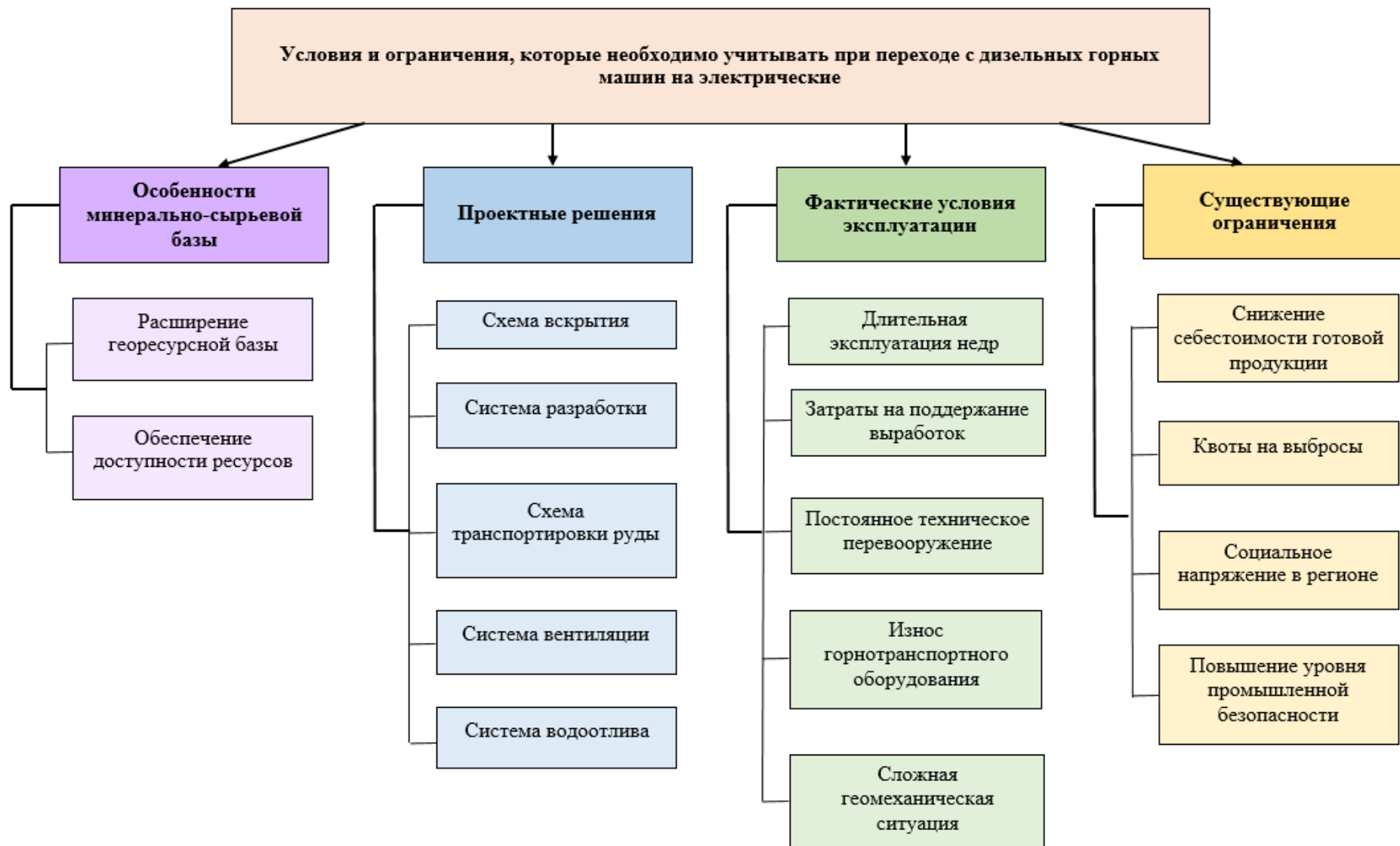


Рисунок 2.1 - Условия и ограничения, определяющие необходимость перехода рудников Жезказгана на горные машины с электрическим приводом с автономным источником питания

Анализ практики освоения меднорудного Жезказганского месторождения свидетельствует о весьма интенсивной эксплуатации недр и качественном истощении минерально-сырьевой базы действующих рудников. Поэтому при обосновании перехода рудника на новые горные машины необходимо учитывать требования по повышению производительности рудника, ввиду проведенной инвентаризации запасов и вовлечения в разработку запасов, ранее относимых к забалансовым.

Действительно, результаты проведенной инвентаризации запасов (см. раздел 1.1) на примере Южно-Жезказганского рудника свидетельствуют, что данное месторождение полезных ископаемых, находящееся в условиях истощения балансовых запасов, содержит в недрах значительные неосвоенные запасы медесодержащих руд, которые могут быть эффективно вовлечены в отработку, - запасы, не вошедшие в стратегический план, т.е. такие, как забалансовые запасы, которые подразделяются на примыкающие, обособленные, изолированные, и запасы, находящиеся в кровле и почве в районе ранее пройденных выработок.

Выявление допустимых к вовлечению в отработку резервов забалансовых запасов достигает 107,9 млн. т, из них в примыкающих зонах сконцентрировано 89,9 млн т запасов, в кровле и почве запасы достигают 11,3 млн т, обособленные запасы насчитывают 4,6 млн т и в изолированных зонах для вовлечения в отработку доступно 2 млн т медесодержащего полезного ископаемого.

Анализ полученной классификации минерально-сырьевой базы свидетельствует, что забалансовые запасы были оценены в размере 192037 тыс. т со средним содержанием 0,4% меди, из которых 107954,1 тыс. т вовлекаемые. Запасы, списанные в потери, были оценены на 24060,4 тыс. т с содержанием меди 1,1%, 19225,2 тыс. т из которых вовлекаемые. Общее количество вовлекаемого полезного ископаемого составляет 204974 тыс. т, что в 4,2 раза больше, чем в отработку по стратегическому плану.

Все это доказывает, что Жезказганское месторождение обладает необходимыми и вовлекаемыми запасами для продления срока эксплуатации предприятия с повсеместным поддержанием социального уровня региона. С точки

зрения проектирования горнотехнических систем это означает низкий риск капитальных вложений, их окупаемость и необходимость модернизации производства путем перехода с экологически неблагоприятных дизельных горных машин на электрические, характеризующиеся отсутствием выбросов.

С другой стороны, такой масштабный переход по вовлечению в отработку забалансовых и бедных руд требует комплексной оценки существующих параметров с целью выбора целесообразных технологических решений по техническому перевооружению горнотехнических систем. В свою очередь, переход на отработку забалансовых и бедных запасов при существующих технологических решениях позволит продлить срок работы рудников на 50 лет, но потребует в 3 раза больше дизельной горной техники, так как для поддержания той же производительности по выпуску готовой продукции необходимо наращивать объемы добычи руды путем ввода большего количества добычных панелей в одновременной работе. Это, в свою очередь, подразумевает увеличение парка погрузочно-доставочной техники и автосамосвалов для обеспечения тех же темпов работы. Такой «односложный» подход лишь увеличит в разы капитальные затраты на приобретение горнотранспортной техники, а также эксплуатационные затраты на обеспечение необходимого количества воздуха для разжижения выхлопных газов, на поддержание горнокапитальных выработок большого сечения, при этом себестоимость только увеличится ввиду дополнительных масштабных затрат на обеспечение непрерывного рабочего процесса.

Безусловно, особо важная роль в формировании и изменении минерально-сырьевой базы связана с выбором схемы вскрытия Жезказганского месторождения, а анализ существующего опыта освоения месторождения позволит дать оценку влияния основных факторов на параметры функционирования горнотехнической системы. Огромный недостаток камерно-столбовой системы разработки, который повлиял на истощение минерально-сырьевой базы, является оставленный значительный объем полезного ископаемого в целиках со средним содержанием меди 2 %, в результате чего потери в выемочных блоках составляют 20-30 %.

Проведенный анализ принятых систем разработки на рудниках Жезказганского месторождения свидетельствует, что доработка оставленных запасов, определенных в ходе проведения инвентаризации, также потребует существенного увеличения парка дизельной погрузочно-доставочной техники. Анализ данных, представленных в первой главе, свидетельствует, что существующие геологические и технические параметры месторождения повлияли на выбор системы разработки и схемы вскрытия шахтного поля, что, в свою очередь, определило транспортную, вентиляционную и водоотливные схемы.

Анализ транспортной схемы показал, что стоит переходить на непрерывные виды доставки руды – конвейера, а поддержание электровозной откатки нецелесообразно ввиду изношенного состояния оборудования [114] и производительности, несопоставимой с конвейерной установкой.

Существующие параметры вентиляционной сети Южно-Жезказганского рудника главным образом рассчитаны по наиболее значимому фактору – расходу воздуха по выделению вредных газов от самоходного оборудования ДВС. Отчет о ВДС [115] подтверждает, что на ЮЖР общее количество подаваемого воздуха в рудник определяется по выбору большего значения, а именно по фактору разжижения выхлопных газов от ДВС (551,98 м<sup>3</sup>/с). которое с учетом потерь и утечек воздуха составляет 624,62 м<sup>3</sup>/с. Подачу такого количества воздуха обеспечивают 2 рабочих вентилятора (ВЦД-31,5, ВЦД-3,3) и один резервный. Очевидно, что объем подаваемого воздуха и выбор вентиляторов неразрывно связаны с установленной производительностью использованной дизельной техники, а вовлечение бедных и забалансовых запасов потребует большей горнотранспортной техники для поддержания рабочих мощностей. Следовательно, такие мероприятия, как увеличение парка дизельной техники повлияют главным образом на изменение параметров вентиляционной сети, а также повлекут увеличение капитальных и эксплуатационных затрат.

Проведенный в разд.1.1 анализ схемы водоотлива Южно-Жезказганского рудника свидетельствует, что в определенные месяцы объем водопритока на шахте увеличивается из-за влияния климатических факторов и осадков.



Рудничные воды перепускаются с горизонтов общим объемом 300 м<sup>3</sup>/ч и направляются в два главных водосборника ЦНС, объемом 2000 м<sup>3</sup> каждый. Остальная часть поступающей воды в объеме 100-150 м<sup>3</sup>/час поступает в отдельный водосборник, имеющий объем 1650 м<sup>3</sup> шах. № 62.

Выполненный в разделе 1 анализ показал, что шахтные воды являются ценным георесурсом, так как кинетическая энергия перепускаемых с горизонта на горизонт гидротоков может быть эффективно преобразована в электрическую. Поэтому при переходе на самоходные горные машины на базе электрического привода с автономным источником питания следует учитывать возможности компенсации энергозатрат на зарядку ПДМ за счет собственной энергии, вырабатываемой в руднике.

Выявленные и представленные на рисунке 2.1 ограничения свидетельствуют, что следующие факторы могут повлиять на устойчивое функционирование предприятия и эффективность дальнейшего функционирования горнотехнической системы.

1. *Требования к снижению себестоимости готовой продукции.* Учет этого ограничения необходим ввиду его масштабного влияния на дальнейшее существование горного предприятия и рентабельность ведения горных работ в условиях изменения минерально-сырьевой базы. Интенсивная отработка богатых запасов с применением передовой погрузочно-доставочной техники привела к сокращению запасов, характеризующихся высоким содержанием меди в товарной руде. В сложившейся ситуации для поддержания установленной ранее производительности необходимо вовлечь в отработку забалансовые и бедные запасы. Таким образом увеличится количество очистных забоев и горной массы, для транспортировки которой необходимо больше дизельной техники. Переход к большегрузной дизельной технике не только повлияет на капитальные затраты на ее приобретение, но и повлечет изменение параметров вентиляционной сети, а именно в части подачи большего количества воздуха, следовательно, при сохранении существующей технологической схемы рудника необходимо устанавливать более мощные ГВУ, а также подавать вентиляционные рукава

большого сечения, что в свою очередь потребует увеличения сечения горных выработок. Поэтому при переходе рудника на новый технологический уклад [116] решения должны отвечать данному ограничению, в противном случае эксплуатация горного предприятия в существующих условиях изменения минерально-сырьевой базы будет нецелесообразна.

Для рентабельной добычи и переработки всех видов запасов Южно-Жезказганского рудника возникла необходимость в значительном снижении себестоимости выпускаемой продукции - катодной меди. Для оценки влияния добычных процессов выполнен анализ структуры себестоимости катодной меди по Южному руднику.

Установлено, что именно добычные процессы, доля которых в структуре себестоимости составляет 52,8 %, являются наиболее затратными технологическими процессами. Последующие переделы характеризуются меньшей долей в структуре себестоимости. Доля обогатительного передела составляет 18,0 %, металлургического – 9,2 %.

Анализ структуры себестоимости добычи руды по Южно-Жезказганскому руднику показал, что самыми затратными процессами являются:

- внутришахтный транспорт – 29,6 %, в том числе на дизельный транспорт приходится 17,2 %, на рельсовый транспорт – 5,4 %, на дробление руды затрачено 1,7 %, на скиповой подъём – 3,3%, на содержание дорог – 2,0%;
- очистные работы, в структуре себестоимости добычи составляют 21,6 %;
- горнопроходческие работы, 9,1 %;
- вентиляция, 2,4 %;
- водоотлив, 0,6 %.

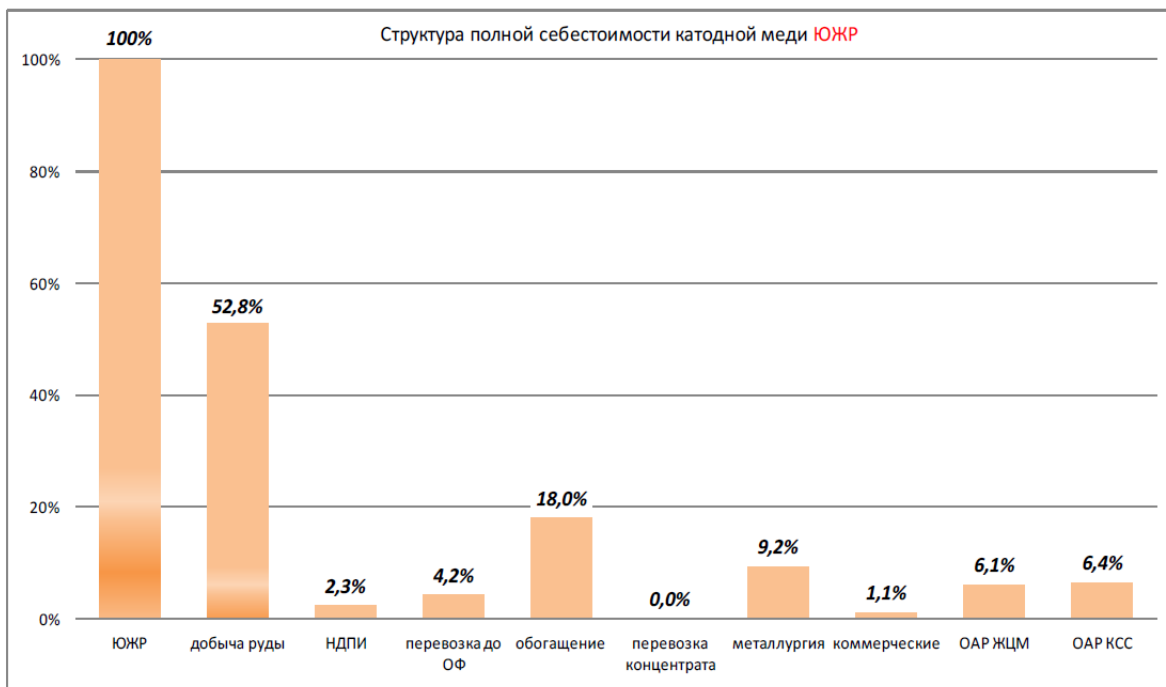


Рисунок 2.2 – Результаты исследований структуры полной себестоимости получения катодной меди по Южно-Жезказганскому руднику

Анализ структуры себестоимости по Южно-Жезказганскому руднику показал, что актуальность перехода на самоходное оборудование с автономным источником питания связана не только и не столько со снижением затрат на вентиляцию, сколько с изысканием решений, обеспечивающих снижение себестоимости внутришахтного транспорта, очистных и горнопроходческих работ.

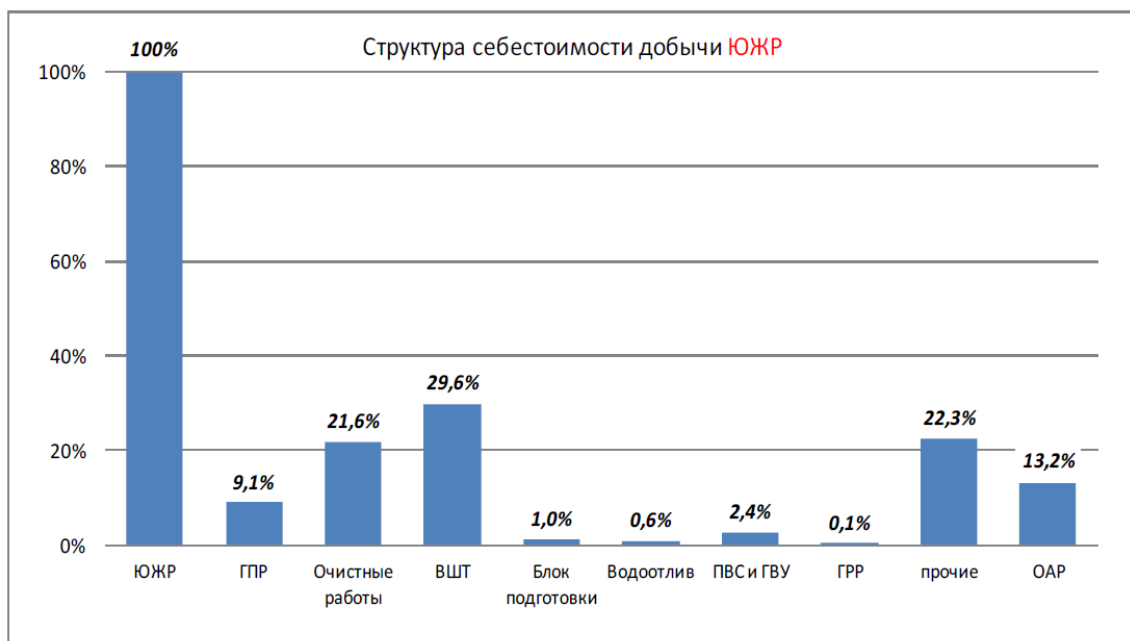


Рисунок 2.3 – Результаты исследований структуры себестоимости добычи руды по Южно-Жезказганскому руднику

Очевидно, что исследования должны быть направлены на поиск решений по снижению единиц дизельной техники, уменьшению габаритов транспортного оборудования и сечений горных выработок. Последнее особенно актуально в связи с развитием работ на перспективных рудных площадях - нижних горизонтах месторождения и участках забалансовых руд, где сеть горных выработок в настоящее время отсутствует.

2. *Квоты на выбросы.* Жезказганское месторождение медных руд расположено в Карагандинской области Республики Казахстан. В конце 2020 года министерством экологии Республики Казахстан были приняты новые поправки экологического кодекса, а именно введены крупные штрафы для 50-и промышленных гигантов, таких как Жезказганское меднорудное месторождение. По новому кодексу размеры штрафов за выбросы CO<sub>2</sub> были увеличены в десять раз, при этом их величина достигает до трети прибыли предприятия, что влечет риск полной остановки производства. Избежание новых штрафов возможно только при модернизации предприятия и внедрении в него экологических технологий, которые позволят снизить эмиссию в окружающую среду [117].

3. *Социальное напряжение в регионе.* Для Жезказганского региона продление работы рудников Жезказгана – стратегическая задача, так как именно добыча медных руд многие годы является системообразующей деятельностью в регионе. Изыскание путей восполнения сырьевой базы – важнейшая социально-экономическая проблема, т.к. сокращение объемов производства неизбежно приведет к потере рабочих мест, что противоречит принятой на предприятии социальной политике. В России недавним примером может служить авария и ликвидация Сибайского рудника, что привело к массовому оттоку людей для работы вахтовым методом и к высокой социальной напряженности, связанной с безработицей.

4. *Ограничения в виде требований промышленной безопасности* связаны с тем, что увеличение единиц большегрузной техники приведет к повышению риска аварий на опасном производственном объекте и к увеличению нагрузок на вентиляционную сеть рудника. При проектировании технологических схем

рудника потребуются организация соответствующих маршрутов для безопасного перемещения людей и вспомогательной техники, организация разминок для большегрузных автосамосвалов, обеспечение большого количества подаваемого в рудник воздуха.

В целом определенные условия перехода от дизельных к электрическим погрузочно-транспортным средствам с автономным источником питания позволили выполнить сравнительную оценку двух конкурирующих схем – существующей в настоящее время на ЮЖР (см. рис.1.5) и альтернативной, принятой Стратегией развития Корпорации Казахмыс (см. рис. 1.14).

## **2.2. Методика проведения исследований и расчета параметров основных технологических процессов при переходе подземного рудника к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания**

Решение вопросов продления срока службы предприятия, находящегося в условиях отработки забалансовых и бедных медесодержащих руд, влечет повышение себестоимости выпускаемой продукции, а также является важнейшей социально-экономической проблемой Жезказганского региона. Поэтому поиск таких новых технологий, как переход на самоходные электрические погрузочно-доставочные машины (ЭПДМ), - необходимая мера в условиях долгосрочного и устойчивого развития предприятия.

Для установления условий и параметров перехода рудника на новый тип ПДМ разработана комплексная методика исследований показателей двух конкурирующих технологических схем Южно-Жезказганского рудника, проанализированных в 1 главе настоящей диссертационной работы (рис.1.5 и 1.14). Существующая технологическая схема (рис.2.4, 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.2.4, б). Принятая стратегией развития Компании 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.

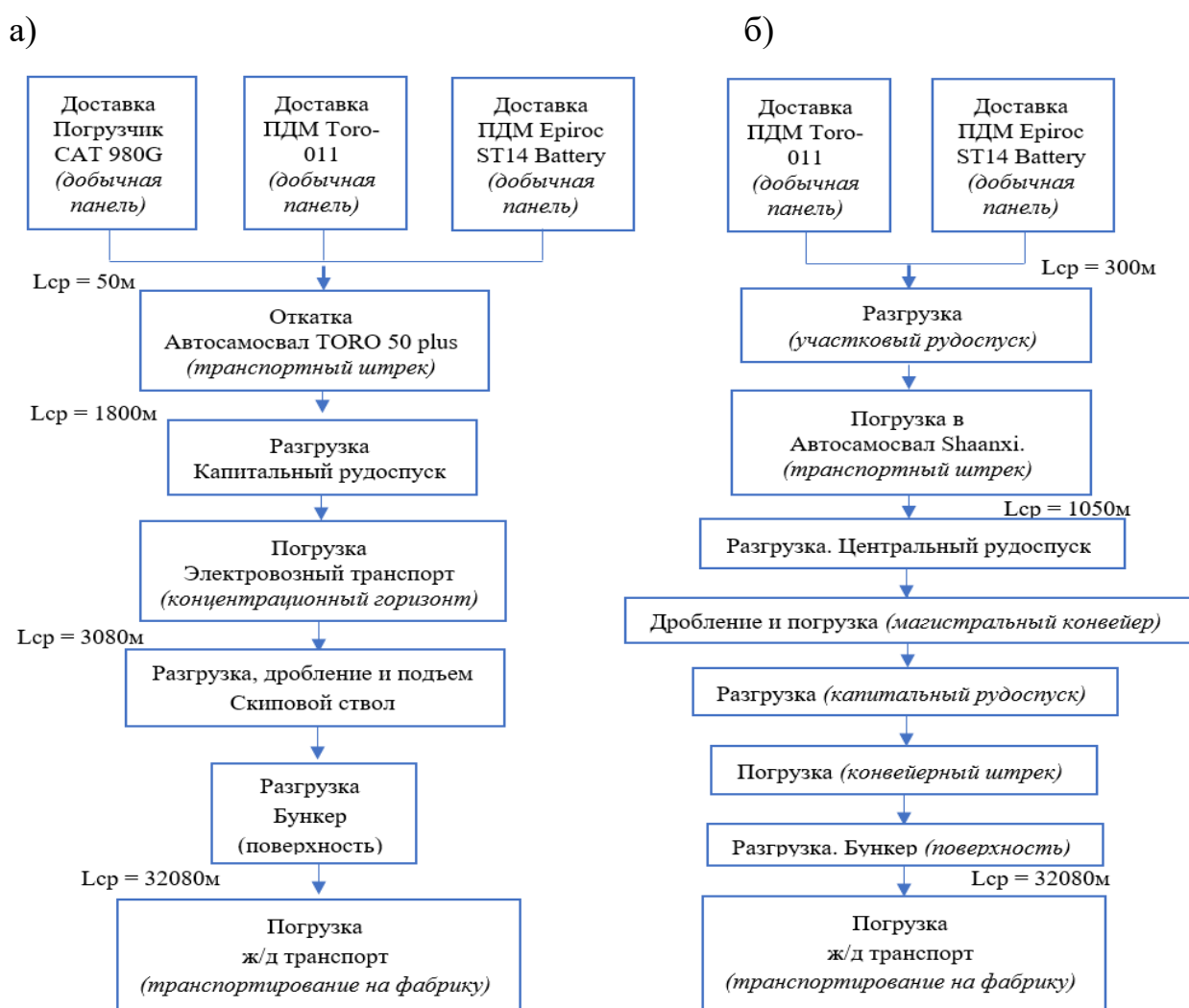


Рисунок 2.4 – Принципиальные технологические схемы подземных рудников Жезказгана при камерно-столбовой системе разработки: существующая (а), с погрузчиками, ДПДМ и ЭПДМ, и альтернативная (б), с ДПДМ и ЭПДМ

Основой методики оценки эффективности перехода на ЭПДМ является фактическое количество забоев используемой на Южно-Жезказганском руднике техники, систематизация которой представлена в табл. 2.1.

В ходе исследований каждого средства доставки требуется оценить продолжительность технологических операций, совершаемых машиной за счет усилия силового привода, и отдельно – за счет гидравлического привода стрелы. Подобная методика сравнительной оценки производительности погрузочно-доставочных средств при камерно-столбовых системах разработки, учитывающая тип привода, разработана впервые.

Для выявления условий и определения параметров эффективного перехода подземных рудников к самоходным ЭПДМ была разработана концепция учета времени эксплуатации горнотранспортного оборудования в условиях Южно-Жезказганского рудника и существующего регламента работ, а также производительности погрузочно-транспортных комплексов (рис. 2.5). При расчетах времени на совершение технологических операций учитывался тип привода при внедрении ковша в развал горной массы, при разворотах, при движении задним ходом и т.п.

Для полноты оценки эффективного применения необходимо представить производительность за сутки как четыре временных отрезка. Поэтому методика проведения исследований по определению условий и параметров эффективности ведения погрузочно-доставочных работ предусматривала:

- *изучение времени цикла работы в забое транспортных комплексов в различных комбинациях, состоящих из существующих на предприятии горных машин;*
- *определение эффективной длины откатки для всех видов исследуемых погрузочных и погрузочно-доставочных машин;*
- *определение простоев погрузочной и транспортной техники в двух конкурирующих технологических схемах рудника;*
- *определение времени на подготовительно-заключительные операции;*

- оценка фактического времени на техническое обслуживание и ремонт.

Таблица 2.1 – Результаты исследований фактического количества забоев и используемой дизельной техники за смену по ЮЖР

Шахта, участка	Количество одновременно работающих забоев за смену				Количество используемой дизельной техники за смену					Примечание
	Обезопасивание	Погрузка	Уборка	Всего	ОКНТ	Погрузчик	Самосвал	ПДМ	Всего	
<b>Шахта №45</b>										
Участок №1	2	2		4	1	1	2		4	Распределение дизельной техники между участка-ми может меняться по усмотрению начальника шахты.
Участок №2	1	2		3		1	2		3	
Участок №3	3	3		6		1	2		3	
Участок №10	2	2		4	1	1	1		3	
Участок №26 (проходка)	4		3	7				1	1	
<b>Всего по Шахте №45</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	
<b>Шахта №65</b>										
Участок №7 (проходка)	3		6	9	1			3	4	Распределение дизельной техники между участка-ми может меняться по усмотрению начальника шахты.
Участок №9	3	2		5		1	2		3	
Участок №14	1	2		3	1	1	1		3	
Участок №21	1	2		3		1	2		3	
Участок №23	4	3		7		2	3		5	
<b>Всего по Шахте №65</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>27</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	
<b>ИТОГО по ЮЖР</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>51</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>32</b>	

Методика проведения исследований предусматривала теоретические и эмпирические изыскания.

С учетом всех особенностей применяемого привода (дизельный, электрический) принимаем, что методика расчета цикла работы погрузчика, ДПДМ или ЭПДМ имеет следующий вид.



Эксплуатационная производительность средства доставки [118]:

$$W_T = 3600 * V_K * \gamma * k_{н.к.} / t_{ц} \quad (2.1)$$

Время цикла работы средства доставки  $t_{ц}$  определяется по выражению:

$$t_{ц} = \varphi \sum_{i=1}^m t_i, \quad (2.2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент совмещения операций цикла погрузки;

$$\sum_{i=1}^m t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_m \quad (2.3)$$

Существующая формула цикла работы средства доставки, приведенная в справочном пособии А.О. Баранова и классических трудах, не предусматривает учета особенностей привода, который, однако, оказывает определяющее влияние на эффективность доставки.

### **Операция 1 Опускание ковша**

$$t_1 = \frac{h_p}{V_{сг}}, \quad (2.4)$$

где  $h_p$  – высота опускания ковша, м;  $V_{сг}$  – скорость подъема ковша, м/с. При теоретических расчетах данные выбираются исходя из существующей технической характеристики оборудования опускания ковша у дизельного и аккумуляторного средств доставки либо определяется экспериментально.

### **Операция 2 Зачистка почвы**

$$t_2 = \frac{L_2}{V_{пг}} * k_H, \quad (2.5)$$

где  $L$  – расстояние, на которое перемещается погрузчик при зачистке почвы, м;  $V_{пг}$  – скорость погрузчика с грузом, м/с;  $k_H$  – коэффициент неравномерности зачистки, учитывающий площадь развала и кусковатость руды (0,93-0,95).

Существующие формулы внедрения ковша, представленные у многих авторов [119-121], имеют существенный недостаток, поскольку в них отсутствует учет особенностей мощностных характеристик привода, влияющих на напорное усилие при внедрении ковша. Это подтверждается расчетами, которые были произведены на основе хронометражных данных наблюдений и других данных.

### **Операция 3 Внедрение и наполнение ковша**

$$t_3 = t_B + t_H = \frac{A}{\eta P_{ср}}, \quad (2.6)$$

где  $t_B$  – время внедрения ковша в навал горной массы, принимаем из полученной формулы (2.20) (см. ниже), сек.;  $t_H$  – время наполнения ковша, принимаем среднее значение по результату проведенных хронометражных (натурных) данных.

В рамках проводимых исследований рассматривается цикл работы, а также уделяется особое внимание выявлению различий по внедрению и набору ковша для дизельного погрузчика CAT 980H, дизельной ПДМ Toro 011 и ЭлектроПДМ ST14 Battery. В таблице 2.2 представлены технические характеристики горного оборудования, применяемого на Южно-Жезказганском руднике и принятого методикой исследований.

Таблица 2.2 – Технические характеристики существующего горнотранспортного оборудования на Южно-Жезказганском руднике

Технические характеристики	Caterpillar CAT 980 G	Sandvik LH621 (TORO 011)	Epiroc ST14 Battery	Atlas Copco Minetruck MT5020
Эксплуатационная масса, кг	32000	56800	42000	43000
Грузоподъемность, кг	10000	20000	14000	50000
Емкость ковша/кузова, м <sup>3</sup>	4,72	9	6,2	20
Мощность двигателя, кВт	307	354	360	522
Длина, мм	9480	11993	10865	11220
Ширина, мм	3700	3100	3930	3200
Высота, мм	4505	2950	5588	2830/6910

Исследование процесса внедрения ковша аккумуляторной погрузочно-доставочной машиной с автономным источником питания в горную массу является важнейшей задачей ввиду ограниченного опыта применения таких машин.

Очевидно, что процесс внедрения ковша — это полезная работа, совершаемая погрузчиком, на который действуют силы при равнозамедленном движении. Полагаем, что внедрение ковша происходит за счет собственной энергии и движения машины. Тогда полезная работа, выполняемая погрузчиком, выглядит так:

$$A_{\Pi} = F * S \quad (2.7)$$

В данном случае  $S$  - площадь внедрения ковша в развал горной массы,  $m^2$ ;  $F$  - сумма всех сил (Н), одновременно воздействующих на погрузчик, - они представлены на рис.2.5.

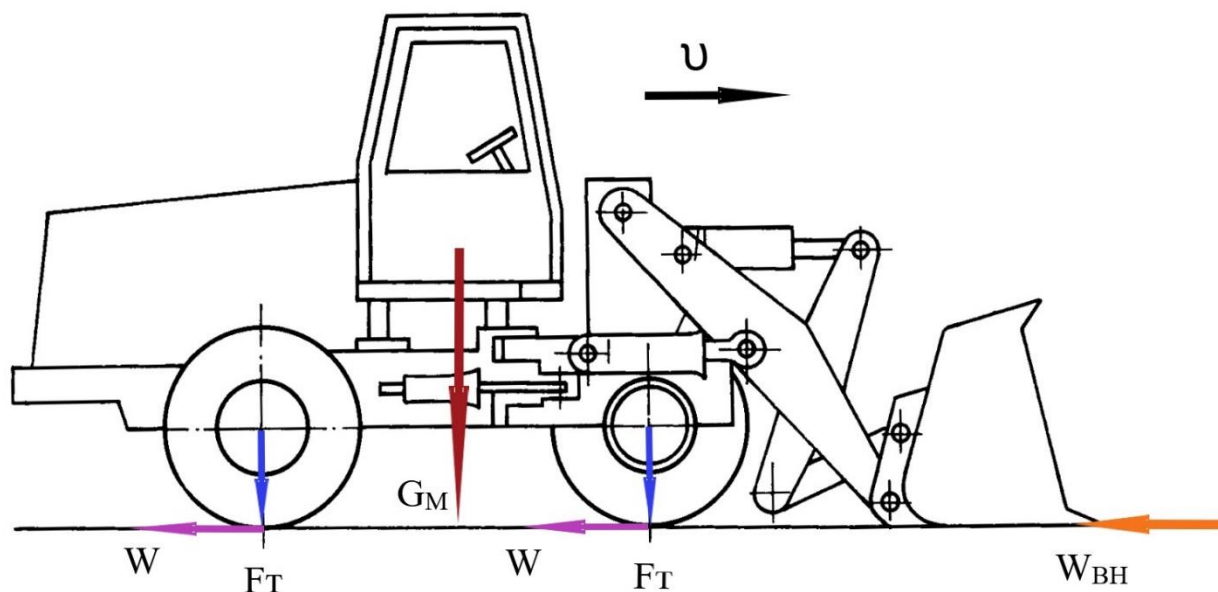


Рисунок 2.5 – Схема сил, действующих на погрузочно-доставочную машину при внедрении ковша в горную массу

На рис.2.5 представлена схема сил, действующих на погрузочно-транспортную машину с грузонесущим ковшом, выполняющую действие внедрения ковша в горную массу.

Аналитическая зависимость между всеми силами, действующими на погрузочную машину, и изменением скорости ее движения при внедрении ковша в породу имеет вид

$$F_T - W_{BH} - W + (G_M/g*j) = F, \quad (2.8)$$

где  $F_T$  – сила тяги на окружности колес, Н;  $W_{BH}$  – сила сопротивления породы внедрению ковша, Н;  $W$  – сила сопротивления движению машины, Н;  $G$  – вес погрузчика, Н;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $j$  – ускорение машины при изменении скорости ее движения в начале и в конце внедрения ковша в породу,  $m/c^2$ . Полученное уравнение действующих сил (2.8) можно представить в следующем виде:

$$1000\varphi P_{CC} - k_{BH} b l_{BH} - G_M \omega_0 + \frac{1000 G_M \vartheta_H^2}{2g l_{BH}} = F, \quad (2.9)$$

где сила тяги машины  $F_T = 1000 \cdot \varphi \cdot P_{сц}$ ;  $P_{сц}$  – сцепной вес машины, т.е. вес, приходящийся на приводные колеса, кН;  $\varphi$  – коэффициент сцепления ходового механизма с полотном дороги; сопротивление породы внедрению ковша, 0,9;

$$W_{вн} = k_{вн} \cdot b \cdot l_{вн} , \quad (2.10)$$

где  $k_{вн}$  - удельное сопротивление породы внедрению ковша, 40000 Н/м<sup>2</sup>;  $b$  – ширина ковша, 3,04 м;  $l_{вн}$  – (2÷3) а – глубина внедрения ковша, 3,3 м; сопротивление движению машины;

$$W = G_M \cdot \omega_0 , \quad (2.11)$$

где  $\omega_0$  - коэффициент ходового сопротивления машины, 10 Н/кН.

Ускорение машины при внедрении ковша в породу на глубину принимаем так:

$$j = (v_H^2 - v_K^2) / 2 l_{вн} , \quad (2.12)$$

где  $v_H, v_K$  – соответственно начальная и конечная скорость движения машины, м/с. Так как в конце внедрения ковша в породу  $v_K = 0$ , следовательно,  $j = v_H^2 / 2 l_{вн}$ .

При внедрении ковша погрузчика в навал горной массы условие движения приобретает следующий вид:

$$T_{max} = F \geq T_H \geq W_{вн} , \quad (2.13)$$

где  $T_{max}$  – максимальное напорное усилие, Н;  $T_H$  – напорное усилие погрузчика, Н.

Максимальное напорное усилие с учетом увеличения крутящего момента по внешней характеристике двигателя и увеличения буксования определяется следующим соотношением:

$$T_{max} = \varepsilon T_H \frac{1}{1 - \delta_p} , \quad (2.14)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент перегрузки двигателя;  $\varepsilon = 1,1 \div 1,15$ ;  $\delta_p$  - буксование движителей;  $\delta_p = 0,2$ .

Напорное усилие погрузчика определяют по тяговой характеристике базового шасси с учетом догрузки его массой, равной погрузочному оборудованию. При отсутствии этих данных напорное усилие на рабочей передаче определяют по условию работы погрузчика на горизонтальной площадке без учета

сопротивления воздуха.

Напорное усилие по мощности двигателя (Н):

$$T_H = \frac{3600 * N_{D \max}}{v_T} * \eta_{TP} - Gf , \quad (2.15)$$

где  $N_{D \max}$  – наибольшая эффективная мощность двигателя, кВт;  $v_T$  – теоретическая скорость движения базового шасси на рабочей передаче, км/ч;  $\eta_{TP}$  – КПД трансмиссии;  $G$  – вес погрузчика, Н;  $f$  – коэффициент сопротивления качению погрузчика, для колесных погрузчиков  $f = 0,03$ .

Таким образом, определив действующие силы, полезная работа, выполняемая погрузчиком при внедрении ковша, принимает вид

$$A_{\Pi} = \left( \psi P_{\text{сц}} - k_{\text{вн}} b l_{\text{вн}} - G_M \omega_0 + \frac{G_M v_H^2}{2g l_{\text{вн}}} \right) \cdot L_{\Pi} , \quad (2.16)$$

где  $L_{\Pi}$  – длина погрузчика и ковша, м,

или

$$A_{\Pi} = T_{\text{сц} \max} \cdot \quad (2.17)$$

При внедрении ковша в развал горной массы погрузчик выполняет работу. Чтобы вычислить работу, необходимо мощность двигателя умножить на время, в течение которого совершалась эта работа, т.е. время, затрачиваемое на внедрение ковша. Расчет работы по мощности определяется по формуле

$$A / \eta = P * t, \text{ Дж} , \quad (2.18)$$

где  $P$  – мощность двигателя, кВт;  $t$  - время, затрачиваемое на внедрение ковша.

Известно, что в момент внедрения ковша погрузчика мощность двигателя не постоянна, соответственно принимается значение средней мощности, которая определяется по формуле

$$P_{\text{ср}} = \int_0^t \frac{dA}{dt} \cdot \quad (2.19)$$

Из формулы 2.17 выражаем время, затрачиваемое на внедрение ковша в навал горной массы:

$$t_{\text{в}} = \frac{A}{\eta P_{\text{ср}}} \quad (2.20)$$

Таким образом, формула (2.18) является составной частью формулы (2.6) и позволяет определить время, затрачиваемое погрузчиком на внедрение ковша в навал горной массы при каждом типе привода. Такая методика, учитывающая тип привода, предложена впервые.

#### **Операция 4 Подъем ковша в транспортное положение**

$$t_4 = \frac{h_T}{V_{CF}} \quad , \quad (2.21)$$

где  $h_T$  – высота подъема ковша погрузчика с грузом в транспортное положение, м;  $V_{CF}$  – скорость подъема ковша погрузчика с грузом, м/с. Время операции  $t_5$  принимают исходя из представленных данных технической характеристики оборудования подъема ковша у дизельного и аккумуляторного погрузчиков.

#### **Операция 5 Отъезд погрузчика от забоя (разворот)**

$$t_5 = \frac{L_5}{V_{ПГ}} + t_{PT}^{\text{II}} \quad , \quad (2.22)$$

где  $L_5$  – расстояние, на которое перемещается погрузчик при отъезде от забоя, м;  $V_{ПГ}$  – скорость погрузчика с грузом, м/с;  $t_{PT}$  – время, затрачиваемое на разгон, торможение погрузчика, с (в расчетах принимать равным 5 с).

#### **Операция 6 Движение погрузчика на разгрузку**

$$t_6 = \frac{L_6}{V_{ПГ}} \quad , \quad (2.23)$$

где  $L_6$  – расстояние, на которое перемещается погрузчик при отъезде от забоя, м;  $V_{ПГ}$  – скорость погрузчика с грузом, м/с.

#### **Операция 7 Торможение с одновременным поднятием ковша**

$$t_7 = \frac{h_p}{V_{CF}} + t_{PT}^C \quad , \quad (2.24)$$

где  $h_p$  – высота подъема ковша погрузчика с грузом, м;  $V_{CF}$  – скорость подъема ковша погрузчика с грузом, м/с.  $t_{PT}$  – время, затрачиваемое на разгон, торможение погрузчика, с (в расчетах принимать равным 5 с). Время операции  $t_7$

принимают исходя из анализа полученных усредненных данных хронометража погрузчиков.

### **Операция 8 Разгрузка ковша**

$$t_9 = t_p + t_3, \quad (2.25)$$

где  $t_p$  – время, затрачиваемое на высыпание груза из ковша, рассчитывается исходя из анализа полученных усредненных данных хронометража погрузчиков, с;  $t_3$  – время, затрачиваемое на запрокидывание ковша.

### **Операция 9 Отъезд от места разгрузки с одновременным опусканием ковша и разворот**

$$t_9 = \frac{L_9}{V_{II}} + \frac{h_p}{V_{CG}}, \quad (2.26)$$

где  $L_9$  – расстояние, на которое перемещается погрузчик при отъезде от забоя, м;  $V_{II}$  – скорость погрузчика с грузом, м/с; где  $h_p$  – высота подъема ковша погрузчика с грузом, м;  $V_{CG}$  – скорость подъема ковша погрузчика с грузом, м/с.

### **Операция 10 Движение к забою**

$$t_{10} = \frac{L_{10}}{V_{II}} + t_{PT}^{II}, \quad (2.27)$$

где  $L_{10}$  – расстояние, на которое перемещается погрузчик при отъезде от забоя, м;  $V_{II}$  – скорость погрузчика с грузом, м/с;  $t_{PT}^{II}$  – время, затрачиваемое на разгон, торможение погрузчика, с (в расчетах принимается равным 5 с).

С учетом разработанной теоретической модели методикой предусмотрено проведение серии опытно-промышленных испытаний для подтверждения теоретических расчетов. Проведение опытно-промышленных испытаний погрузочно-доставочных комплексов предусматривает оценку эффективности работы в добычной панели на расстоянии транспортирования в 50 метров от забоя до автосамосвала Atlas Copco MT5020, а также, согласно альтернативной схеме, – определение эффективной длины откатки в участковые рудоспуски. Полученные результаты должны отвечать представленной концепции, а именно исследованию времени цикла ( $T_{II}$ ) и оценке затрат рабочего времени на подготовительные и

заключительные операции ( $T_{ПЗ}$ ), выполняемые погрузочно-доставочными комплексами, а также на техническое обслуживание и ремонты ( $T_{ТОиР}$ ).

Проведение серий опытов должно базироваться на анализе работы принятых\имеющихся на предприятии трех погрузочно-доставочных комплексов:

- погрузчик Caterpillar 980H + автосамосвал Atlas Copco MT5020;
- дизельная ПДМ Sandvik LH621 (TORO 011) + автосамосвал Atlas Copco MT5020;
- Электро-ПДМ Epiroc ST14 Battery + автосамосвал Atlas Copco MT5020.

Анализ работы включает:

- составление функциональной схемы работы дизельного и электрического погрузчика;
- хронометражные наблюдения по представленной теоретической методике расчета;
- фиксация замеров времени по технологическим операциям (за цикл и смену) с точностью до одного знака после запятой;
- видео- и фотофиксация оперативной смены работы;
- получение зависимостей и построение циклограмм работы дизельного и аккумуляторного погрузчика в аналогичных условиях работы;
- выявление различий в количестве и длительности простоев и непроизводительных затрат времени;
- анализ возможности оптимизаций внутрисменных затрат времени на технологические и вспомогательные операции для различных погрузочно-доставочных комплексов;
- построение сменных циклограмм;
- анализ и сопоставление полученных результатов;
- определение среднего времени за цикл;
- определение среднего времени простоев для различных комплексов;
- расчет возможности оптимизации рабочего времени.



Для полноты определения эффективности использования различных погрузочно-транспортных комплексов при существующей транспортной схеме и возможностей увеличения производительности возникла необходимость в рассмотрении и оптимизации суточных затрат времени для ежедневной ремонтной смены ( $T_{OP}$ ).

Анализ ремонтной смены в ходе оценки фактической горнотехнической ситуации на руднике, согласно методике, должен включать:

- определение конструктивных параметров погрузочно-доставочных машин, состоящих на балансе по руднику;
- подсчет количества ТО и ремонтов для машин с различным типом привода;
- проведение хронометражных наблюдений;
- фиксация затрат оперативного времени ремонтной смены;
- определение количества быстроизнашивающихся деталей для различных приводов;
- подсчет необходимых операций каждодневного ремонта для различных приводов;
- определение трудоемкости на выполнение ремонтных работ;
- подсчет затрат на техническое обслуживание по годам и затрачиваемое количество времени;
- подсчет затрат на проведение ремонтов и технического обслуживания горнотранспортных машин для различных приводов.

Также методикой предусмотрено определение и оценка эффективных длин откатки ( $T_{СЛ}$ , рис.2.10) для существующей и альтернативной транспортной схемы при применении различных погрузочно-доставочных комплексов. Для этого необходимо проведение опытно-промышленных испытаний, предусматривающих

- подготовку площадки для проведения испытаний;
- фиксацию времени, затрачиваемого на преодоление расстояний от 50 до 400 метров, с шагом в 50 метров;

- учет увеличения скорости и перехода на другую передачу при различных длинах;
- анализ полученных данных для выявления различий по времени.

Разработанная методика определения эффективности применения различных погрузочно-транспортных комплексов для двух транспортных схем и выполнения в соответствии с ней исследований позволят определить условия перехода на новый тип машин ЭПДМ и параметры их эффективного использования.

Завершающий этап исследования предусматривал оценку суммарного экономического эффекта от внедрения предлагаемых технических решений с учетом затрат на осуществление перехода рудника на аккумуляторное погрузочно-доставочное оборудование. Экономическая оценка эффективности перехода на аккумуляторное оборудование осуществлялась с учетом затрат на подключение зарядных устройств (подстанций, зарядных станций), количества потребной энергии для обеспечения работы аккумуляторных погрузчиков, экономической эффективности при сокращении затрат на вентиляцию и техническое обслуживание.

В соответствии с разработанной методикой исследования определены этапы и параметры перехода горных предприятий на самоходные аккумуляторные горные машины с учетом технических, экономических и экологических особенностей.

### **2.3 Методика проведения исследований и расчета параметров вспомогательных технологических процессов при переходе подземного рудника к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания**

Как было определено в разд. 2.1, при переходе к самоходному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания необходимо учитывать и исследовать изменения параметров таких вспомогательных процессов, как вентиляция, водоотлив и электрификация рудника. Именно изменение

параметров системы вентиляции и электроснабжения существенно зависят от применяемого типа оборудования. Исследования в данном направлении были проведены многими учеными и подтверждают, что переход от дизельного к электрическому горному оборудованию значительным образом определяет количество подаваемого воздуха, а, следовательно, и затраты на энергообеспечение вентиляции (см. гл. 1). Данный эффект наиболее изучен в мировой практике.

Тем не менее для подземных рудников Жезказганского месторождения необходимо разработать комплексную методику оценки изменения параметров вспомогательных рудничных процессов ввиду существующих ограничительных факторов (см. рис.2.1), влияющих на дальнейшее ведение горных работ.

В результате настоящего диссертационного анализа условий и ограничений, определяющих необходимость перехода подземных рудников Жезказганского месторождения, разработана методика определения параметров вентиляционной сети подземного рудника при переходе на самоходные электрические горные машины. Методика оценки вентиляционной сети подземного рудника при использовании дизельного оборудования отличается от традиционной методики определения параметров вентиляционной сети и включает

- исследование влияния дизельных машин на показатели и характеристики вентиляционной сети рудника;
- определение и включение коэффициента влияния фактора ДВС в общую методику расчета воздуха, подаваемого в подземный рудник;
- сбор данных об эксплуатируемом дизельном погрузочно-доставочном оборудовании на рудниках Жезказганского региона и подбор сопоставимого по грузоподъемности электрического оборудования;
- сбор данных о вентиляционной системе и анализ принятого расчета воздуха по предприятиям Жезказганского региона;
- проведение расчета воздуха для рудников Жезказганского месторождения при применении самоходных электрических горных машин (ЭПДМ);

- определение количества заменяемой дизельной техники по добычным участкам и пересчет объема подаваемого свежего воздуха в шахту с учетом коэффициента влияния оборудования с ДВС.

Методика расчета системы энергообеспечения рудника включает:

- подсчет количества циклов заряда батареи за смену;
- определение мощности зарядной станции для энергообеспечения аккумуляторов;
- расчет затрачиваемого времени на заряд батареи при энергообеспечении из общей сети и при генерации энергии от перепуска шахтных гидропотоков [122, 123];
- сравнительную оценку потребления электроэнергии одной аккумуляторной машиной и расхода топлива на дизельную машину в сутки;
- проведение экспериментальной нормировки потребления энергоресурсов аккумуляторными и дизельными погрузочно-доставочными машинами;
- оценка полного потребления электроэнергии подземными рудниками за 6 лет;
- оценка денежных затрат за 6 лет на обеспечение подземных рудников электроэнергией;
- определение потребления электроэнергии за год на вентиляцию подземных рудников;
- расчет планового потребления электроэнергии за 6 лет на вентиляцию по подземным рудникам при использовании дизельной техники;
- расчет планового потребления электроэнергии за 6 лет на вентиляцию по подземным рудникам при использовании аккумуляторной техники;
- определение экономии потребления электроэнергии при вводе в эксплуатацию аккумуляторной техники;
- сравнительный расчет общего энергопотребления подземными рудниками при эксплуатации дизельной или аккумуляторной техники;

– определение капитальных затрат на подключение электростанции при введении в эксплуатацию аккумуляторной техники.

Новизна методики состоит в том, что для частичной компенсации затрат энергии на энергообеспечение ЭПДМ в рудничных условиях предложено преобразование кинетической энергии шахтных потоков в электрическую. [123]. Наиболее перспективным является преобразование энергии рудничных потоков, объем которых на подземных рудниках весьма внушителен (табл. 2.3, [125]).

Таблица 2.3 - Классификация месторождений по сложности гидрогеологических условий разработки

Группа сложности	Глубина разработки, м	Ожидаемые притоки подземных вод, м <sup>3</sup> /час
I	200-400	До 500
II	500-600	500 – 1000
III	Свыше 600	Свыше 1000
IV	Свыше 1000	То же

Анализ таблицы 2 свидетельствует, что даже на самых неглубоких рудниках, глубиной до 400 м, водоприток может достигать 500 м<sup>3</sup>/час, тогда как на глубоких рудниках он превышает 1000 м<sup>3</sup>/час. Необходимо отметить, что весь этот объем воды самотеком направляется на нижние горизонты (рис. 2.6, а), откуда откачивается на поверхность. На рудниках глубиной 4000 м протяженность всей совокупности горных выработок может достигать 900 км, то есть подземные рудники, как правило, имеют разветвленную сеть вертикальных, наклонных и горизонтальных горных выработок, перепускных скважин с горизонта на горизонт (вертикальных для шахтной воды), обеспечивающих движение самотечных потоков шахтной воды.

Согласно требованиям к проектированию подземных рудников, в каждом подземном руднике горизонтальные горные выработки проходятся в недрах с уклоном до 2-3 град. в сторону шахтного ствола. В результате вся вода аккумулируется в главном водосборнике, откачивается на поверхность и сбрасывается в окружающую среду без или после предварительной очистки.

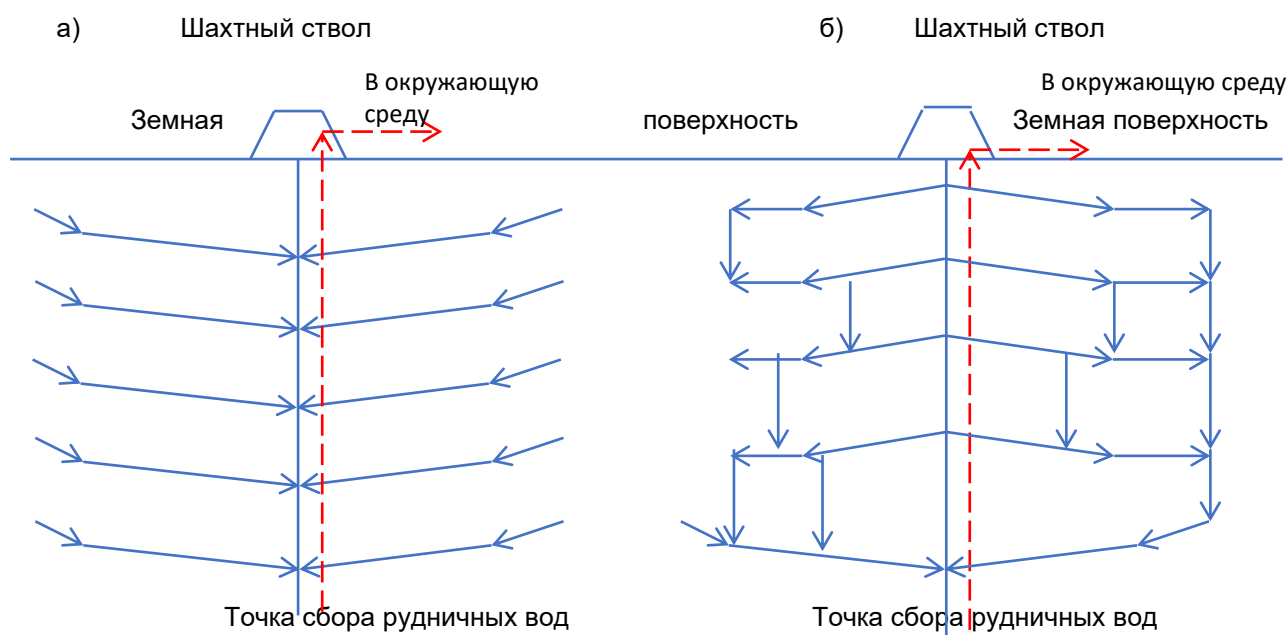


Рисунок 2.6 – Принцип проектирования системы водоотлива рудника: принятая в мировой практике (а) и предлагаемая для воспроизводства энергии рудничных потоков (б) (направление стока и перепуска воды с горизонта на горизонт показано стрелками).

Очевидно, что энергоэффективность горнотехнических систем, где на водоотлив и вентиляцию расходуется такое количество электроэнергии, весьма низка. Для повышения энергоэффективности горнотехнических систем предлагается изменить требования к их проектированию в части проходки горных выработок. Новый принцип организации водоотведения в подземном руднике показан на рис. 2.6-б. Согласно представленному принципу, вода аккумулируется на каждом горизонте за счет изменения уклона выработок от шахтного ствола на периферию. В результате на каждом горизонте имеется возможность аккумулирования воды для ее организованного перепуска на нижний горизонт, и так от вышележащего горизонта к нижележащему. Энергию формируемых таким образом шахтных потоков можно и нужно преобразовывать в электрическую. С учетом глубины современных подземных рудников и весьма внушительных возможностей для сброса вод между горизонтами предлагаемый принцип проектирования горнотехнических систем можно назвать весьма перспективным.

Принцип размещения зарядных станций для зарядки аккумуляторов роботизированного оборудования на горизонте подземного рудника показан на рис. 2.7. Анализ рисунка свидетельствует, что на схеме установлены 2 системы

генерации и накопления энергии, причем система на вышележащем горизонте преобразует энергию рудничного потока, перепускаемого с горизонтов 1 и 2 ( $Q_1 + Q_2$ ) на нижележащий третий. Нижележащая система генерации и СНЭ преобразует и аккумулирует энергию потоков рудничных вод с трех горизонтов  $Q_1 + Q_2 + Q_3$ , то есть является более мощной.

Предусмотрено, что оборудование на электроприводе с аккумулятором по мере необходимости направляется к системам накопления энергии для его замены и вновь возвращается к работам по добыче руды.

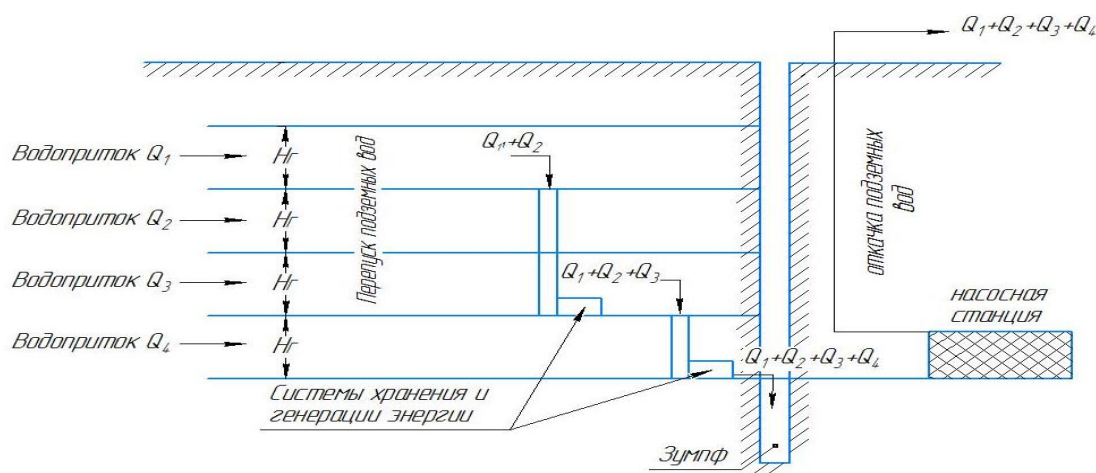


Рисунок 2.7 – Принцип установки в подземном руднике зарядных станций для горнотранспортных машин, работающих на аккумуляторах энергии [124, 126]

Анализ принципиальной схемы, приведенной на рис. 2.7, свидетельствует, что на руднике электроэнергия не только расходуется на водоотлив всего водопритока, вентиляцию и т.п., но и воспроизводится. Это позволяет предположить, что энергобаланс горнотехнической системы как энергетического объекта может быть определен так:

$$\mathcal{E}_{гмс} = \mathcal{E}_в - \mathcal{E}_з , \quad (2.28)$$

где  $\mathcal{E}_{гмс}$  – полная энергия горнотехнической системы, МВт·ч;  $\mathcal{E}_в$  – величина воспроизведенной энергии, МВт·ч;  $\mathcal{E}_з$  – величина затраченной энергии, МВт·ч.

Очевидно, что если на руднике весь водоприток откачивается, то такой энергобаланс будет отрицательным, т.е.  $\mathcal{E}_в < \mathcal{E}_з$ . Однако, при определенных условиях возможны горнотехнические ситуации, когда приведенный в (2.28) энергобаланс горнотехнической системы будет положительным. Для проверки

данной гипотезы методикой предусмотрено проведение натурных исследований в условиях ш. Центральная АО «ЮГК». Испытания гидротурбинной установки малой мощности (микро ГЭС) проведены в 2018 году [9].

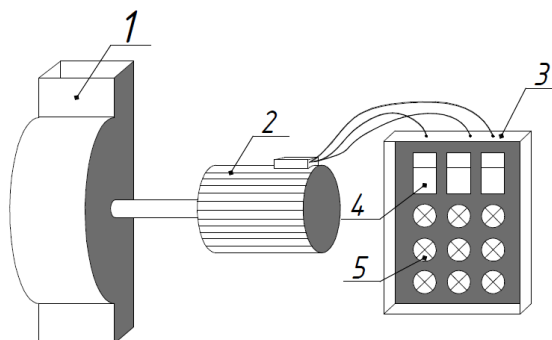


Рисунок 2.8 – Структурная схема экспериментальной установки, 1 – гидротурбина, 2 – электрогенератор, 3 – щит активной нагрузки и контроля электрических параметров, 4 – прибор для пофазного измерения напряжения (вольтметр), 5 – активная нагрузка (лампы накаливания)

Для получения электрических характеристик гидротурбинной установки (поз.1, рис. 2.8) необходимо привести механическую энергию рабочего колеса в электрическую с помощью электрогенератора (поз. 2). Для измерения электрических показаний в нескольких режимах (на холостом ходу и под нагрузкой) использовался щит активной нагрузки (поз. 3), состоящий из вольтметров (поз. 4) и ламп накаливания (поз. 5).

Для получения механической характеристики, а именно частоты вращения (количество оборотов в единицу времени) вала рабочего колеса турбины в различных режимах работы установки, использовался измерительный прибор – тахометр.

Предполагается измерение электрических характеристик в три этапа:

- 1) запуск установки без момента сопротивления на валу генератора (холостой ход), установка базовых показаний приборов;
- 2) последовательное включение в цепь электрогенератора активной нагрузки до просадки по напряжению, запись показаний;
- 3) уменьшение нагрузки на валу генератора до момента устойчивой работы (вращающий момент ведомого колеса гидротурбины практически равен моменту сопротивления генератора), регистрация данных с приборов.



На рисунке 2.9 представлена испытываемая гидротурбинная установка, которая представляет собой устройство, состоящее из рабочего колеса и тихоходного самовозбуждающегося генератора переменного напряжения, установленных соосно, а также из несущего силового корпуса (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Гидротурбинная установка в разборе

Исходя из выбранного места установки испытываемого оборудования, было определено фактическое местоположение работ по монтажу в сеть переточных трубопроводов гидротурбинной установки и выполнение пусконаладочных опытных работ. Места установки испытательного оборудования в приемную трубу скважины №2 – рисунок 2.10, а скважин №1 и №3 – рисунок 2.10, б.



а)

б)

Рисунок 2.10 – Места установки испытательного оборудования, а – приемная труба скважины №2, б – приемные трубы скважин №1 (нижняя) и №3 (верхняя)

Запуск установки в соответствии с методикой проводился в нескольких режимах. По результатам испытаний выбирался режим работы гидротурбины, отвечающий максимальному энергоспроизводству для зарядки ЭПДМ.



Рисунок 2.11 – Смонтированная на трубопроводе скважины №2 гидротурбина, установленная в горизонтальном положении

Результаты испытаний представлены в разделе 3.3.

Таким образом, для оценки энергоэффективности горнотехнической системы предложена методика расчета энергобаланса. Новизна методики состоит в том, что для частичной компенсации затрат энергии на энергообеспечение ЭПДМ в рудничных условиях предложено преобразование кинетической энергии шахтных потоков в электрическую.

## **Выводы по главе 2**

1. Определены условия перехода к новому виду погрузочно-доставочного оборудования и ограничений, которые состоят в требованиях к снижению себестоимости готовой продукции, в установленных квотах на выбросы отработанных газов от двигателей внутреннего сгорания, в снижении социальной напряженности в горнопромышленном регионе и в ограничениях в виде требований промышленной безопасности.

2. Анализ структуры себестоимости добычи руды по Южно-Жезказганскому руднику показал, что самыми затратными процессами являются внутришахтный транспорт – 29,6 %, в том числе на дизельный транспорт приходится 17,2%, на рельсовый транспорт – 5,4%, на дробление руды затрачено 1,7%, на скиповой подъем – 3,3%, на содержание дорог – 2,0%. Определено, что очистные работы в структуре себестоимости добычи составляют 21,6 %, горнопроходческие работы – 9,1 %, вентиляция – 2,4 %, водоотлив – 0,6 %. Анализ структуры себестоимости по Южно-Жезказганскому руднику показал, что актуальность перехода на самоходное оборудование с автономным источником питания связана не только и не столько со снижением затрат на вентиляцию, сколько с изысканиями решений, обеспечивающих снижение себестоимости внутришахтного транспорта, очистных и горнопроходческих работ.

3. Определенные условия перехода от дизельных погрузочно-транспортных средств к электрическим с автономным источником питания позволили разработать методику сравнительной оценки двух конкурирующих схем – существующей в настоящее время на ЮЖР и альтернативной, принятой Стратегией развития Корпорации Казахмыс. В свою очередь, для проведения сравнительной оценки в каждую схему введена единица ЭПДМ. 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. Подобная методика сравнительной оценки производительности погрузочно-доставочных средств при камерно-столбовых системах разработки, учитывающая тип привода, разработана впервые.

4. Предложен математический аппарат, позволяющий рассчитать производительность ДПДМ и ЭПДМ через работу, совершаемую машиной, с учетом КПД трансмиссии.

5. В результате анализа условий и ограничений, создающих необходимость перехода подземных рудников Жезказганского месторождения, предложен метод определения параметров вентиляционной сети подземного рудника при переходе на самоходные электрические горные машины через включение коэффициента влияния фактора ДВС в общую методику расчета воздуха, подаваемого в подземный рудник.

6. Для оценки энергоэффективности горнотехнической системы предложена методика расчета энергобаланса. Новизна методики состоит в том, что для частичной компенсации затрат энергии на энергообеспечение ЭПДМ предложено в рудничных условиях преобразование кинетической энергии шахтных потоков в электрическую.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА К САМОХОДНОМУ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ**

#### **3.1 Исследование параметров основных технологических процессов подземной добычи руд при обосновании условий перехода рудника на новый тип средств доставки**

Математический аппарат, разработанный по предложенной методике (см. раздел 2.2) в рамках исследовательских работ, показал, что имеется теоретическая возможность повышения производительности погрузочно-доставочных работ и рудника в целом за счет другого принципа работы горной машины с электрическим приводом и с повышенной маневренностью, с более быстрым, в сравнении с дизельными аналогами, реагированием и увеличенной скоростью движения. Для получения наиболее достоверных результатов проведенные теоретические изыскания были основаны на данных, приближенных к реальным условиям.

Так, описанные ранее в 1-ой главе горнотехнические и геологические условия разработки Жезказганского месторождения свидетельствуют, что принятая камерно-столбовая система разработки главным образом определяет технологическую схему доставки рудной массы. Типовая камерно-столбовая система разработки представлена на рисунке 3.1.

На основе особенностей функционирования оборудования в очистных забоях при камерно-столбовой системе разработки составлена схема этапов цикла работы погрузочно-доставочных машин, отражающая принцип влияния силового и гидравлического приводов в зависимости от выполняемой операции. Детальный разбор влияния силового и гидравлического приводов позволяет определить те операции дизельных и аккумуляторных погрузочно-доставочных машин, которые могут различаться по эффективности выполнения (рис.3.2).

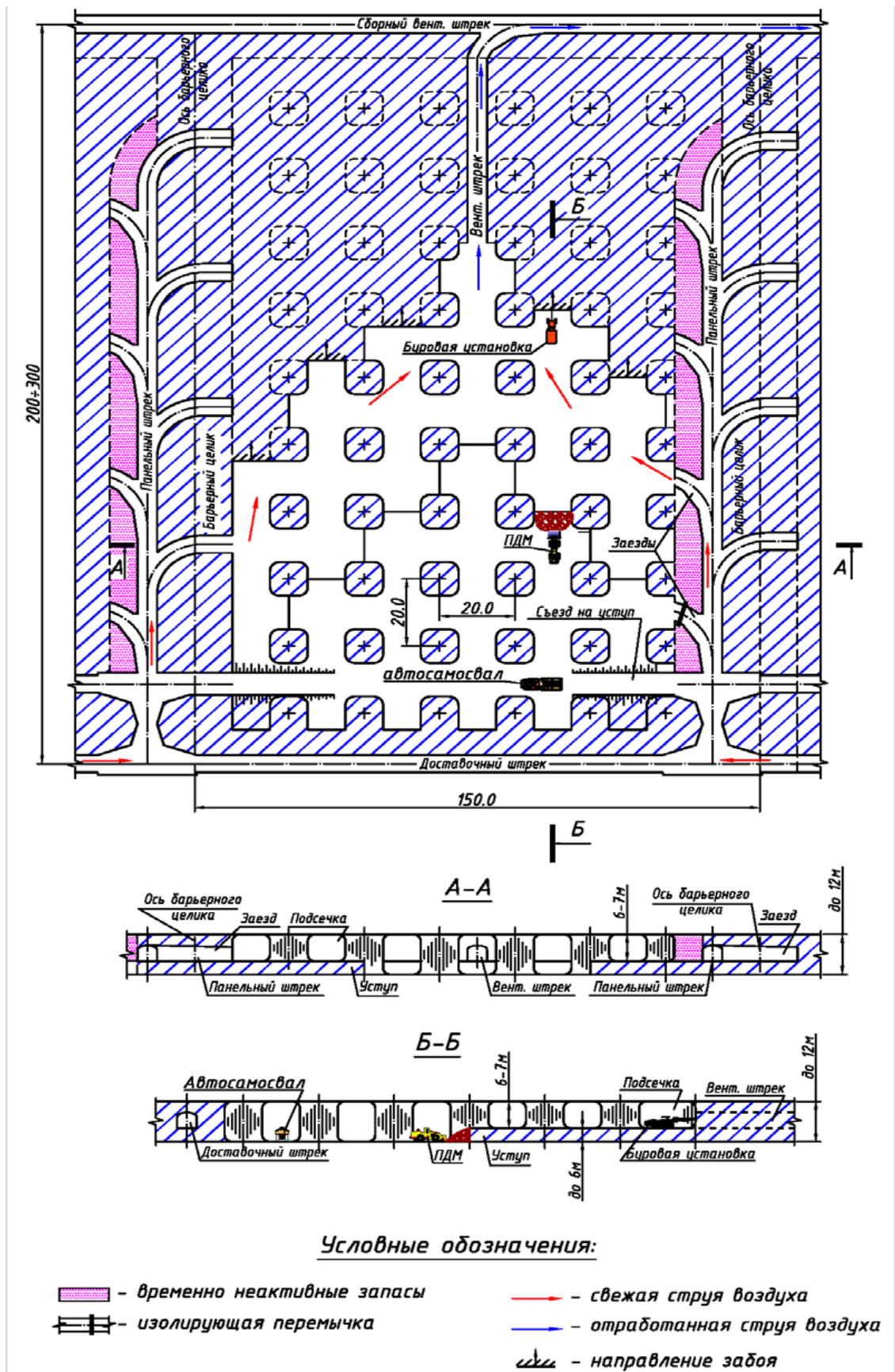


Рисунок 3.1 - Параметры и конструктивные элементы камерно-столбовой системы разработки

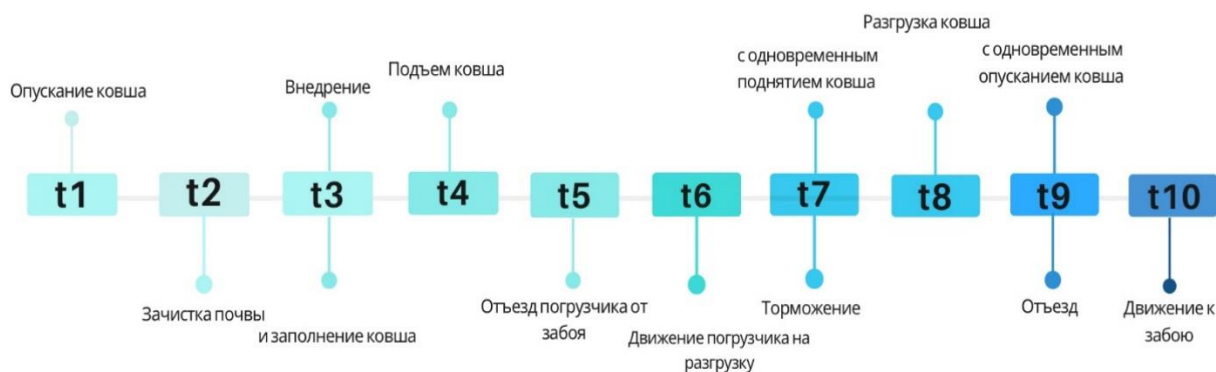


Рисунок 3.2 - Состав цикла работы погрузочно-доставочной машины с позиции учета особенностей типа привода на базе проведенных исследований: вверху – операции, выполняемые гидравлическим приводом (t1, t4, t8, t9); внизу – операции, выполняемые силовым приводом (t2, t5, t6, t10) и операции, выполняемые при одновременной работе силового и гидравлического приводов (t3, t7, t9)

Так, впервые выдвинута идея о том, что для сравнительной оценки производительности ДПДМ и ЭПДМ все операции, циклически выполняемые погрузочно-доставочной машиной, можно разделить на операции, выполняемые за счет силового и за счет гидравлического приводов. В состав цикла работы входят операции, связанные с силовым приводом горной машины, которые показаны в нижней части рисунка. К ним относятся зачистка почвы перед внедрением ковша, следование к развалу горной массы в забое, повороты, внедрение ковша за счет усилия привода горной машины, задний ход, движение на разгрузку. Также следует выделять операции, не связанные с усилием движущего привода, такие как манипуляции стрелой и ковшом погрузчика, выполняемые за счет гидравлического привода (они схематически изображены в верхней части диаграммы), и операции совмещенного типа действия, когда погрузчик или ПДМ могут выполнять две операции одновременно, например отъезд от автосамосвала с одновременным опусканием ковша. Такая операция представлена на рисунке 3.2 как “t9”. Следует отметить, что не все погрузочно-доставочные машины, которые находятся на балансе Южно-Жезказганского рудника, могут выполнять несколько операций одновременно.

С учетом представленных ранее в первой и второй главе данных об устройстве типовой транспортной схемы погрузочно-доставочных работ, о циклах

работы, о расстоянии между целиками, о технических характеристиках и размерных параметрах машин была построена схема устройства цикла работы погрузочно-доставочных машин (рис.3.3).

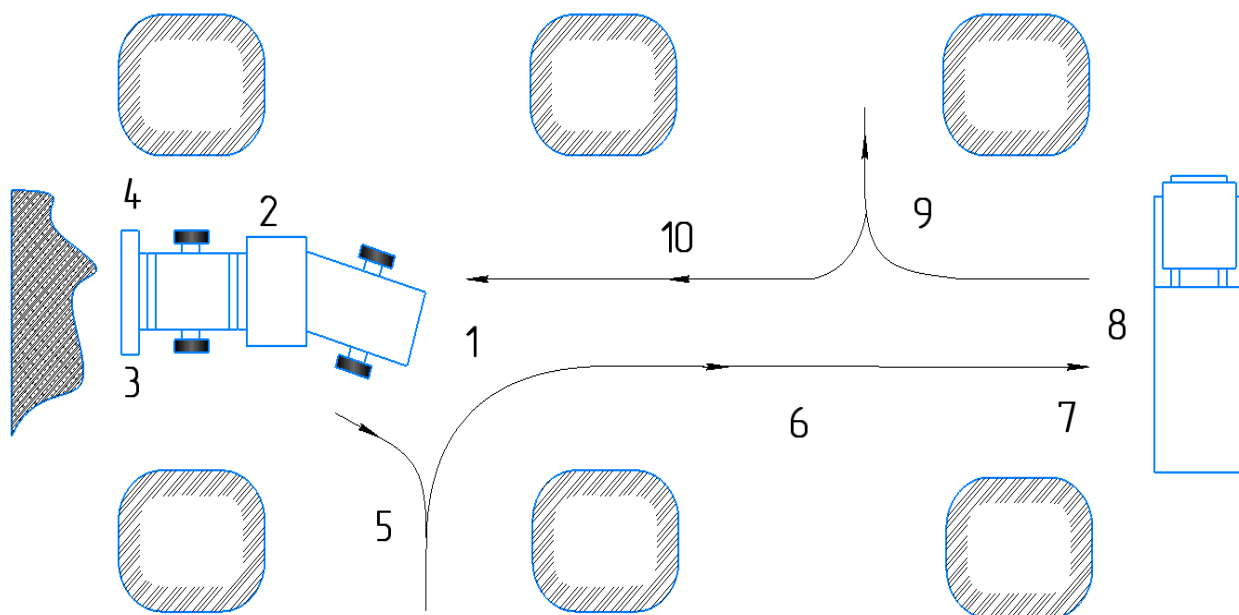


Рисунок 3.3 – Схема маневров, совершаемых за цикл при работе погрузочно-доставочной машины или погрузчика

Графическое исполнение цикла работы необходимо для проведения более точных расчетов производительности и оценки эффективности трех испытуемых погрузочно-доставочных средств. Также необходимо понимать принцип набора скоростей в зависимости от расстояния транспортирования горной массы и различия скоростных машин в их назначении и типе размера (табл.3.1).

Анализ данных таблицы 3.1 свидетельствует, что при работе на первой передаче скоростей, то есть на небольших расстояниях, самым производительным является дизельный погрузчик, тогда как ЭПДМ уступает двум другим рассматриваемым погрузочно-доставочным средствам по скорости, набираемой при 1-ой передаче, а значит применение такой машины будет наименее эффективно на коротких участках транспортирования.



Таблица 3.1 – Скорости груженых и порожних погрузочно-доставочных средств, находящихся на балансе Южно-Жезказганского рудника

Характер работы машины		Дизельный погрузчик		Дизельная ПДМ		Электро-ПДМ	
		Порожний	Груженный	Порожний	Груженный	Порожний	Груженный
КМ/ч	1-я пер-ча	<b>7,8</b>	<b>6,9</b>	<b>6,1</b>	<b>6,1</b>	<b>4,7</b>	<b>4,4</b>
	2-я пер-ча	<b>15,2</b>	<b>13,3</b>	<b>10,9</b>	<b>10,9</b>	<b>11,8</b>	<b>11,1</b>
	3-я пер-ча	<b>26,9</b>	<b>23,5</b>	<b>19,1</b>	<b>19,0</b>	<b>19,9</b>	<b>18,5</b>
	4-я пер-ча	<b>39,5</b>	<b>37,5</b>	<b>34,2</b>	<b>33,9</b>	<b>36,4</b>	<b>35</b>

Таким образом, в соответствии с представленными выше данными и методикой расчета, для существующей транспортной схемы Южно-Жезказганского рудника определена техническая производительность по каждому погрузочно-доставочному средству с различными типами приводов и техническими характеристиками. Полученные результаты теоретических расчетов представлены в таблице 3.2. В ней даны расчеты продолжительности одного цикла работы для погрузчика, ДПДМ и ЭПДМ, отражающие условия транспортной схемы, принятой на Южно-Жезказганском руднике, а именно постановку автосамосвала под погрузку около забоя и максимальную длину транспортирования погрузочно-доставочными машинами, не превышающую 50-и метров. Анализ таблицы 3.2 свидетельствует, что в существующих условиях принятой транспортной схемы самыми производительными являются дизельные ПДМ Toro011 (Sandvik LH621). Определено, что быстрее всего выполнение операции по внедрению и наполнению ковша справляется ST 14, но из-за того, что набор скорости для первой передачи у аккумуляторной ПДМ ниже, чем у дизельных погрузочно-доставочных средств, сделан вывод, что ST14 не эффективно применять при такой транспортной схеме.

Таблица 3.2 – Результаты расчета циклов работы и технической производительности для погрузочно-доставочных средств при постановке автосамосвала под погрузку на расстоянии 50 м

№	Наименование	Формула	Среднее время при работе горной машины, с		
			CAT 980H	Toro 011	ST 14 Battery
1	Опускание ковша	$t_1 = h_p / V_{ПК}$	3,1	4,5	4
2	Зачистка почвы	$t_2 = L_2 / V_{ПР} * k_H$	7,4	8,3	11,4
3	Внедрение ковша и заполнение ковша	$t_3 = t_B + t_H = A / \eta * P_{CP} + t_H$	15,2	14,7	31,1
4	Подъем ковша в транспортное положение	$t_4 = h_T / V_{ПК}$	5,3	7,6	8,4
5	Отъезд погрузчика от забоя	$t_5 = L_3 / V_{ПГ} + t_{PT}^П$	12,9	16,8	15,2
6	Движение погрузчика на разгрузку	$t_6 = L_6 / V_{ПГ}$	10,5	11,8	15,4
7	Торможение с одновременным поднятием ковша	$t_7 = h_p / V_{ПК} + t_{PT}^C$	6,2	12,9	5,9
8	Разгрузка ковша	$t_8 = t_P + t_3$	1,8	4,5	3
9	Отъезд погрузчика с одновременным опусканием ковша	$t_9 = L_9 / V_{П} + h_p / V_{ПК}$	7,4	18,2	7,13
10	Движение к забою	$t_{10} = L_{10} / V_{П} + t_{PT}^П$	21,6	28,7	26,9
Время цикла, с		$t_{Ц} = \varphi \sum_{t=1}^m t_i$	91,4	143,8	108,13
Производительность, м3		$W_T = 3600 * V_K * \gamma * k_{H.K.} / t_{Ц}$	209,54	237,8	196,06

Быстрее всего цикл работы проходит дизельный погрузчик, который сейчас и применяется на подземном руднике.

По результатам расчета, дизельная ПДМ - самая производительная единица техники.

Были произведены также расчеты определения относительной технической производительности на 1м<sup>3</sup> ковша (табл. 3.3).

Таблица 3.3 - Продолжительность операций циклов погрузчиков и ПДМ при погрузке взорванной горной массы в автосамосвалы (по данным хронометражных наблюдений)

Показатели и операции	Погрузчики	ПДМ	ЭлектроПДМ
Тип и модель	CAT 980G 2	TORO 0011	ST 14 Battery
Емкость ковша, м <sup>3</sup>	5,6	10,7	6,2
Черпание и набор ковша, сек	15,2	31,1	18,3
Движение груженого, сек	21,7	33,6	25,6
Разгрузка, сек	6,5	12,0	8,9
Движение порожнего, сек	16,8	30,2	18,7
Продолжительность цикла, мин	1,08	1,78	1,24
Количество ковш. в кузов а/с емкостью 28м <sup>3</sup> и грузом. 42т.	5	3	4
Технич. производит, т/ч	504,0	471,9	498,7
<b>Относит. произв, т/1м<sup>3</sup> ковша</b>	<b>90,0</b>	<b>44,1</b>	<b>80,4</b>

Из таблицы 3.3 видно, что относительная техническая производительность на 1м<sup>3</sup> ковша у погрузчиков в 2 раза выше, чем у дизельной ПДМ, и в 1,1 раз выше, чем у Электро-ПДМ. Поскольку емкость ковша определяет класс и цену погрузчика или ПДМ, то указанное техническое преимущество можно распространить и на экономическую выгодность применения погрузчиков на погрузке горной массы в автосамосвалы при условии подачи автосамосвала к забою и при производительности рудника 5524,0 тыс.т/год или 15134 т/сутки.

Известно, что предприятие, занимающееся разработкой Жезказганского месторождения, приняло новый стратегический план развития, предусматривающий вовлечение в отработку бедных и забалансовых руд. Соответственно с увеличением производственной мощности рудника и предложена альтернативная транспортная схема. Поэтому для полноты исследований были произведены расчеты технической производительности каждой из машин, учитывающие особенности приводов и набора скоростей (см.табл.3.1) в зависимости от увеличения длины откатки рудной массы (табл.3.4).

Таблица 3.4 - Техническая производительность погрузочно-доставочных средств, рассчитанная без ограничения скорости

Длина откатки, м		50	100	150	200	250	300	350	400
<b>CAT 980H</b>	$Q_{\text{ТЕХ.}}$ , т/ч	225,3	207,9	202,1	198,2	191,1	189,2	177,0	167,9
<b>Toro 011</b>		268,8	241,9	235,4	261,6	286,5	288,2	279,5	272,6
<b>ST 14 Battery</b>		215,4	221,6	219,5	231,7	236,4	239,1	235,3	227,3

Расчеты, выполненные по предложенной методике (см. раздел 2.2), показали, что дизельная ПДМ является самой производительной ввиду наличия самого большого ковша с объемом  $10\text{м}^3$ . Также определено, что наибольшая эффективность у Электро-ПДМ наблюдается при длине откатки, находящейся в диапазоне 250-350 метров.

По полученным расчетным данным для определения эффективных длин откатки была построена зависимость показателей технической производительности от длин откатки.

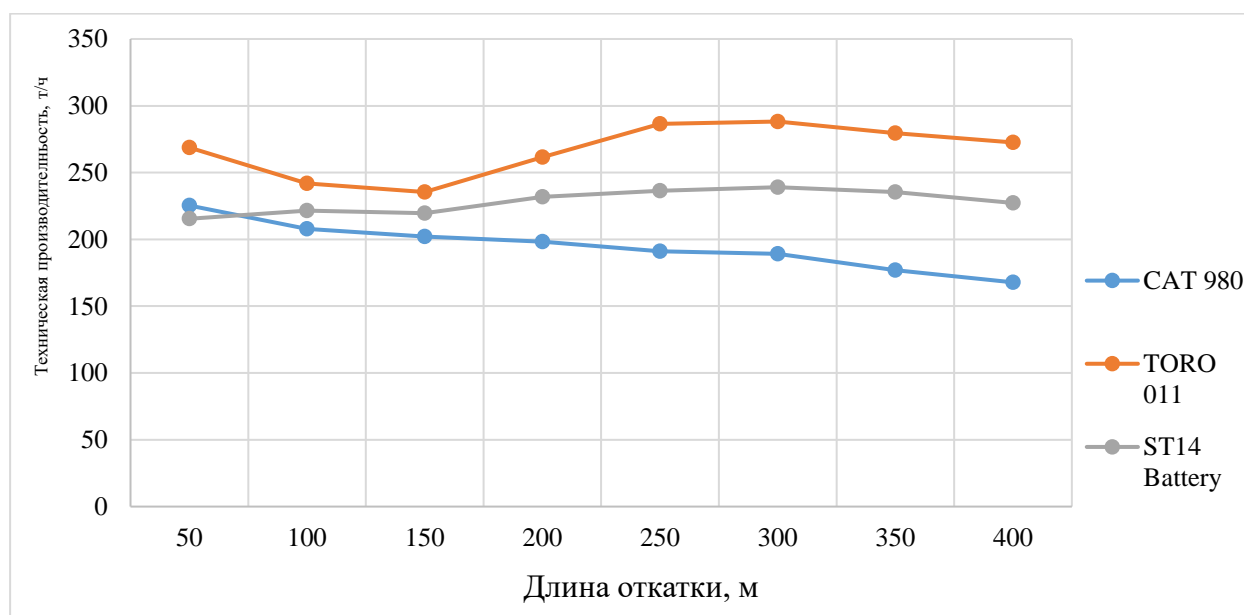


Рисунок 3.4 – Зависимость показателей технической производительности погрузочно-доставочной техники от различных длин откатки

Как видно из данных рис. 3.4, по результатам теоретических расчетов при всех длинах откатки от 50-и до 400 метров дизельная ПДМ Toro 011 оказалась машиной, самой производительной за один цикл погрузки, так как данная горная

машина имеет самую большую грузоподъёмность из всех применяемых на Южно-Жезказганском руднике, ввиду того что эта ПДМ обладает самым большим ковшем. Однако данная модель менее маневренная и ограничена по скорости движения, что подтверждается графиком на рис. 3.5 при рассмотрении относительной технической производительности на 1м<sup>3</sup> ковша.

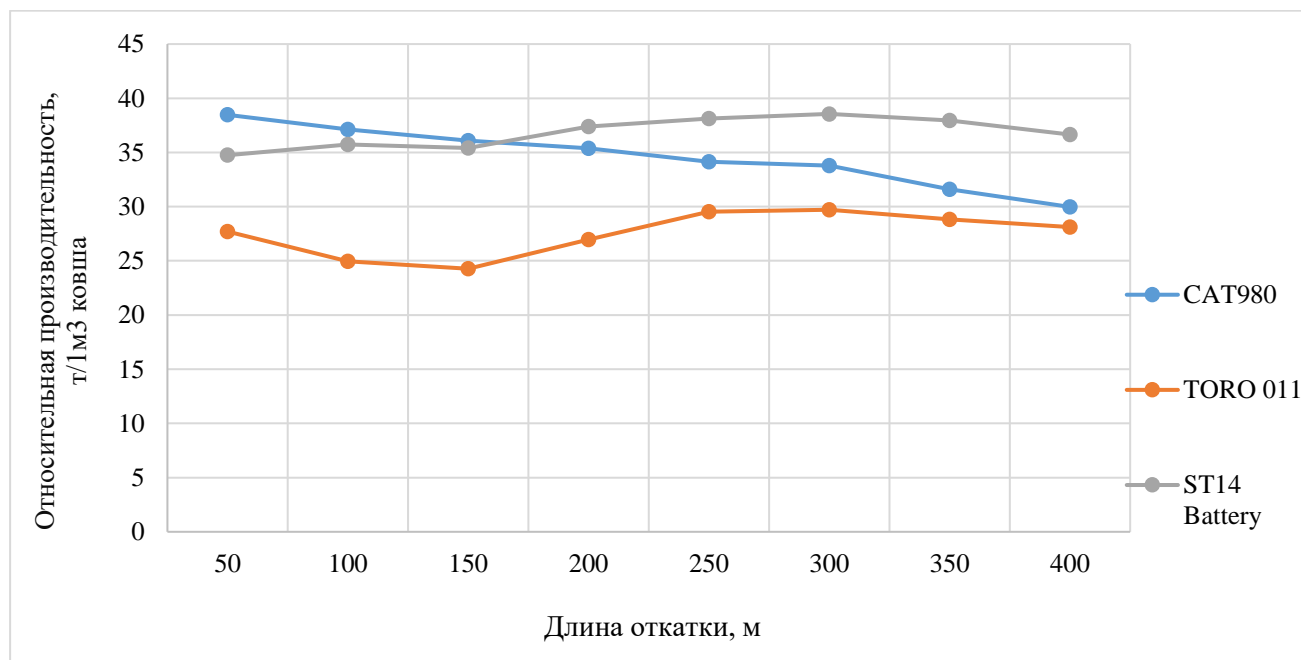


Рисунок 3.5 Зависимость показателей относительной производительности погрузочно-доставочной техники от различных длин откатки

Важно отметить, что под относительной технической производительностью стоит понимать эффективность машины, связанную с ее маневренностью, быстродействием и набором скоростей [127, 128]. Так, в таблице 3.5 наглядно показано, что, несмотря на самую большую грузоподъемность дизельной ПДМ Того 011, она значительно уступает Электро-ПДМ.

Таблица 3.5 – Относительная техническая производительность погрузочно-доставочных средств, т/1м<sup>3</sup>ковша

Длина откатки, м	50	100	150	200	250	300	350	400
<b>CAT980</b>	38,47	37,13	36,1	35,39	34,13	33,79	31,61	29,97
<b>TORO 011</b>	27,71	24,94	24,27	26,97	29,53	29,71	28,81	28,1
<b>ST14</b>	34,74	35,73	35,4	37,37	38,13	38,56	37,96	36,65

Расчеты производительности (табл. 3.6) при существующих ограничениях скорости до 20 км/ч, принятых согласно требованиям безопасности, показали, что на больших расстояниях откатки производительность ЭПДМ близка к производительности ДПДМ, несмотря на большую грузоподъемность последней.

Таблица 3.6 - Техническая производительность погрузочно-доставочных средств, рассчитанная с ограничением скорости не более 20 км/ч, т/ч

Длина откатки, м		50	100	150	200	250	300	350	400
<b>CAT 980H</b>	$Q_{\text{ТЕХН}}$ , т/ч	215,4	207,9	202,2	209,7	206,8	196,2	186,7	177,9
<b>Toro 0011</b>		268,8	241,9	235,4	237,6	221,7	213,2	202,7	195,1
<b>ST 14 Battery</b>		225,3	221,5	219,5	226,5	219,9	209,1	199,2	190,3

По полученным расчетным данным была построена представленная на рисунке 3.6 зависимость, которая свидетельствует, что при длине откатки до 200 метров самым эффективным погрузочно-доставочным средством является дизельная ПДМ Toro 011, однако в диапазоне длин с 250-и до 350-и метров ЭПДМ не уступает дизельной в производительности. Такие результаты исследований связаны с тем, что груженная ДПДМ имеет наибольшую скорость 6-8 км/ч, тогда как ЭПДМ - 15-120 км/ч. Порожня ДПДМ развивает скорость 9-12 км/ч, а ЭПДМ – 20 км/ч.

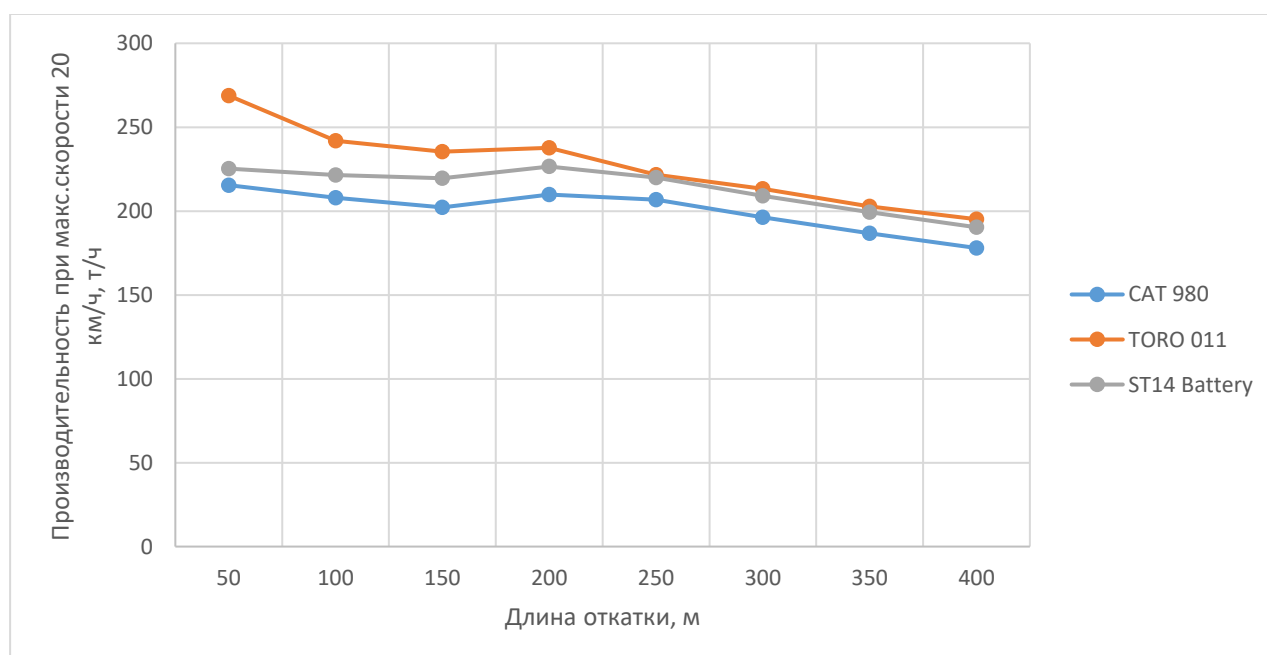


Рисунок 3.6 – Производительность средств доставки Южно-Жезказганского рудника при ограничении скорости 20 км/ч

Исследование относительной производительности на 1 м<sup>3</sup> ковша показали максимальную эффективность ЭПДМ также на значительных расстояниях откатки (рис. 3.7).

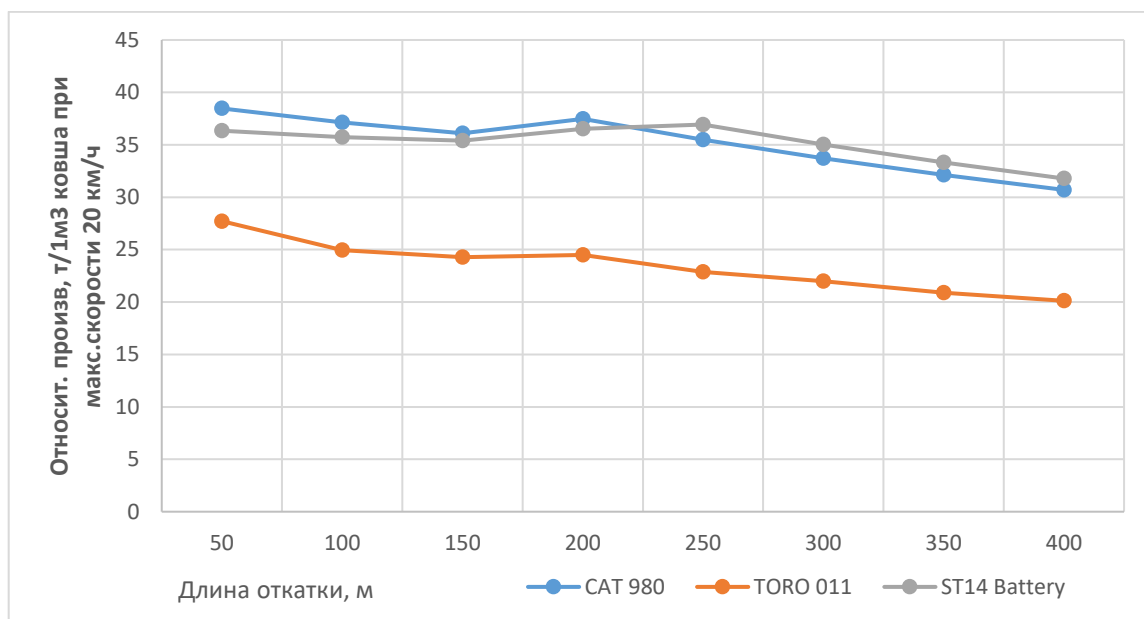


Рисунок 3.7 – Зависимость показателей относительной производительности погрузочно-доставочной техники от различных длин откатки при ограничении скорости 20 км/ч

Полученные результаты теоретического исследования указывают на необходимость проведения промышленных испытаний в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях подземного рудника при условии изменения минерально-сырьевой базы.

### 3.2. Результаты опытно-промышленных испытаний эффективности применения дизельных и электрических погрузочно-доставочных средств при существующей и альтернативной технологических схемах рудника

Для подтверждения проведенных теоретических исследований и определения наиболее эффективного погрузочно-доставочного комплекса, отвечающего горнотехническим условиям эксплуатации Жезказганского месторождения при изменении минерально-сырьевой базы, были проведены хронометражные наблюдения и исследования фактических условий эксплуатации

погрузочно-транспортной техники. В ходе ОПИ получены консультации машинистов погрузочно-доставочных машин.

Так как опытно-промышленные испытания проводились исходя из апробации вариантов погрузочно-доставочных комплексов различных комбинаций при существующей и альтернативной схемах (раздел 2.2.), на первом этапе был выполнен сравнительный анализ рабочих характеристик погрузчика САТ 980 G и дизельной ПДМ Того 011, ввиду того что в Южно-Жезказганском руднике они являются основными звеньями при организации погрузочно-доставочных работ.

**Погрузчик** в основном предназначен для погрузки горной массы в автосамосвалы, но он может выполнять доставку горной массы на небольшие расстояния, и, как показал опыт применения такой техники на подземных рудниках Жезказганского месторождения, увеличение длины откатки более чем на 100 метров приводит к частым мелким ремонтам, на выполнение которых уходит 30-40 минут при каждой оперативной смене. В ходе анализа особенностей работы службы главного механика было установлено, что на руднике для повышения эффективности погрузочно-доставочных работ при существующих параметрах горнотехнической системы лучше использовать погрузчики САТ 980 G исключительно в призабойной зоне и на короткие расстояния доставки горной массы до автосамосвала (до 100 метров). Углы съезда и въезда, клиренс у погрузчика обычно меньше, чем у ПДМ, что приводит к задеванию нижних частей машины о неровности дорог при транспортировании на длинные дистанции.

Несомненным преимуществом погрузчика является его конструкция ввиду компактного вида с рациональным размещением масс агрегатов и узлов по высоте и длине в пределах заданных габаритов. Кабина и сидение водителя размещены по центру над сцепкой на максимально возможной высоте, что обеспечивает хорошую круговую обзорность при выполнении всех операций погрузки и движения машины по штрекам. Водитель расположен прямо по направлению движения.

В ходе анализа условий работы машинистов ПДМ и ремонтной службы определено, что ПДМ в основном предназначена для доставки горной массы на экономически эффективные расстояния до 400 метров по горным выработкам с



ограниченной высотой и может выполнять погрузку горной массы в автосамосвалы. Конструкция ПДМ имеет вытянутую в длину форму с ограничением габарита по высоте. Моторный отсек сдвинут назад и образует консоль по отношению к оси заднего моста, в силу равномерного распределения нагрузки это обуславливает постоянный контакт всех колес с поверхностью грунта даже при движении по неровным поверхностям. Высота разгрузки ковша у ПДМ обычно меньше, чем у погрузчика, что затрудняет высыпание груза из ковша в кузов автосамосвала. Поперечная устойчивость при движении ПДМ с поднятым загруженным ковшом и с поворотом хуже, чем у погрузчика – погрузчик может во время движения к автосамосвалу производить подъем ковша, а ПДМ нет.

Перечисленные основные недостатки ПДМ сказываются на снижении скоростей движения и увеличении продолжительности операций, а в итоге – на снижении производительности.

Исходя из того, что в данной диссертационной работе проводится сравнительный анализ двух транспортных схем и применения в них различных транспортных комплексов, а приведенный выше анализ сформирован на основе длительной эксплуатации дизельных машин, то для оценки рабочих характеристик дизельных погрузчиков, ПДМ и Электро-ПДМ на рудниках Жезказгана в период 2019-2022 гг. проведены испытания и хронометражи, результаты которых приведены ниже.

Проводимые опытно-промышленные испытания согласно методике, представленной в разделе 2.2, включали следующую этапность.

1. Хронометражные наблюдения работы при эксплуатации CAT 980, Sandvik Toro 0011 (LH621) и ST14 Battery в реальных условиях Южно-Жезказганского рудника для определения и сравнения эффективности работы трех испытываемых машин.

2. Хронометражные наблюдения за эксплуатацией всех трех единиц техники на различные длины транспортирования (от 50 до 400 метров).

3. Хронометражные наблюдения за работой техники (включая автосамосвалы, подаваемые под погрузку) в штатном режиме (смены) для

выявления эффективного рабочего времени, простоев и непроизводительных затрат времени;

4. Исследование структуры затрат времени на техническое обслуживание и ремонт.

Первый этап включал в себя оценку забойной эффективности трех единиц техники, находящейся на балансе Южно-Жезказганского рудника. Испытания проводились в подземных условиях для существующей транспортной схемы при одинаковых дорожных условиях и с крупностью кусков навала горной массы, равной 300 мм. Ход проведения испытаний представлен на рисунке 3.8.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 3.8 – Проведение хронометражных наблюдений с учетом анализа циклов работы: а - внедрение и наполнение ковша, совершаемые погрузчиком CAT 980; б - погрузка руды в автосамосвал дизельной ПДМ Sandvik Toro 0011 (LH621); в - доставка руды Электро-ПДМ ST14 Battery до автосамосвала; г - учет скоростей

при работе погрузочно-доставочной техники при выполнении различных операций.

Хронометражные наблюдения проводились в течение 10-20 суток в зависимости от исследуемых типов оборудования. В качестве примера в табл. 3.7 приведен протокол записи результатов наблюдений за работой средств доставки при камерно-столбовой системе разработки в условиях Южно-Жезказганского рудника.

Таблица 3.7 – Результаты хронометражных наблюдений за работой дизельного погрузчика CAT 980 G ii, ПДМ Sandvik Toro 0011 (LH621), ЭПДМEpiroc ST14 Battery

Машина	Процесс	Начало	Окончание	Продолжительность
CAT 980	Зачистка	14:09:36	14:10:00	24 сек
	Внедрение ковша и заполнение ковша	14:10:00	14:10:14	14 сек
	Отъезд от забоя	14:10:14	14:10:29	15 сек
	Движение на разгрузку	14:10:29	14:10:38	9 сек
	Торможение с одновременным поднятием ковша	14:10:38	14:10:42	4 сек
	Разгрузка ковша	14:10:42	14:10:47	5 сек
	Отъезд с одновременным опусканием ковша	14:10:47	14:10:54	7 сек
	Движение к забою	14:10:54	14:11:13	19 сек
	<b>Итого</b>			<b>1 мин 37 сек</b>
Sandvik Toro 0011 (LH621)	Зачистка	0:22:20	0:23:00	40 сек
	Внедрение ковша и заполнение ковша	0:23:00	0:23:34	34 сек
	Отъезд от забоя	0:23:34	0:23:55	21 сек
	Движение на разгрузку	0:23:55	0:24:08	13 сек
	Торможение	0:24:08	0:24:14	6 сек
	Поднятие ковша	0:24:14	0:24:17	3 сек
	Разгрузка ковша	0:24:17	0:24:28	11 сек
	Опускание ковша	0:24:28	0:24:33	5 сек
	Отъезд от самосвала	0:24:33	0:24:44	11 сек
	Движение к забою	0:24:44	0:25:12	28
<b>Итого</b>			<b>2 мин 52 сек</b>	

ST14 Battery	Зачистка	15:00:00	15:00:22	22 сек
	Внедрение ковша и заполнение ковша	15:00:22	15:00:35	10 сек
	Отъезд от забоя	15:00:35	15:00:53	14 сек
	Движение на разгрузку	15:00:53	15:01:05	12 сек
	Торможение с одновременным поднятием ковша	15:01:05	15:01:10	5 сек
	Разгрузка ковша	15:01:10	15:01:14	4 сек
	Отъезд с одновременным опусканием ковша	15:01:14	15:01:21	7 сек
	Движение к забою	15:01:21	15:01:42	21 сек
	<b>Итого</b>			

Приведенные выше, в таблице 3.7, результаты опытно-промышленных испытаний рабочих характеристик погрузчика и ПДМ с различными приводами показывают, что самым эффективным и быстро действенным доставочным средством из трех испытуемых является Электро-ПДМ при объеме ковша 6,2 м<sup>3</sup>. А испытание дизельного погрузчика на погрузке горной массы в автосамосвалы с емкостью ковша 5,6 м<sup>3</sup> в условиях существующей транспортной схемы показало, что погрузчик обеспечивает техническую производительность, сопоставимую с производительностью ПДМ с большой емкостью ковша. Данные испытаний говорят о том, что погрузочно-доставочным средством, наименее эффективным для существующей транспортной схемы при длине откатки, не превышающей 50-100 метров, оказалась дизельная ПДМ, которая оснащена самым большим по объему ковшом, но при этом значительно уступает по производительности Электро-ПДМ и дизельному погрузчику.

Во всех хронометражных наблюдениях повышенная за счет электрического привода маневренность Электро-ПДМ и меньшая емкость ковша у погрузчика компенсируются лучшими рабочими характеристиками (маневренностью и высокой проходимостью, скоростью движения и поворота, продольной и поперечной устойчивостью, тяговыми качествами и возможностью работы на

углах подъема до 17-и градусов, надежностью и меньшими затратами на запасные части).

На втором этапе опытно-промышленных испытаний были проведены хронометражные наблюдения длительности следования погрузочно-доставочных машин при различных длинах откатки. Результаты наблюдений представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Экспериментальные данные продолжительности следования погрузочно-доставочных машин при различных расстояниях транспортирования

Длина откатки, м	Продолжительность следования, с					
	Порожний			Груженный		
	CAT 980	Toro 011 (LH621)	ST 14 Battery	CAT 980	LH621	ST 14 Battery
50	23,1	29,5	27,7	26,1	29,5	31,2
100	23,8	33,1	30,5	41,6	47,6	43,4
150	29,4	36,4	31,9	44,1	49,6	46,8
200	31,7	42,5	34,4	48,7	52,6	46,5
250	36,2	45,4	35,6	49,1	59,5	51,02
300	38,4	47,6	37,9	49,1	58,8	50,8
350	40,2	48,6	39,3	53,6	66,4	47,9
400	44,4	46,5	40,8	50,6	57,9	48,1

Полученные данные в виде зависимости представлены на рисунке 3.9.

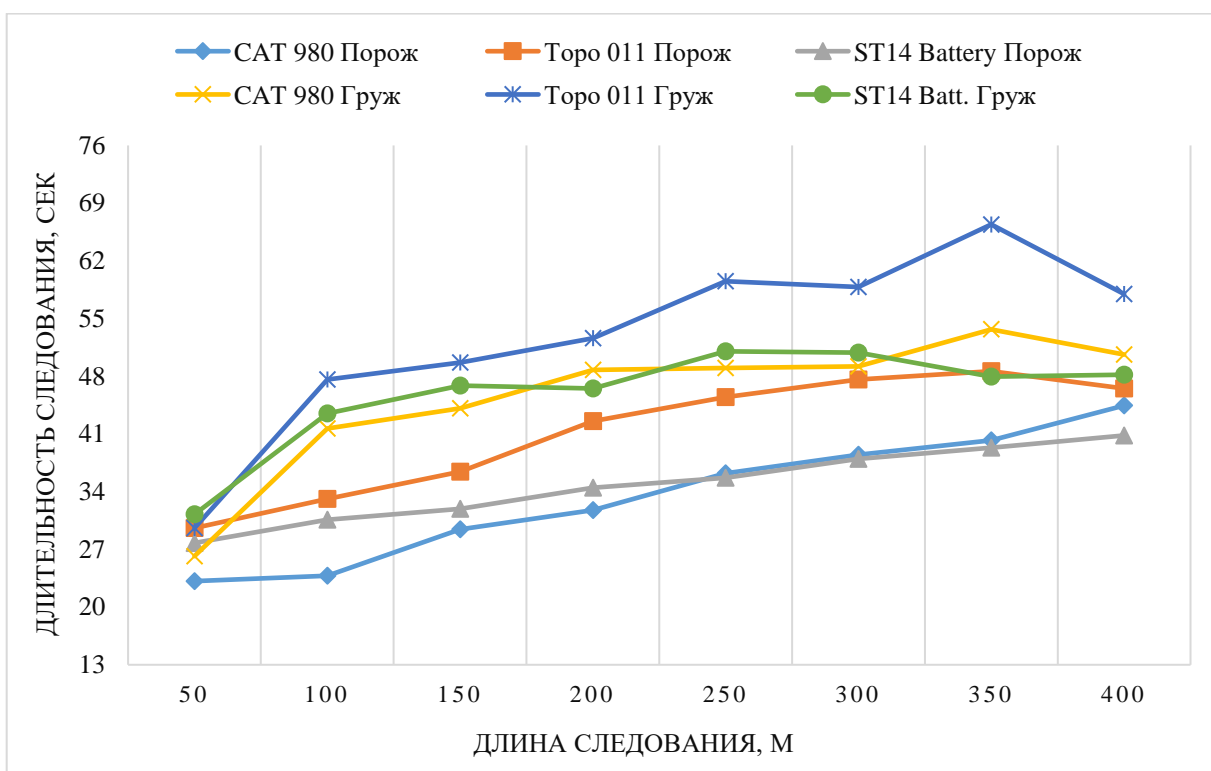


Рисунок 3.9 - Зависимость продолжительности следования погрузочно-доставочных машин в груженом и порожнем состоянии при различных длинах откатки

Данные рисунка 3.9 свидетельствуют, что при движении порожним ходом

- дизельный погрузчик CAT 980 наиболее эффективен при длинах откатки в диапазоне от 50-и до 200 метров;

- ЭПДМ незначительно уступает дизельному погрузчику и дольше преодолевает расстояния с 50-и до 200 метров, однако данная модель оснащена ковшем большего объема, и такое незначительное расхождение, возможно, нивелируется производительностью. Согласно экспериментальным данным, начиная с 250-и метров ST14 Battery - самое эффективное погрузочно-доставочное средство из всех представленных;

- дизельная ПДМ, ввиду своих габаритов и повышенной массы, значительно уступает в быстродействии двум другим погрузочно-доставочным машинам, поэтому, по результатам испытаний, является самой непроизводительной погрузочно-доставочной машиной.

Результаты испытаний техники в груженом состоянии показали, что

- дизельный погрузчик и аккумуляторная ПДМ оказались наиболее похожими в работе, но на более коротких дистанциях лидирует дизельный

погрузчик, тогда как начиная с 200 метров наращивает темпы эффективности Электро-ПДМ.

В целом проведенные опытно-промышленные испытания каждой погрузочно-доставочной машины, направленные на определение их эффективной длины транспортирования, позволяют сделать вывод, что если бы рудники Жезказганского месторождения не претерпевали изменения минерально-сырьевой базы с понижением содержания меди в руде, а также не стоял бы вопрос экологической безопасности и высоких штрафных санкций, то существующая транспортная схема и применяемые погрузчики не требовали бы замены. Однако Электро-ПДМ практически не уступает в эффективности дизельным погрузчикам, а при различных длинах транспортирования даже показала себя более производительной; но главное, что такие аккумуляторные ПДМ являются полностью экологичными при эксплуатации - это, безусловно, отвечает существующим требованиям (см.раздел 2.1). Что касается дизельной ПДМ, являющейся ключевым звеном альтернативной транспортной схемы, то она в 1,5 раза менее производительна, чем Электро-ПДМ, тем более на заявленной длине откатки в 300 метров. Исходя из вышеизложенного определено, что в части забоя производительности Электро-ПДМ является достаточно производительной и нередко более эффективной, чем дизельные погрузочно-доставочные машины.

Тем не менее зачастую сменная производительность зависит не только от маневренности погрузочно-доставочного комплекса и времени цикла, большое значение в этой структуре занимают непроизводительные простои, определение причинно-следственной связи которых легло в основу следующего, третьего этапа промышленных испытаний в условиях Южно-Жезказганского рудника.

Испытания третьего этапа базировались на проведении ряда хронометражных наблюдений, направленных на выявление простоев и непроизводительных затрат времени существующего погрузочно-транспортного комплекса Южно-Жезказганского рудника.

Актуальность проведения данных исследований связана с тем, что рост производительности погрузочно-доставочных работ при минимизации

материальных затрат возможен за счет оптимизации использования рабочего времени. Основной задачей оптимизации рабочего времени погрузочно-доставочных работ является выявление резервов для увеличения оперативного времени за счет снижения непроизводительных затрат времени. Поэтому для анализа эффективности эксплуатации дизельной техники, задействованной на погрузочно-доставочных работах, были проведены хронометражные наблюдения оперативных смен погрузчика CAT 980 и автосамосвала CAT AD 45. Полученные результаты представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Продолжительность операций CAT 980

№	Операция	Продолжительность	Доля от общего времени за смену, %
1	Погрузка в автосамосвал	2 часа 6 минут	26,3
2	Разбор негабарита, зачистка	2 часа 37 минута	41,9
3	Ожидание автосамосвала	51 минута	10,6
4	Переезды	26 минут	5,4

Известно, что длительность одной рабочей смены на Южно-Жезказганском руднике составляет 8 часов, или 480 минут. Кроме того, непосредственно погрузка первого ковша в автосамосвал начинается в среднем спустя 2-2,5 часа от начала рабочей смены, так как такое количество времени в среднем затрачивает машинист горной машины на подготовительные работы, прежде чем приступить непосредственно к погрузке или транспортировке руды. Соответственно, принимаем, что прямое рабочее время составляет 6 часов, или 360 минут, тогда как только 2 часа из них погрузчик совершает работу по погрузке руды в автосамосвал, а именно 140-150 ковшей. Разбор негабарита и зачистка почвы также занимает более 2 часов, а простои, связанные с ожиданием автосамосвала, достигают обычно 1,5 часов. Простои из-за ожидания связаны с тем, что автосамосвалу приходится преодолевать расстояние от забоя до ближайшего рудоспуска, равное 1850 метрам в одну сторону. Очевидно, что время следования автосамосвала ограничено из-за скорости не более 20 км/ч и передвижение горной машины происходит в сложных



дорожных условиях - по весьма извилистым горным выработкам, это значительно сказывается на маневренности машины и ее наборе стабильной скорости. Поэтому существующая транспортная схема убыточная и малоэффективная.

Проведенный ранее анализ подземного рудника и его технологических параметров (см. гл. 2) позволил определить, что длина откатки автосамосвалами, приблизительно равная 2 км, ведет к большим простоям, и проведенный эксперимент, основанный на ряде хронометражных наблюдений за работой шахтного автосамосвала CAT AD 45, результаты которого представлены в таблице 3.10, лишь подтвердил результаты теоретических исследований.

Таблица 3.10 - Продолжительность операций автосамосвала CAT AD 45

№	Операция	Продолжительность	Доля от общего времени за смену, %
1	Движение на погрузку в забой	2 часа 4 минуты	25,8
2	Стоянка под погрузкой	1 час 25 минут	17,7
3	Ожидание очереди погрузки	1 час 14 минут	15,4
4	Транспортировка горной массы до рудоспуска	1 час 48 минут	22,5
5	Выгрузка горной массы	15 минут	3,1

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при каждой рабочей 8-часовой смене автосамосвал тратит около 4 часов исключительно на передвижение от забоя и до рудоспуска, проходя при этом путь в 57 км за смену. Непосредственно под погрузкой автосамосвал находится не более 1,5 часов за смену, и примерно такое же время расходуется на простои, связанные с ожиданием очереди на погрузку. Очевидно, что существующая схема транспортирования горной массы автосамосвалом малоэффективна ввиду разросшейся сети горных выработок, удаленного от капитальных рудоспусков расположения добычных панелей и, как следствие, ввиду часовых простоев, которые свидетельствуют о том, что существующая схема не способна обеспечить рост производительности в условиях изменения минерально-сырьевой базы месторождения.

Четвертый этап проведения опытно-промышленных испытаний по определению эффективности применения существующей погрузочно-доставочной техники на балансе Южно-Жезказганского рудника базировался на анализе горной техники и специфике исполнения привода, который позволил провести

исследования, связанные с энергетическими и экономическими затратами на дизельные и электрические погрузочно-доставочные машины.

Согласно регламенту по техническому обслуживанию и ремонту ПДМ (рекомендованного заводом-изготовителем) разработана методика расчета затрат обслуживания дизельного и электрического оборудования за декларируемый десятилетний срок эксплуатации. В результате произведенных расчетов определено количество ремонтных нормативов, расходных материалов и жидкостей, необходимых для проведения конкретного вида технического обслуживания и ремонта погрузчиков.

Выполненный по результатам расчетов анализ технического обслуживания (ТО) и ремонтов (Р) дизельных и электрических ПДМ на примере CAT 980 и ST14 Battery позволил установить несомненное преимущество электрических машин перед дизельными аналогами в части эксплуатационных затрат. Результаты анализа представлены в табл.3.11.

Таблица 3.11 - Данные по регламенту на техническое обслуживание и ремонт ПДМ с дизельным и электрическим приводом

Техническое обслуживание (ТО), м/ч и ремонтов	Дизельный привод		Электрический привод	
	Стоимость ТО/ млн, руб			
ТО – 250	80	3,3	–	–
ТО – 500	40	3,3	40	2,1
ТО – 1000	20	5,1	20	2,9
ТО – 2000	10	2,64	10	2,3
ТО – 4000	10	3,6	10	3,2
Технический ремонт	9	9,6	9	7,2
Капитальный ремонт	1	4,9	1	3,5
<b>Итого</b>	<b>170</b>	<b>32,44</b>	<b>90</b>	<b>21,2</b>

Анализ таблицы 3.11 свидетельствует, что при переходе от дизельных средств доставки к электрическим погрузчикам частота проведения технического обслуживания и ремонтов сокращается в 1,9 раз, а финансовые затраты сокращаются в 1,5 раза.

Полученные результаты расчетов (рис. 3.10) свидетельствуют [129-130], что количество требуемого технического обслуживания и ремонта при переходе с дизельного погрузчика на электрический уменьшается в 1,8 раз за счет отсутствия

необходимости проведения обслуживания двигателя внутреннего сгорания (замены масла ДВС, масляных фильтров ДВС, топливных и воздушных фильтров). Очевидно, что сокращение количества технического обслуживания электрического погрузчика прямо пропорционально влияет на снижение экономических расходов.

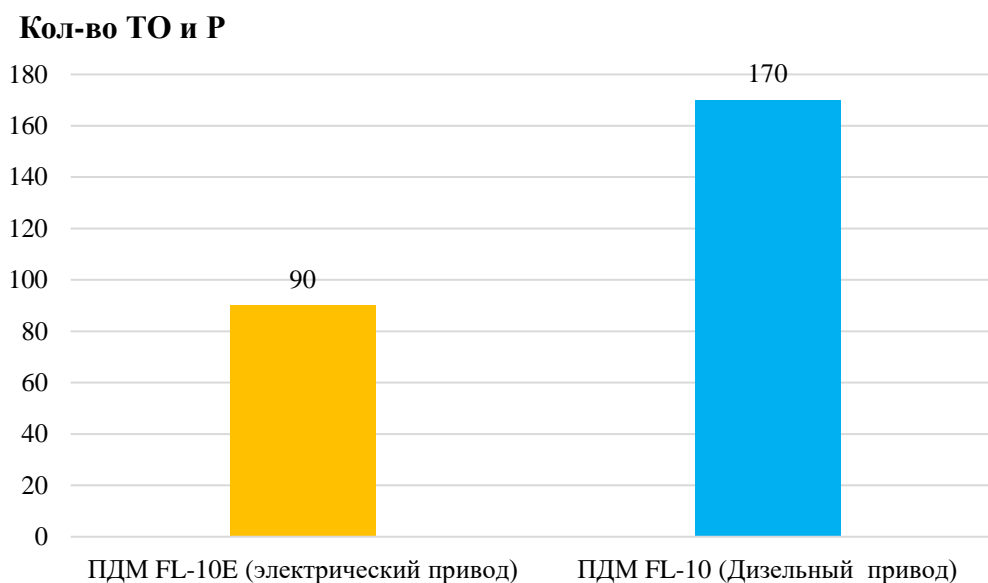


Рисунок 3.10 Гистограмма распределения необходимого количества проведения технического обслуживания, ремонта дизельных и электрических горных машин

Результаты расчета экономии затрат на материалы по техническому обслуживанию, ремонту дизельных и электрических горных машин представлены в виде гистограммы (рис. 3.11).

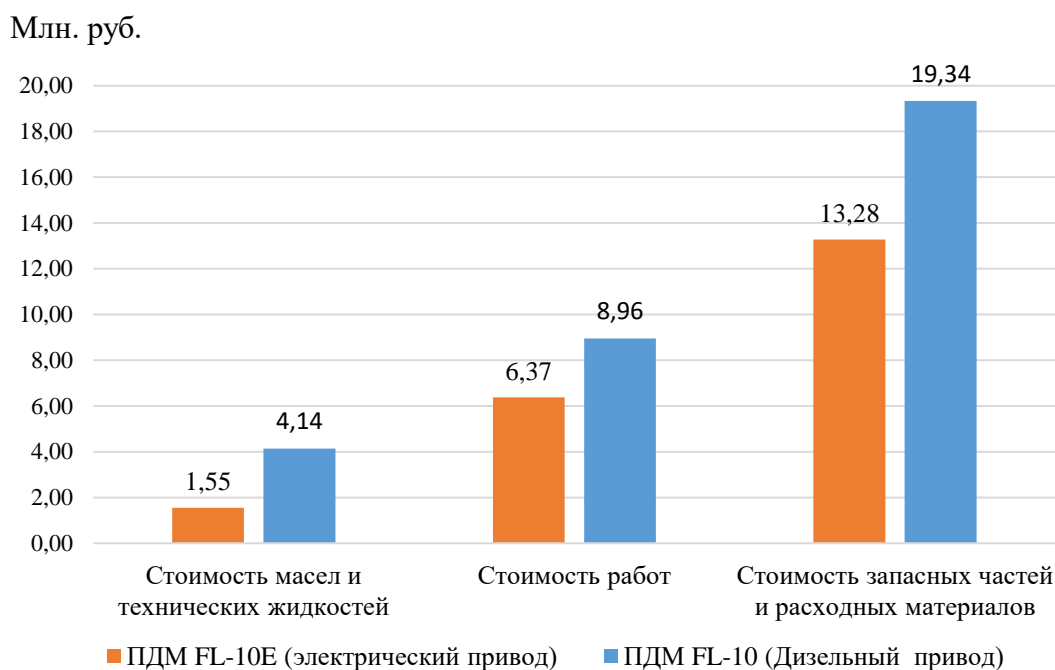


Рисунок 3.11 Гистограмма распределения затрат на материалы по техническому обслуживанию дизельных и электрических горных машин

Установлено, что количество необходимого для электрического погрузчика моторного масла и расходных материалов (масляных, топливных и воздушных фильтров ДВС), а следовательно, затраты на их приобретение сокращаются в 2,6 раза по сравнению с дизельным погрузчиком в виду особенностей и упрощенного принципа действия электрического привода. В сравнении с дизельным аналогом стоимость работ и расходных материалов для электрического погрузчика значительно сокращаются.

Представленные на графиках а) и б) данные (рис. 3.14) свидетельствуют, что стоимость проведения технического обслуживания электрического погрузчика, равно как и потребляемая им энергия в ходе эксплуатации значительно меньше, чем затраты при использовании дизельного погрузчика.

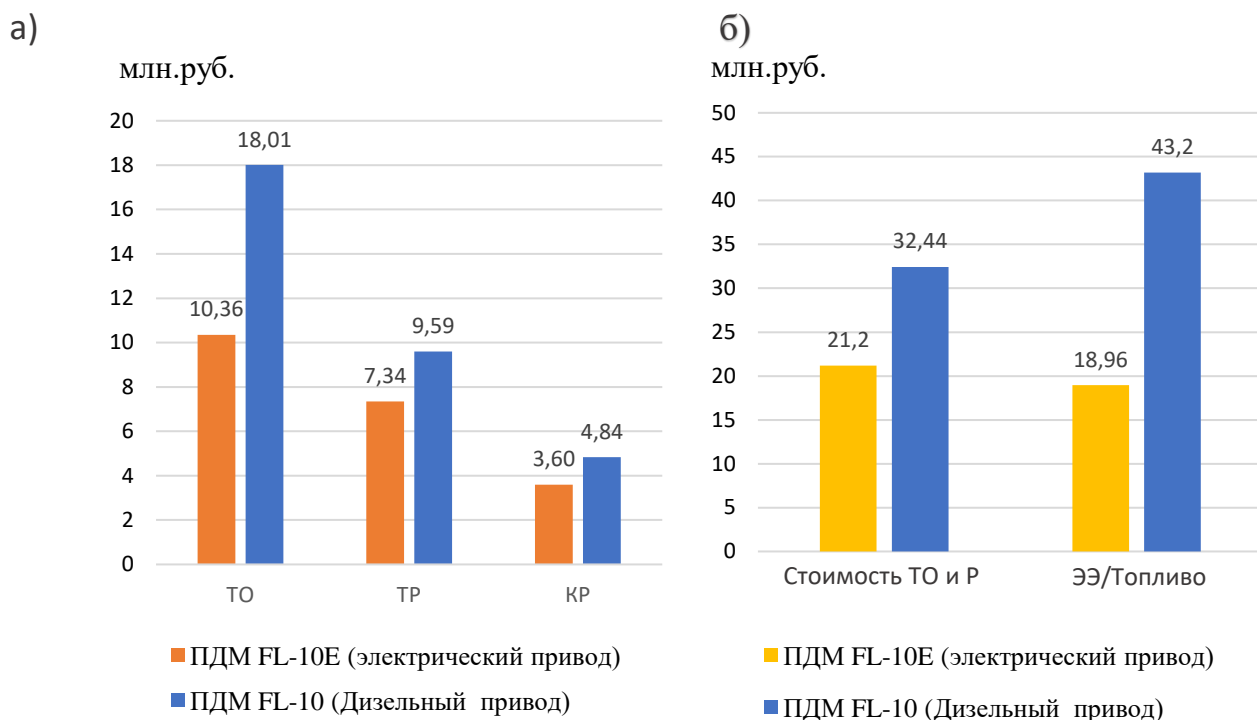


Рисунок 3.12 Гистограмма распределения затрат на проведение ТО, ТР и капитальных ремонтов (КР) (а) и на потребление энергоресурсов (б) дизельными и электрическими погрузчиками

Проведенными исследованиями доказано, что повышение производительности очистных забоев при работе погрузочно-доставочных машин на базе электрического привода с автономным источником питания достигается их повышенной, по сравнению с дизельными погрузчиками, маневренностью, возможностью увеличения скорости движения груженых и порожних ПДМ к участковым рудоспускам, кратным уменьшением простоев, а также увеличением оперативного времени работы погрузочно-транспортного комплекса подземного рудника за счет снижения продолжительности ремонтных смен.

Полученные при исследовании данные об особенностях технического обслуживания и ремонта самоходных горных машин свидетельствуют о несомненной экономической и энергетической эффективности перехода горных работ на электрические самоходные горные машины. Очевидно, что сокращение расходов электроэнергии и уменьшение экономических затрат при внедрении горного оборудования на базе электрического привода значительно повлияет на рентабельность горного производства и будет способствовать устойчивому развитию горных предприятий.

### **3.3. Результаты исследований изменяющихся параметров вспомогательных процессов при переходе с дизельных к электрическим погрузочно-доставочным средствам**

Наряду с вопросами повышения эффективности горнотранспортных комплексов и технического перевооружения горных предприятий в настоящей диссертационной работе в качестве приоритетных проблем рассматривались вопросы изменения параметров вспомогательных процессов горнотехнической системы и повышения энергоэффективности при переходе к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания. Научная и практическая значимость рассмотрения этих вопросов связана с тем, что переход к машинам, питающим ресурсом которых является электроэнергия, обязывает предприятия искать резервы по дополнительному энергообеспечению, тогда как в пересчете на мировые цены на энергоносители стоимость энергозатрат на добычу полезных ископаемых на некоторых месторождениях уже сейчас становится сопоставимой со стоимостью извлекаемых из недр минеральных ресурсов.

Достижение уменьшения расходов электроэнергии на вентиляцию за счет внедрения горного оборудования на базе электрического привода с заменой дизельного значительно повлияет на рентабельность горного производства. По данным мировых исследований (см. гл. 1) известно, что электродвигатель в рабочем режиме не выделяет в окружающую среду выхлопные газы дизельного топлива в любом агрегатном состоянии и при эксплуатации испускает лишь третью часть тепла, эквивалентного дизельному двигателю.

Несмотря на то что оборудование на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) наносит значительно больший вред окружающей среде, а переход к аккумуляторным машинам позволит не только полностью сократить выбросы выхлопных газов, но и уменьшить в разы количество подаваемого воздуха, а следовательно затраты электроэнергии на обеспечение шахтной вентиляции, сокращению выбросов и повышению энергоэффективности способствует ротация

дизельных горнотранспортных средств горным оборудованием, основанным на электрическом приводе, что способствует снижению потребления энергоресурсов до 40% от общего объема потребляемой мощности шахты.

На рис. 3.13 представлена структура затрат по статьям при подземной разработке Южно-Жезказганского месторождения при наличии и при отсутствии централизованных поставок электроэнергии.

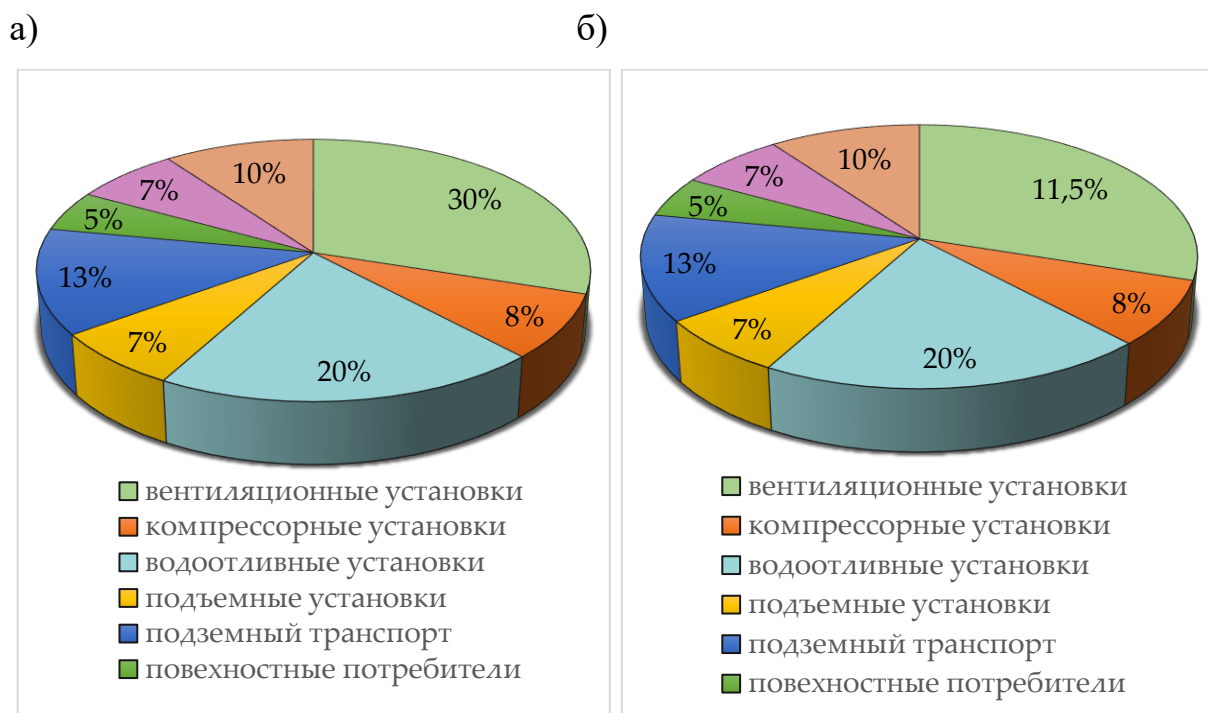


Рисунок 3.13 - Структура затрат электроэнергии по статьям на Южно-Жезказганском руднике: а – общее распределение электроэнергии и энергии на вентиляцию, в частности при эксплуатации дизельного оборудования; б - общее распределение электроэнергии и энергии на вентиляцию, в частности при вводе в эксплуатацию аккумуляторного оборудования

Приведенная на рис. 3.13 структура затрат свидетельствует, что при переходе подземного Южно-Жезказганского рудника к аккумуляторным погрузочно-доставочным машинам затраты электроэнергии окажутся существенно ниже, чем при эксплуатации дизельного оборудования. Так, на завершающей стадии отработки Жезказганского месторождений переход к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания позволил сократить затраты по статье вентиляция практически в 1,63 раза.

Сокращение выбросов отработанных газов с ДВС повлечет существенное снижение затрат на вентиляцию, которая является значимым энергоемким компонентом общего потребления электроэнергии рудника [131, 132,133, 116]. Экономическая и энергетическая эффективность обусловлены потенциалом снижения общего объема воздуха, что влияет на потребности в большем проветривании горных подземных пространств и в изменении требований к проектированию вентиляции горнотехнических систем.

С достаточной степенью достоверности, определение влияния выхлопных газов оборудования с ДВС на затраты электроэнергии в части проветривания рудника можно оценить по данным рис. 3.14. Эти данные получены путем анализа проектных решений более 50-и рудников, причем обязательным условием являлось отсутствие газового режима рудника.

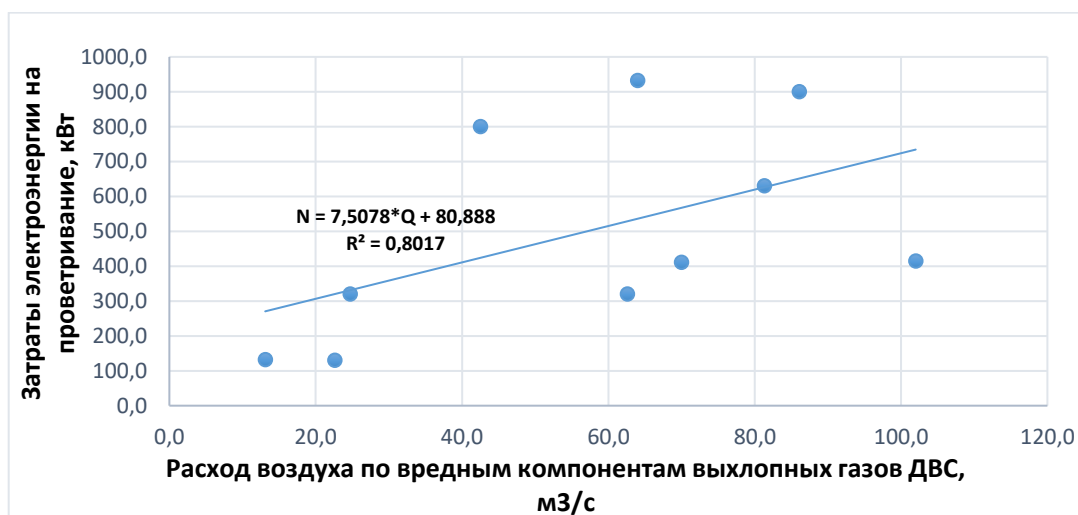


Рисунок 3.14 Влияние расхода воздуха по фактору разжижения газов ДВС на энергетические затраты рудника

Сравнительный анализ и сопоставление эффективности дизельного и электрического приводов является одним из главенствующих направлений выявления зависимостей параметров вентиляции подземных рудников, определяющих перспективу перехода от дизельного горного оборудования к электрическому. Представленная ниже зависимость соответствует принятым в практике горного проектирования принципам расчета мощности ГВУ:

$$N = \frac{h \cdot \Sigma Q}{\eta}, \text{ кВт} , \quad (3.1)$$



где  $N$  – мощность главной вентиляторной установки (ГВУ)/затраты электроэнергии на вентиляцию, кВт;  $h$  – общешахтная депрессия, Па;  $\Sigma Q$  – общешахтный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – КПД вентилятора главного проветривания.

Если условно разделить общешахтное потребление воздуха на две категории:

- потребители, оснащенные двигателями внутреннего сгорания (ДВС),

$$Q_{ДВС} = \Sigma Q \cdot k_{ДВС}, \text{ м}^3/\text{с} , \quad (3.2)$$

- и прочие потребители - получим

$$Q_{ПРОЧ.} = \Sigma Q \cdot (1 - k_{ДВС}), \text{ м}^3/\text{с} , \quad (3.3)$$

где  $k_{ДВС}$  – доля воздуха по фактору разжижения отработавших газов машин с ДВС от общего расхода воздуха.

Тогда на стадии предпроектных оценок замены горной техники с дизельным приводом на технику с электрическим приводом можно оценить затраты электроэнергии на проветривание следующим образом:

$$N = \frac{h \cdot \Sigma Q (1 - k_{ДВС} + K_{Эд})}{\eta}, \text{ кВт} , \quad (3.4)$$

где  $K_{Эд}$  – доля воздуха по фактору охлаждения воздуха в результате эмиссии тепла от двигателей машин с электрическим приводом от общего расхода воздуха.

Аналогичным образом на стадии сравнительной оценки определяется  $K_{Эд}$ . При переходе на электрический привод необходимо учитывать, что в условиях эксплуатации электрических горных машин появляются новые требования к рудничному воздуху.

Идентичная замена дизельного оборудования самоходными электрическими горными машинами позволяет провести расчеты в области определения количества воздуха, необходимого на проветривание горнотехнической системы в условиях применения электрического горного оборудования, и доли коэффициента  $K_{Эд}$  от общего потребления воздуха с возможностью численного сопоставления двух приводов.

Очевидно, что для каждого горнодобывающего предприятия расчет расхода воздуха по каждому фактору индивидуален, но на настоящем этапе исследований можно выявить тенденцию численного значения влияния расхода воздуха по

фактору ДВС в долях от общего расхода воздуха по руднику. Выполненный анализ рудников по видам полезных ископаемых показал, что  $K_{двс}$  варьируется, но всегда составляет значительную долю – от 0,3 до 0,95, – которую необходимо учитывать в технико-экономических расчетах.

Исследование параметров сети водоотлива и условий перехода с дизельного оборудования на электрическое с автономным источником питания показали, что для повышения энергоэффективности функционирования горнотехнических систем возможна компенсация потребляемой электроэнергии за счет внедрения внутрирудничных установок по воспроизводству энергии при освоении месторождений полезных ископаемых (см. разд. 2.3). Наиболее перспективным является преобразование энергии рудничных потоков, объем которых на подземных рудника весьма внушителен.

На основе вышеразработанной методики проведения работ были произведены измерения объемного расхода шахтной воды в перепускных скважинах №1, №2, №3. Измерительной тарой известного объема (90л) послужила пластиковая емкость, наполнение которой происходило поочередно из каждой скважины. Результаты измерений фактического расхода шахтной воды, пропущенной через микроГЭС, представлены в таблице 3.12.

По итогам замеров расхода гидросмеси установлено, что наиболее водоносными являются переточные скважины №3 и №1 (приблизительно одинаковый поток). Объем шахтной воды, протекающей через поперечное сечение переточной скважины №2, существенно меньше других скважин. Это объясняется наличием вертикального обхода отходящей выработки (рис.2.3). В данном случае водный поток скважины с гор. 650 м на гор. 700 м встречает гравитационное сопротивление в виде подъема приемного трубопровода для обхода выработки, что объясняет низкую скорость и ламинарное течение потока.

Монтирование гидротурбинной установки производилось в вертикальном положении приемного столба через дополнительный рукав, подсоединенный к трубопроводу через быстроразъемное соединение (рис.3.15).

Таблица 3.12 – Результаты измерения фактического расхода шахтной воды

Наименование скважины	Номер замера	Время заполнения емкости, с	Среднее время заполнения, с	Полученный фактический расход шахтной воды, л/с
Перепускная скважина №1 с гор. 650м. на 700м.	1	3,9	4,0	22,3
	2	4,0		
	3	4,2		
Перепускная скважина №2 с гор. 650м. на 700м.	1	15,2	14,9	6,0
	2	14,6		
	3	14,8		
Перепускная скважина №3 с гор. 650м. на 700м.	1	3,8	3,9	23,0
	2	4,1		
	3	3,7		

Монтирование гидротурбинной установки производилось в вертикальном положении приемного столба через дополнительный рукав, подсоединенный к трубопроводу через быстроразъемное соединение (рис.3.15).



Рисунок 3.15 – Смонтированная на трубопровод скважины № 3 гидротурбина в работе

Электротехнические характеристики генератора приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Электротехнические характеристики генератора

Характеристика	Значение
Номинальная мощность, Вт	1000
Напряжение, В	48
Номинальная скорость (об / мин)	380
Пусковой момент (Н / м)	1.5
Магниты тип	NdFeB, N35SH
Число пар полюсов	4
Вес (кг)	18
Общая длина, мм	315
Диаметр, мм	180
Диаметр вала, мм	30
Рабочая температура	-40 +60 °С

Нагрузочно-измерительную часть электрической схемы в ходе проведения испытания выполнял экспериментальный стенд, состоящий из трех трансформаторов напряжения, установленных пофазно и соединенных в звезду (Y); в качестве нагрузки использовались лампы накаливания номинальной мощностью 40 Вт (12шт.), соединенные последовательно через измерительные приборы (амперметры) и параллельно с вольтметрами (мультиметрами) (рис.3.16).



Рисунок 3.16 – Нагрузочно-измерительный стенд экспериментальной установки

Измерения электротехнических характеристик генератора проводилось согласно разработанной методике (см. разд. 2.3).

Анализ полученных результатов позволил разработать номограмму потенциала выработки электрической энергии, представленную на рисунке в зависимости от объема перепускаемого гидропотока шахтных вод и высоты напора (рис. 3.17).

Очевидно, что наиболее перспективно воспроизводство электроэнергии на подземных рудниках высокой обводненности, а область применения технологии энергоспроизводства должна определяться индивидуально при проектировании.

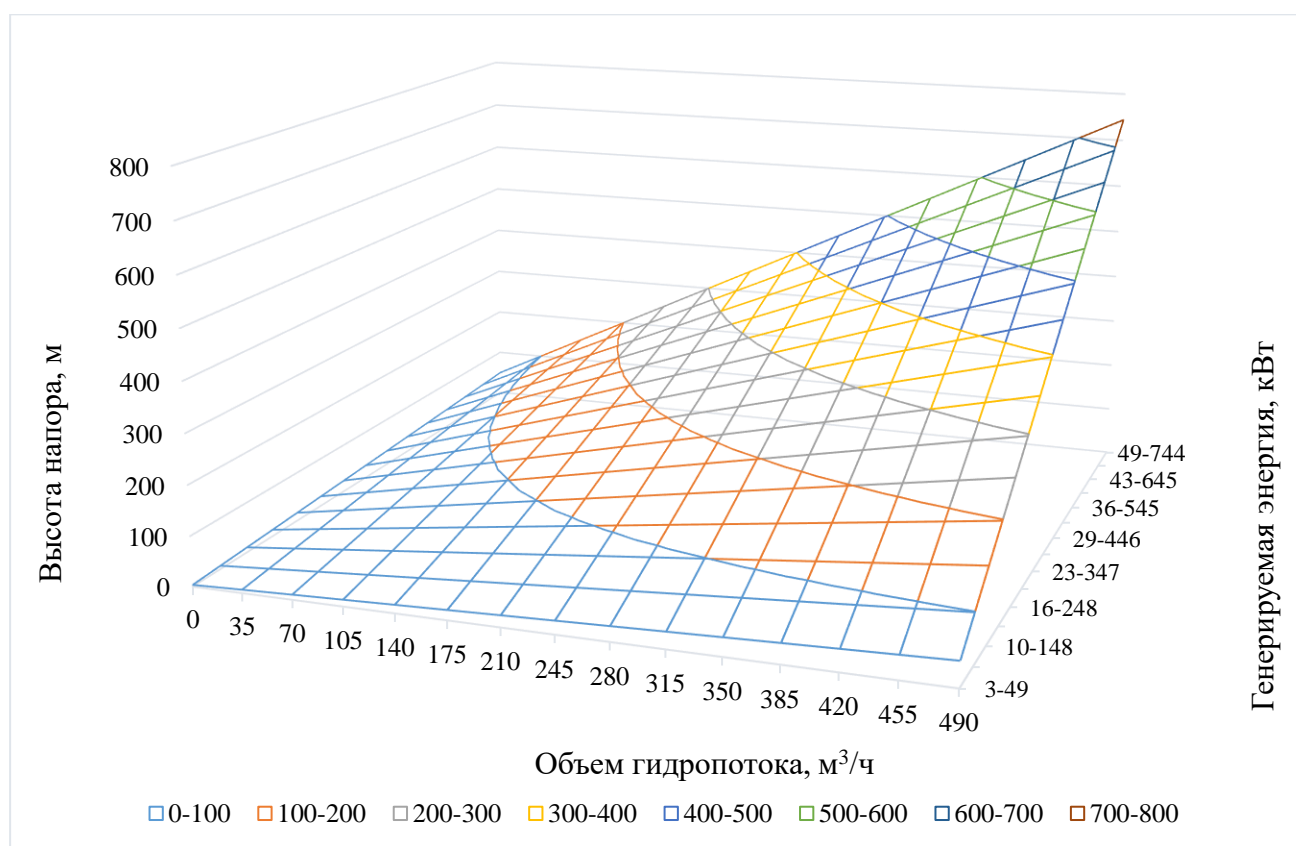


Рисунок 3.17 - Потенциал выработки электроэнергии по данным испытаний гидротурбины в условиях подземного рудника

Для оценки эффективности зарядки аккумуляторных ПДМ в условиях Южно-Жезказганского рудника проанализированы узлы и детали зарядных станций для ЭПДМ (рис. 3.18) и характеристики гидропотоков. Предоставленные в параграфе 1.1 данные о состоянии системы водоотлива и схема откачки вод на Южно-Жезказганском руднике (см. рис. 1.6) свидетельствуют, что в настоящий момент существуют две перепускные скважины - первая начинает перепуск на

горизонте 100 метров и высотой напора 70 метров и вторая скважина пробурена с горизонта 140 метров с высотой напора 110 метров. Обе скважины централизируются на горизонте 30-и метров с общим водопритоком 144 м<sup>3</sup> в час. Таким образом, исходя из номограммы можно предположить, что при размещении гидротурбинных установок у двух перепускных скважин на 30-ом горизонте возможно выработать энергию в размере 26,46 кВт, что весьма незначительно и для Южно-Жезказганского рудника малоперспективно (рис. 3.18).

Однако, для условий высокообводненных рудников при объеме гидропотока более 300 м<sup>3</sup>/ч, аккумулятор машины заряжается менее, чем за 5 часов.



Рисунок 3.18 - Существующая зарядная станция ЭПДМ на подземных рудниках Жезказганского месторождения

С учетом того, что предполагается не полная замена энергосети на возобновляемую энергию, а частичная компенсация, данное направление позволяет существенно сократить внешнее энергопотребление и повысить энергоэффективность горнотехнической системы.

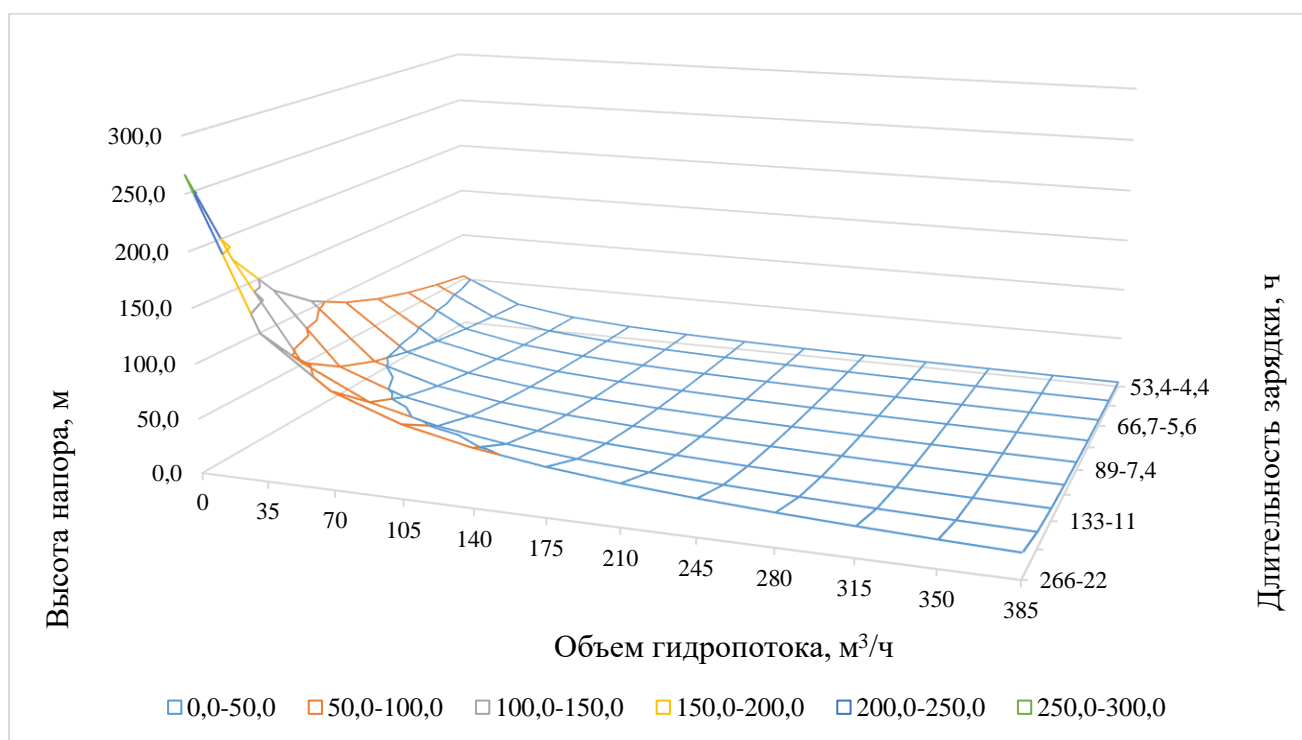


Рисунок 3.19 - Зависимость длительности зарядки аккумулятора ЭПДМ от высоты напора и объема перепускаемой воды

Анализ принципа зарядки аккумуляторов (см. рис. 3.19) показал, что для бесперебойной работы ЭПДМ в очистных забоях целесообразно заряжать машину не на зарядной станции, а специальной вспомогательной техникой, оснащенной подъемным механизмом, и непосредственно в призабойной зоне заменять разряженный аккумулятор на полный. При этом на зарядных станциях устанавливаются только аккумуляторы под зарядку. С учетом данного способа и перспективы энергоспроизводства на подземных рудниках по результатам диссертационного исследования предложен способ электропитания горных машин, представленный в виде принципиальной схемы на рис. 3.20 [134].

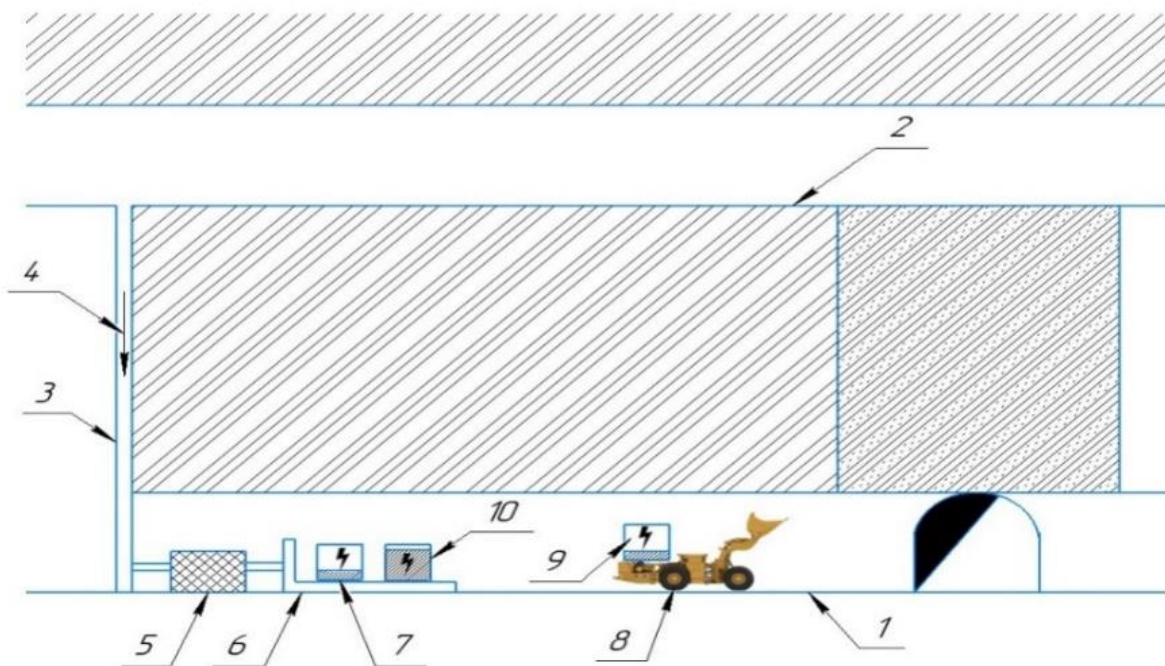


Рисунок 3.20 – Принцип размещения зарядных станций возле гидротурбинных установок, когда в качестве накопителя энергии используются автономные источники питания горных машин

Предложенная технология энергообеспечения [132] базируется на создании в условиях рудника локальных энергосистем, которые включают в себя использование возобновляемого источника энергии, получаемого путем улавливания энергии рудничных гидротоков с последующим преобразованием, накоплением и передачей полученной энергии для зарядки самоходных аккумуляторных машин и станций. Принципиально эти системы устроены следующим образом: на каждом вышележащем горизонте подземные воды собираются в водоотливных канавах горизонтальных выработок и перепускаются на нижний горизонт через специальные или восстающие скважины. Падающие самотеком шахтные гидротоки являются самостоятельным источником воспроизводства электроэнергии на руднике [135]. Возможность съема возобновляемой энергии определяется схемой расположения горных выработок, высотой перепуска и конструкцией шахтных гидротурбин. Далее кинетическая энергия, преобразованная в электрическую, используется для энергоснабжения зарядной станции горных машин. Выполненные исследования показали, что при применении горных машин с электрическим приводом зарядная станция может представлять собой батарею аккумуляторов горных машин, обслуживаемых



подъемным механизмом для оперативной замены отработавших аккумуляторов горной техники. Цикл преобразования энергии повторяется, что возможно ввиду циклического характера работы горных машин в условиях подземного рудника.

В целом доказано, что в условиях высоко обводненных подземных рудников внедрение систем энергообеспечения самоходных аккумуляторных машин с генерацией электрической энергии путем преобразования кинетической энергии гидротоков при перепуске шахтных вод между горизонтами позволяет повысить энергоэффективность горнотехнической системы.

Выполненные исследования, систематизация результатов позволяют определить последовательность выбора рациональной экологически-сбалансированной технологической схемы подземного рудника на основе оценки параметров основных и вспомогательных технологических процессов при переходе к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания:

- оценка состояния перспективной минерально-сырьевой базы и требований по увеличению производственной мощности рудника;
- оценка увеличения количества добычных забоев;
- оценка производительности погрузочно-транспортного оборудования при увеличении количества забоев;
- оценка нагрузки на существующую транспортную схему рудника, включая простои;
- выявление «узких мест» применяемой транспортной схемы;
- оценка нагрузки на вентиляционную систему;
- оценка нагрузки на энергосистему рудника;
- оценка дополнительных капитальных затрат во взаимосвязи с перспективной минерально-сырьевой базой;
- оценка себестоимости добычи руды и получения единицы товарной продукции (в условиях Южно-Жезказганского рудника и Корпорации Казахмыс – катодной меди).

Разработанный алгоритм позволяет выбрать рациональную экологически-сбалансированную технологическую схему рудника.

### **Выводы по 3 главе:**

1. Установлено по данным опытно-промышленных испытаний в условиях ограничения скоростей движения груженых и порожних ПДМ 20 км/ч с увеличением длины откатки, что, несмотря на большую техническую производительность применяемых ПДМ TORO 0011, суточная производительность Epiroc ST14 Battery при длине доставки 250 м сопоставима с производительностью большегрузной TORO 0011, а эффективная длина откатки составляет 250-300 м. Определено, что возможность принятия отступлений от требований промышленной безопасности к максимально допустимой скорости движения средства доставки влечет повышение производительности ЭПДМ, которая характеризуется большими скоростями, чем дизельные аналоги на тех же передачах. При этом эффективная длина откатки увеличивается согласно возможностям горной машины с электрическим приводом.

2. В ходе опытно-промышленных испытаний рабочих характеристик погрузчика и ПДМ с различными приводами определено, что самым эффективным и быстро действенным доставочным средством из трех испытуемых является ЭПДМ при объеме ковша 6,2 м<sup>3</sup>. А испытание дизельного погрузчика при условии существующей транспортной схемы на погрузке горной массы в автосамосвалы с емкостью ковша 5,6 м<sup>3</sup> показало, что погрузчик обеспечивает техническую производительность, сопоставимую с производительностью ДПДМ TORO 0011 с большой емкостью ковша. Данные испытаний показали, что наименее эффективным погрузочно-доставочным средством для существующей транспортной схемы при длине откатки, не превышающей 50-100 метров, оказалась дизельная ПДМ, которая оснащена самым большим по объему ковшом, но при этом значительно уступает по производительности ЭПДМ и дизельному погрузчику.

3. 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 ремонта ниже в 1,4 раза. Время технического обслуживания сравниваемых средств доставки сопоставимо, но ввиду меньшего количества узлов и деталей машин обслуживание ЭПДМ характеризуется меньшей стоимостью.

4. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при существующей технологической схеме в каждую рабочую 8-часовую смену автосамосвал тратит около 4 часов исключительно на передвижение от забоя и до рудоспуска, проходя при этом путь в 57 км за смену. Непосредственно под погрузкой автосамосвал находится не более 1,5 часов за смену, и примерно такое же время расходуется на простои, связанные с ожиданием очереди на погрузку. Очевидно, что существующая схема транспортирования горной массы автосамосвалом малоэффективна ввиду разросшейся сети горных выработок, удаленного расположения добычных панелей от капитальных рудоспусков и, как следствие, часовых простоев, которые свидетельствуют о том, что существующая схема не способна обеспечить рост производительности в условиях изменения минерально-сырьевой базы месторождения. Доказана необходимость изыскания варианта отказа от дизельных автосамосвалов с полным переходом на конвейерное транспортирование рудной массы.

5. Анализ полученных экспериментальных данных, приложенных к условиям альтернативной схемы показал, что доставка рудной массы ПДМ до участковых рудоспусков, расположенных на оптимальном расстоянии 250-300 м, 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. Причем определено, что замена ДПДМ на ЭПДМ низкоэффективна, несмотря на доказанную большую маневренность и отсутствие разжижения воздуха в панелях по фактору отработавших газов, так как простои автосамосвалов столь же велики.

6. Проведенные в руднике опытно-промышленные испытания позволили получить зависимости генерируемой шахтной гидротурбиной мощности от объема гидропотока и высоты перепуска между шахтными горизонтами. Для энергообеспечения зарядных станций машин с автономным источником питания перед вводом в эксплуатацию нового горизонта целесообразно на высокообводненных рудниках обустроить перепуск шахтного гидропотока с установкой гидротурбины для получения электроэнергии. Накопление электроэнергии, выработанной с использованием гидротурбины, производят непосредственно в разряженном аккумуляторе горной машины с электрическим приводом. В результате, места генерации энергии и питания аккумулятирующих станций совмещаются в единую энергетическую систему, что позволит обеспечивать бесперебойное электроснабжение зарядных станций, частично компенсировать внешнее энергопотребление рудника.

#### **4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПЕРЕХОДУ «ЮЖНО-ЖЕЗКАЗГАНСКОГО» РУДНИКА К САМОХОДНОМУ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

##### **4.1. Выбор технологической схемы Южно-Жезказганского рудника при переходе к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания**

Для Жезказганского региона восполнение сырьевой базы – важнейшая технико-экономическая задача, т.к. сокращение объемов производства неизбежно приведет к потере рабочих мест и росту социальной напряженности в регионе. Вовлечение в добычу всех видов запасов подземного «Южно-Жезказганского» рудника позволит продлить срок эксплуатации рудника с уровнем производства, достигнутым к 2014 году, на 46 лет (до 2058 года). При этом содержание меди в товарной руде составит 0,46%.

Научно-исследовательские изыскания по разработке эффективных технологий добычи и переработки вышеуказанных запасов, представленные в главах 2-3 настоящей диссертации, показали, что перспективная стратегия освоения Жезказганского месторождения на современном этапе развития горных работ должна базироваться не на решении сиюминутных потребностей предприятия, а на проектировании устойчивой экологически сбалансированной горно-технической системы, обеспечивающей эффективную добычу и переработку всех оставшихся природных и техногенных минеральных ресурсов. В основе этой горнотехнической системы должен лежать полный цикл комплексного освоения недр, который предусматривает не только добычу и обогащение руд, но и глубокую переработку физико-химическими геотехнологиями ранее некондиционного природного и техногенного сырья (некондиционных руд, складированных до настоящего времени в отвалах; отходов обогащения и др.) с обязательной

утилизацией всех вновь образующихся отходов в выработанных пространствах карьеров и подземных рудников.

Проектирование геотехнологий, основанное на принципах устойчивого развития, предусматривает обеспечение экономичности, технологичности, ресурсосбережения и поддержания экологической и социальной стабильности в регионе функционирования градообразующего предприятия. В соответствии с этим проектирование, формирование и функционирование горнотехнических систем на принципах устойчивого развития в течение всего жизненного цикла должно базироваться на следующих критериях:

- минимизация или исключение выделения опасных или загрязняющих веществ в атмосферу в результате работы дизельного горного оборудования;
- обеспечение многофункциональности системы и (или) многократности ее эксплуатации на осваиваемом участке недр с приданием георесурсам новых полезных качеств;
- достижение экономической эффективности на протяжении всего жизненного цикла с экономическими показателями.

С учетом проведенных теоретических и экспериментальных исследований очевидно, что существующая и альтернативная схемы транспортирования недостаточно эффективны ввиду того, что дизельный погрузчик безусловно высоко эффективен при длине откатки в 50 метров, но не применим при откатке в участковые рудоспуски. Альтернативная схема является более производительной, но не позволяет полностью отказаться от дизельных автосамосвалов, реализуя лишь частичное транспортирование горной массы конвейерами. Поэтому для обоснования экологически сбалансированной технологической схемы рудника необходим поиск решения с полным переходом на электрические средства доставки и транспортирования добываемого сырья.

Новая принципиальная схема транспортировки руды для подземных рудников Жезказганского месторождения, в частности для Южно-Жезказганского рудника, представлена на рисунке 4.1.

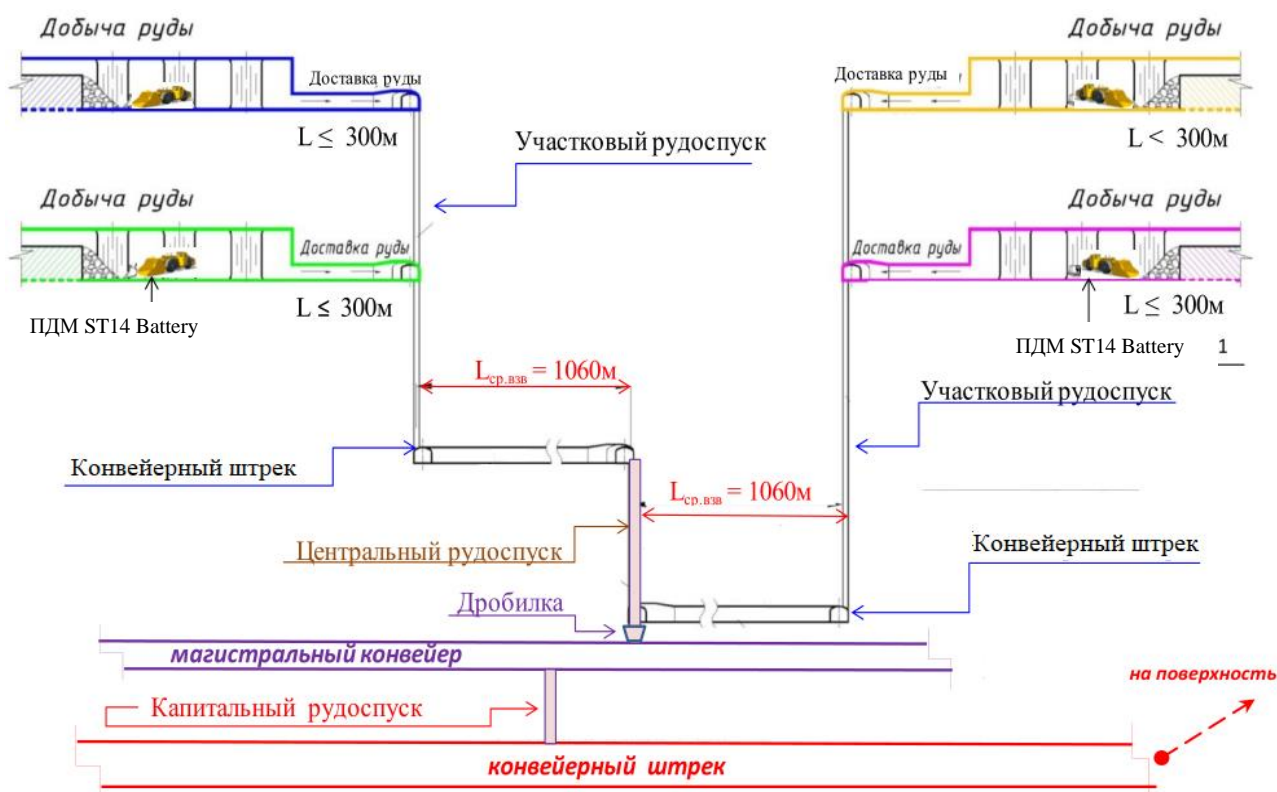


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема транспортировки руды для подземных рудников Жезказганского месторождения

Согласно рисунку 4.1, предложенная новая экологически сбалансированная транспортная схема, базирующаяся на существующих технических параметрах Южно-Жезказганского рудника, состоянии минерально-сырьевой базы, а также ограничениях, влияющих на дальнейшие сроки эксплуатации месторождения медных руд и схему вскрытия, предусматривает следующий порядок выполнения погрузочно-транспортных работ на шахте.

Рассмотрение транспортной системы на Южно-Жезказганском руднике, а также порядок погрузочно-доставочных работ определил, что непосредственная подача самосвала к добычному забою увеличивает число простоев горной техники ввиду разминок горного оборудования в условиях панели и ожидания очередей на погрузку отбитой руды погрузчиком. Поэтому, совмещенные доставка и откатка отбитой рудной массы из рабочих забоев осуществляется самоходным погрузочно-доставочным оборудованием на базе электрического привода с автономным источником питания ST 14 Battery марки Epiroc к местам расположения участковых рудоспусков. При этом, ЭПДМ проходит расстояние, равное 300 м и как было

подтверждено опытно-промышленными испытаниями, такая длина откатки является наиболее эффективной.

Руда, доставленная до участковых рудоспусков каждого из горизонтов разгружается в них и дозируется через бункер-питатель на участковые конвейеры, которые состоят из секционных конвейерных линий, общей протяженностью 3800 м (соответствует удаленным залежам перспективных забалансовых запасов), и пяти секций, общей протяженностью 1810 м (соответствует залежам, отрабатываемым в настоящее время). Рудная масса, поступившая на участковые ленточные конвейерные установки с шириной ленты 500 мм (определяется, исходя из размера максимального куска 250 мм), доставляется к центральному рудоспуску, который обеспечивает дробление и дозирование рудной массы на магистральный конвейер. Перед загрузкой на конвейер руда дробится участковыми дробилками типа «Nordberg NW 100 UG S/N 75610», расположенными под рудоспусками и поступает на магистральный конвейер с последующей транспортировкой до капитального рудоспуска и подачей горной массы на поверхность. Капитальный конвейерный штрек, объединяющий все подземные рудники Жезказганского месторождения, сбит с капитальным конвейерным уклоном, по которому объединенный рудопоток выдается на поверхность.

Расчетное планируемое время проходки и оснащения новой транспортной схемы составляет 4 года. Новые технологические решения приняты, ввиду меньших затрат на приобретение конвейерных установок по сравнению с приобретением автосамосвалов, проходкой выработок большого сечения и постоянных ремонтных работ для поддержания существующей рельсовой откатки и скипового подъема. Действительно, немаловажным фактором является то, что к планируемым в отработку забалансовым запасам не пройдены горные выработки, а следовательно, при существующей транспортной схеме, где ключевым звеном являются автосамосвалы, для работы которых необходимо проходить выработки с сечением не менее 23 м<sup>2</sup>, а для разжижения выхлопных газов требуется проводить дополнительные вентиляционные рукава, которые потребуют еще большего сечения. Такие капитальные затраты значительно повлияют на себестоимость



катодной меди. Тогда как ЭПДМ и конвейерные установки не требуют дополнительного проветривания, а сечения новых горных выработок при эксплуатации данного типа погрузочно-транспортного оборудования будет составлять не более 18 м<sup>2</sup>.

Таким образом, новая технологическая схема предусматривает

- отказ от откатки руды автосамосвалами с каждой панели ( $L_{CP} = 1500\text{м}$ ) к капитальным рудоспускам по протяженным дорогам с тяжелыми условиями эксплуатации, имеющими многочисленные повороты и сложный профиль, с применением дорогостоящих подземных самосвалов зарубежного производства TORO-50+;
- рациональное размещение участковых рудоспусков с длиной откатки  $L \leq 300\text{м}$  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;
- организация транспортировки руды конвейерными установками по горизонтальным прямолинейным транспортным выработкам с длиной откатки  $L \leq 1060\text{м}$  до капитальных рудоспусков с применением конвейеров;
- увеличение скорости движения ЭПДМ с 10 км/ч до 20-25 км/час.

Новая технологическая схема исключает применение

- самосвалов,
- рельсового транспорта концентрационного горизонта,
- скиповой подъем.

Отказ от представленного выше технологического оборудования обусловлен тем, что с начала эксплуатации Южного рудника в связи с понижением горных работ происходит постоянное увеличение дальности откатки руды дизельным транспортом от рабочих панелей до рудоспусков и, как следствие, постоянный рост капитальных и эксплуатационных затрат на дизельный транспорт. А так как ж/д-транспорт и скиповой подъем Южного рудника морально и физически устарели и являются основными источниками крупных аварий, ж/д транспорт и скиповой подъем

регулярно приводят к длительным простоям рудника, то отказ от этого технологического звена и его замена на магистральный конвейер только лишь повысить эффективность горнотехнической системы. Существующий на руднике скользящий режим работы не позволяет проводить профилактический и капитальный ремонт в полном объеме.

Однако необходимо также оценить производительность всех трех транспортных схем, ввиду того что в ближайшее время в отработку будут вовлечены забалансовые запасы, охранный и ленточные целики и запасы, ранее списанные в потери. Следовательно, объемы перевозимой горной массы будут увеличены, и транспортная система должна отвечать этим требованиям.

Результаты проведенной оценки производительности трех транспортных схем - существующей, альтернативной и экологической - базируется на представленной секторной разбивке эксплуатационной производительности за сутки по методике, представленной в гл. 2.

Таблица 4.1 - Сравнительная оценка производительности погрузочно-транспортных комплексов существующей, альтернативной и экологически сбалансированной технологических схем

Технологическая схема погрузочно-доставочных работ	Оборудование	Среднее время за один цикл	Среднее время простоев за смену	Время подготовительных работ	Проектная длина откатки, м	Время следования при проектных длинах откатки	Время обслуживания и ремонта	Производительность	Годовая производительность, тонн
Принятая	Погрузчик САТ 980	1 мин 34,5 сек	24-30 минут	2 часа 26 минут	50 м	13 сек	6 часов +30-60 минут на внешний ремонт	1560 тонн	6406000 тонн
	Автосамосвал САТ AD45	22 минуты 53 сек	85 минут	2 часа 11 минут	1800 м	От 13 до 40 минут	6 часов + 30-60 минут на внешний ремонт	1170 тонн	

Альтернативная	ПДМ TORO 011	5 мин уты	30 мин ут	2 часа 26 минут	300 м	3 мину ты	6 часов	1870 тонн	7212400 тонн
	Shaanxi 35	6 мин ут 17 сек унд	45 мин ут	2 часа 11 минут	832 м	5 мину т 16 секун д	6 часов	1520 тонн	
Экологическая	ST 14 Battery	3 мин уты	30 мин ут	2 часа 26 минут	300 м	1 мину та 36 секун д	4 часа	2672 тонн	7924 880 тонн
	Конвейер								

Транспортные элементы логистической системы рудника характеризуются интенсивным динамичным ростом затрат в ходе эксплуатации Жезказганского месторождения. В связи с понижением горных работ происходит постоянное увеличение дальности откатки руды дизельным автотранспортом до рудоспусков (рис.4.2) и, как следствие, увеличение капитальных и эксплуатационных затрат. Значительная часть запасов обрабатывается также ниже концентрационных горизонтов в связи с несвоевременной проходкой выработок вскрывающих горизонтов.

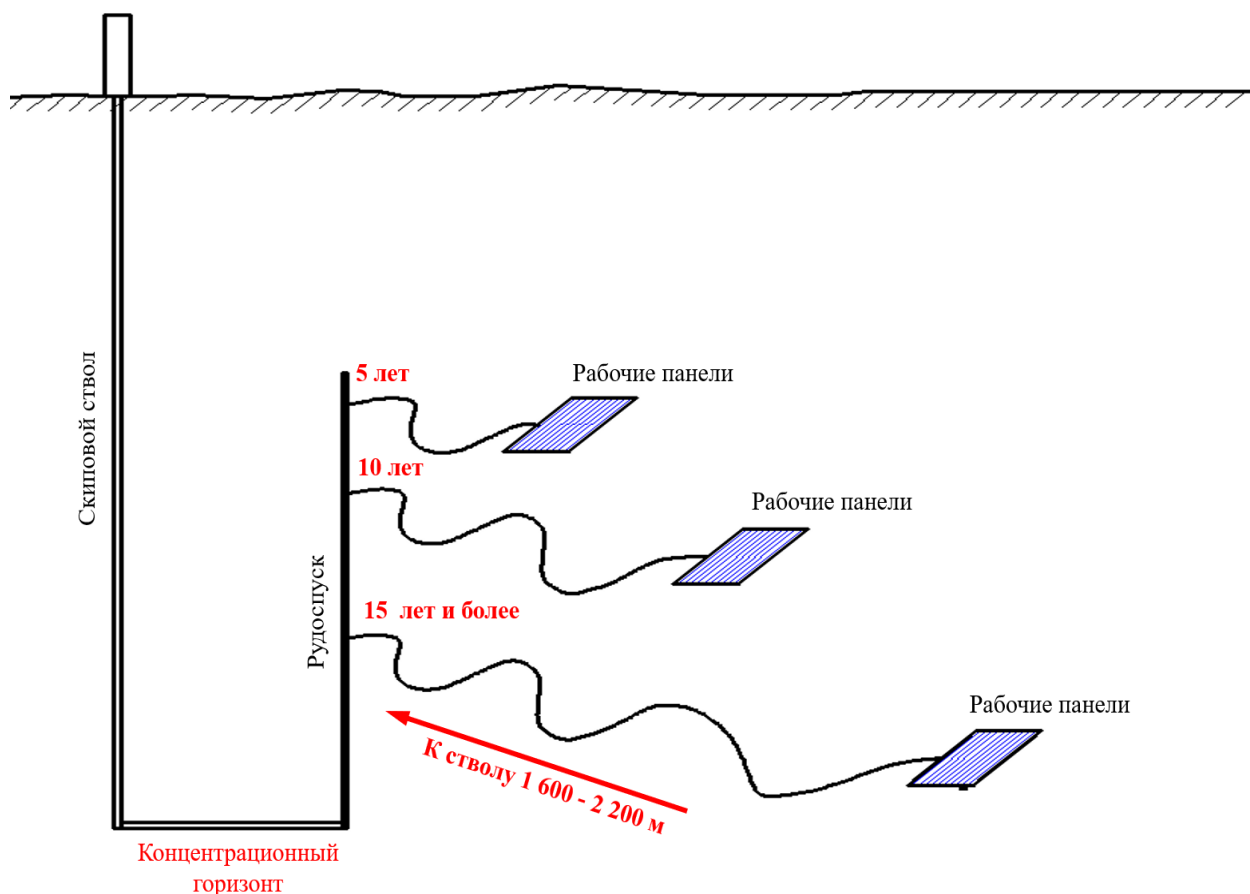


Рисунок 4.2 – К иллюстрации динамического увеличения расстояния откатки в зависимости от срока эксплуатации рудника

Формирование единой транспортной схемы базируется на определенном оптимальном расположении участковых рудоспусков в местах наибольшего скопления добычных панелей на расстоянии от эксплуатационных блоков, не превышающем 300 м. В соответствии с этим принципом по совмещенным планам залежей, охватывающим все 180 перспективных залежей Южно-Жезказганского рудника, разработана схема рационального размещения рудоспусков (рис. 4.3).

Представленный на рисунке 4.3 принцип определения места заложения участковых и центральных рудоспусков передачей основной транспортной нагрузки на более экономичный магистральный конвейерный транспорт освобождает минимальное среднее расстояние перемещения руды от эксплуатационного забоя ПДМ и минимальное расстояние транспортирования рудной массы к капитальному штреку до рудоспуска.

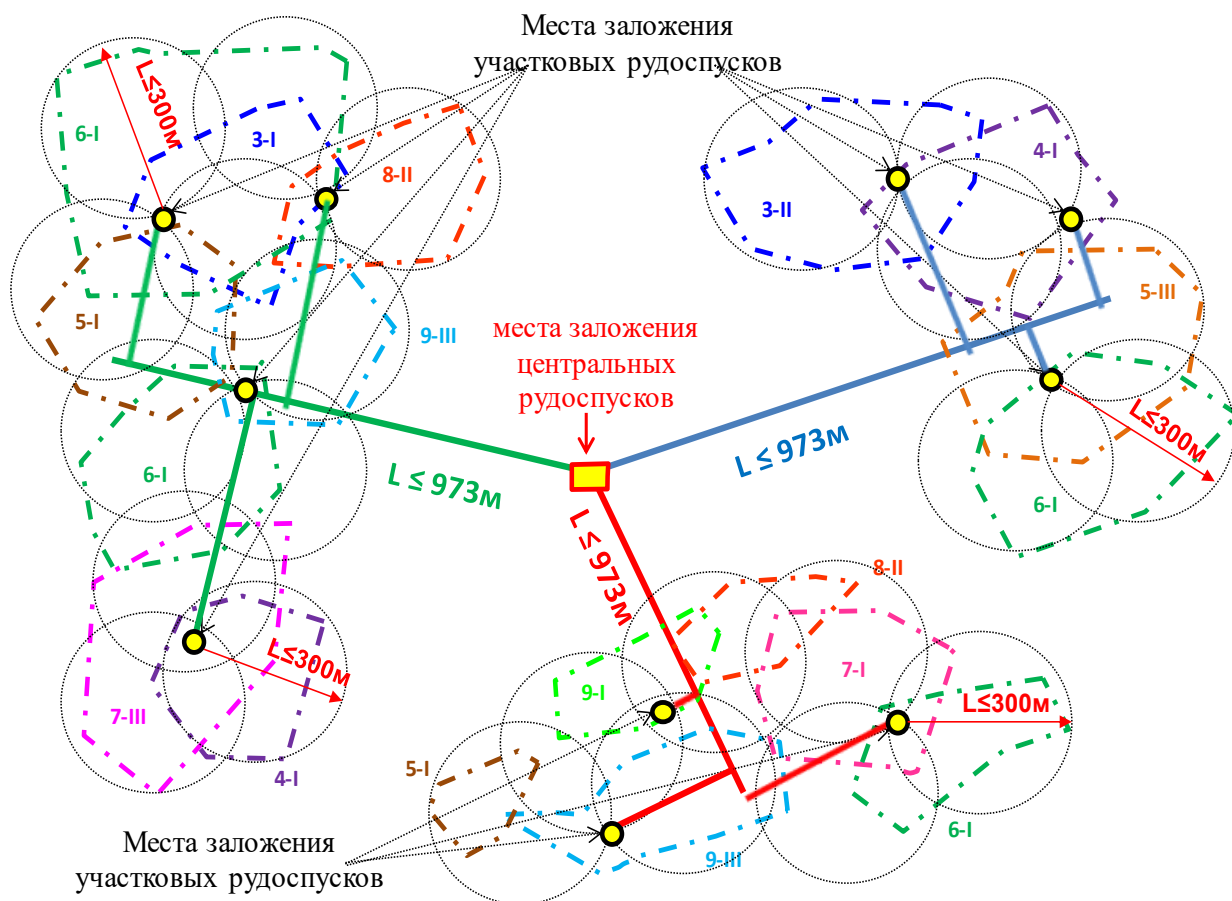


Рисунок 4.3 - Принципиальная схема выбора расположения участковых и центральных рудоспусков по предлагаемой транспортной схеме

По схеме расположения участковых рудоспусков определяются места расположения транспортных штреков и место заложения центральных рудоспусков, и их количество. Затем графически устанавливается месторасположение магистральных конвейерных штреков, уклонов и капитальных рудоспусков. По расположению капитальных рудоспусков определяется месторасположение главного конвейерного уклона.

Таким образом, создание экологически сбалансированной технологической схемы рудника в условиях изменения минерально-сырьевой базы и перехода на глубокие горизонты с вовлечением в эксплуатацию бедных руд из зон обрушения при полном отказе от дизельного оборудования и при применении только высокоэффективных ЭПДМ обеспечит требуемую производительность погрузочно-транспортного комплекса, сократит эксплуатационные расходы,

позволит увеличить производительность рудника в 1,25 раз, а также снизит эксплуатационные и капитальные затраты в целом.

#### **4.2. Оценка инвестиционных вложений для реализации рекомендаций**

В соответствии с разработанной экологически сбалансированной транспортной схемой для условий Южно-Жезказганского рудника, основанной на переходе к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания, проведен укрупненный технико-экономический анализ предлагаемых технологических рекомендаций. Очевидно, что детальная экономическая оценка должна быть реализована в рамках предпроектной проработки предлагаемого варианта.

Для рентабельной добычи и переработки всех видов запасов Южного рудника разработаны предварительные проектные решения по снижению себестоимости выпуска катодной меди, включающие разработку новых технологий и внедрению новой транспортной схемы.

Для разработанной новой транспортной схемы откатки горной массы с забоя необходимо оценить капитальные и эксплуатационные затраты на основе параметров, необходимых для ее функционирования. Так, строительство экологически сбалансированной транспортной схемы предусматривает

- ✓ проходку и оснащение двух конвейерных штреков (Западный и Восточный) общей протяженностью 26 км,
- ✓ проходку и оснащение участковых конвейерных штреков (L=1060м) и рудоспусков,
- ✓ внедрение самоходного погрузочно-доставочного оборудования на базе электрического привода с автономным источником питания.

Новая экологически сбалансированная транспортная схема позволит сформировать единый концентрационный горизонт Южно-Жезказганского рудника с объединением со всеми действующими подземными рудниками

(Восточный, Западный, Южный, Степной, Анненский), исключит транспортировку руды дизельным транспортом, сократит расстояние транспортирования и существенно снизит затраты на внутришахтный транспорт (см. раздел 2.1).

Физические объёмы и оценочные капитальные затраты на приобретение оборудования и горно-капитальные работы по строительству новой транспортной схемы Южно-Жезказганского рудника сведены в таблицы 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 - Затраты на горно-капитальные работы по ЮЖР

№ п/п	Наименование объёмов	Уд. капитальные затраты, \$/м <sup>3</sup>	S, м <sup>2</sup>	Южный рудник
				Сумма, руб
2	Горно-капитальные работы (ГКР)			1 000 260 000
2.1	Конвейерные штреки	55,09	28,3	614 400 000
2.2	Транспортные штреки	57,93	18,6	556 880 000
2.3	Рудоспуски h>100м	41,73	7,1	14 160 000
2.4	Рудоспуски h<100м	117,11	7,1	20 880 000

Затраты на приобретение рудникам Жезказганского месторождения, в том числе Южному руднику, конвейеров (20,6 км) распределены с 2022 по 2047 гг (25лет) пропорционально объёмам выпуска катодной меди.

Стоимость 1 п.м. конвейера принята по среднестатистическим ценам и сформированы исходя из предложений поставщиков и производителей ленточных конвейеров. Помимо проведения дополнительных горных работ, для реализации разработанных схем требуются горно-капитальные затраты на приобретение оборудования, на проходку новых выработок (табл.4.3).

Таблица 4.3 - Затраты на приобретение оборудования, общие по ЮЖР

№ п/п	Наименование оборудования	Цена, тыс.\$	Количество	в т. ч. Южный рудник
				Сумма, руб
1	ТПМК (тоннеле- проходческий механизированный комплекс)	46,347	2 шт.	1 346 940 000
2	Буровой станок RBR 400VF, d=3,0м (вертикальное бурение)	8,332	1 шт.	110 580 000
3	Главный конвейер	5,000	20 600 м	1 563 360 000
4	Участковые конвейеры ЮЖР	вставить	3 шт	100 164 000
5	магистральные конвейеры ЮЖР	5,000	5 210м	1 563 000 000
Итого				4 684 044 000

Затраты на горно-капитальные работы по рудникам распределены согласно объёмам проходки транспортных штреков. Удельные капитальные затраты для Южно-Жезказганского рудника на проходку рудоспусков с сечением 7,1 м<sup>2</sup> при объеме проходки 5 645 м<sup>3</sup> составят 14 160 000 млн. руб. Удельные капитальные затраты будут проводится станком вертикального бурения d=3,0м - приняты по данным компании «Herrenknecht AG».

Также необходимо учесть сумму капитальных затрат на приобретение электрического оборудования согласно новой экологически сбалансированной и альтернативной транспортных схем. Так, если для альтернативной транспортной схемы потребуется 10 автосамосвалов «Shaanxi» и 15 дизельных ПДМ Toro 011 и с учетом того, что на ЮЖР уже есть 4 ПДМ и капитальные затраты на приобретение техники составят 666 813 340 руб., то для экологически сбалансированной транспортной схемы потребуется 10 Электро-ПДМ и капитальные затраты на их приобретение составят 727 886 400 руб.



Далее были проведены расчеты по капитальным затратам на строительство трех зарядных станций для обеспечения электроэнергией аккумуляторную технику (табл.4.4).

Таблица 4.4 - Затраты на приобретение электрооборудования для ЭПДМ

Наименование ТМЦ	Ед.изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Подстанция РКСВ 1200 кВа	шт.	12	4 090 909	49 090 909
Кабель ААШВ 3х50	м.	13 000	215	2 806 818
Кабель АВВГ 3х150	м.	4500	250	1 125 000
Ячейка КСО 292	шт.	6	767 045	4 602 272
Ячейка ЯКНО 6кВ	шт.	24	767 045	18 409 090
<b>Итого</b>				<b>76 034 090</b>

Укрупненная оценка инвестиций показала, что капитальные затраты на реализацию новой схемы сопоставимы с затратами по существующей транспортной схеме. Более того, существующая транспортная схема не будет способствовать увеличению производительности очистных забоев ввиду длительных простоев автосамосвалов, а также не позволит сократить выбросы парниковых газов.

### 4.3. Оценка себестоимости производства товарной продукции при переходе на ЭПДМ

Изменение минерально-сырьевой базы Жезказганского месторождения и связанные с этим коррективы параметров добычи и транспортирования рудной массы, а также вовлечения в переработку некондиционного сырья и запасов отходов горного производства возможно с получением наибольшей экономической и экологической эффективности только при полном переходе подземного рудника к самоходному погрузочно-доставочному оборудованию на базе электрического привода с автономным источником питания.

При обосновании эффективности перехода нужно также учитывать рентабельность вспомогательных процессов и параметров горнотехнической системы. Так, в ходе исследований было определено, что изменение параметров и улучшение экологических, экономических и энергетических показателей будет происходить при переходе к аккумуляторным машинам в системе вентиляции (табл.4.4).

Анализ полученных расчетов, которые представлены в таблице 4.4, свидетельствует, что при эксплуатации дизельной техники потребление электроэнергии на вентиляцию в 1,6 раза больше, чем при применении самоходного погрузочно-доставочного оборудования на базе электрического привода с автономным источником питания. Такое различие существенно скажется на денежных затратах в части вентиляции. Более того, вентиляторы главного проветривания можно поставить на самый маломощной режим, сократив потребление ЭЭ.

Немаловажным фактором при сравнение транспортных схем и их эффективности выступает сравнение стоимости эксплуатации машин с разными приводами (табл.4.5).

Таблица 4.4 - Экономия электрической энергии на вентиляцию по ЮЖР и предприятиям ГОК в целом при введении в эксплуатацию электромобилей

Наименование предприятия	Потребление ЭЭ за 2021 год	Плановое потребление ЭЭ за 6 лет	Денежные затраты на ЭЭ, за 6 лет	Потребление ЭЭ на вентиляцию за 2021 год	Потребление ЭЭ на вентиляцию за 6 лет при ДВС, кВт*ч	Денежные затраты на ЭЭ на вентиляцию при ДВС, руб/6 лет	Экономия ЭЭ на вентиляцию при вводе в эксплуатацию электро-ПДМ, кВт*ч/год	Потребление ЭЭ на вентиляцию при электро-ПДМ, кВт/год	Потребление ЭЭ на вентиляцию при электро-ПДМ, кВт/6 лет	Денежные затраты на ЭЭ на вентиляцию при электро-ПДМ, руб/6 лет	Потребность ЭЭ для электро-ПДМ, кВт*ч/6 лет	Итого потребление ЭЭ при введении и в эксплуатацию электро-ПДМ, кВт*ч/6 лет	Денежные затраты на ЭЭ при введении в эксплуатацию электромобилей, руб/6 лет	Капитальные затраты на подключение ЭЭ, руб с НДС 6 лет
ЮЖР	82 525 870	495 155 220	6 046 891 573	24 627 505	147 765 030	246 071 340	9 502 453	15 125 051	90 750 306	151 125 540	83 602 186	174 352 493	944 449 080	381 110 399

Таблица 4.5 - Сравнительный анализ эксплуатационных затрат при применении дизельного и аккумуляторного ПДМ

Тип машины	Узел	Периодичность замены, ч	Сорт масла	Емкость, л	Количество масла на 1000 часов/л	Наработка		Стоимость 1 литра	Итого
						Электро	ДВС		
ДВС	ДВС	250	SAE 15W/40	36	144		4320	151,2	653 580
	КПП	1000	SAE 30	65	80		2400	72	172 680
	передний мост	1000	SAE 85W/140	43,5	94		2820	91,2	256440
	антифриз	2000	этиленгликоль	65	65		975	61,2	59 754
	гидробак	1000	SAE 10W/30	218	218		6540	72	470 460
<b>ИТОГО:</b>									<b>1 612 838</b>
Батарейная	передний мост	1000	SAE 85W/140	43,5	94	2256		91,2	205128
	задний мост	1000	SAE 85W/140	50,5		0			0,00
	гидробак	1000	SAE 10W/30	218	218	5232		72	376 377,6
<b>ИТОГО:</b>									<b>581 505,6</b>

Таким образом, стоимость обслуживания одной единицы дизельной техники в 2,8 раза выше, чем аккумуляторной погрузочно-доставочной машины.

Таблица 4.7 - Сравнительный анализ капитальных затрат на приобретение дизельных и аккумуляторных погрузочно-доставочных горных машин

Производитель оборудования	Epiroc (Швеция)		
Модель оборудования	ПДМ ST14		
Тип	Батарейная	ДВС	Отклонение Батарейная/ДВС
Наработка в год (м/часов)	<b>5 000</b>	5 000	0
<b>Стоимость оборудования DDP</b>	<b>88 980</b>	<b>52 920</b>	<b>36 060</b>
Срок эксплуатации оборудования, 1-го ГШО, лет	<b>6</b>	6	0
<b>Затраты на содержание за 6 лет, тыс. \$ США</b>	<b>113 760</b>	<b>145 260</b>	<b>31 500</b>
Эксплуатационные расходы (запасные части, масла), на 1 ед. ГШО за 6 лет.	<b>52 320</b>	95 340	43 020
Затраты на аккумуляторные батареи, на 1 ед. ГШО за 6 лет.	<b>50 100</b>	0	50 100
Расходы на электроэнергию/дизельное топливо, на 1 ед. ГШО за 6 лет.	<b>60</b>	519	459

Стоимость сервисного обслуживания (трудозатраты) на 6 лет, 1 ед. оборудования.	129	312	183
<b>Индексация стоимости затрат на содержание, тыс. \$ США</b>	<b>47</b>	<b>208</b>	<b>161</b>
<b>Итого затраты на приобретение и владение, в тыс. \$ США</b>	<b>3 427</b>	<b>3 511</b>	<b>84</b>

Полная себестоимость катодной меди при содержании меди в руде 0,47% по существующей технологии с учетом дохода от попутной продукции составляет 487 020 руб./т.

Для рентабельной добычи и переработки руды Южного рудника разработаны предварительные проектные решения по снижению себестоимости выпуска катодной меди за счет снижения затрат на комплекс внутришахтного транспорта при строительстве новой экологически-сбалансированной (СБ) схемы транспортировки руды на очистных работах.

Таблица 4.8 - Калькуляция себестоимости добычи по Южно-Жезказганскому руднику

№ пп	Наименование	Ед. имз.	ЮЖР		
			Существующая схема	Альтернативная схема	ЭС схема
1.	Объем	тыс.т	3 356	3 356	3 356
2.	Себестоимость добычи без НДСИ, в т.ч.:	руб/т	1152	1116	1007,4
3.	Переменные затраты:	руб/т	688,2	684,6	554,4
4.	Горно-подготовительные работы	руб/т	103,8	103,8	103,8
5.	Очистные работы	руб/т	246,6	243	243
6.	Транспортные расходы	руб/т	338,4	338,4	207,6
7.	Дизельный транспорт	руб/т	196,8	93,6	
8.	Аккумуляторный транспорт	руб/т	-	-	79,6
9.	Рельсовый транспорт	руб/т	61,2	-	-
10.	Магистральный конвейерный транспорт	руб/т		36	36
11.	Дробление	руб/т	19,8	19,8	19,8
12.	Подъем	руб/т	37,78		-
13.	Главный конвейерный транспорт	руб/т			42
14.	Содержание дорог	руб/т	22,8	22,8	22,8
15.	Постоянные затраты:	руб/т	453	453	453
16.	Блок подготовки	руб/т	12	12	12
17.	Водоотлив	руб/т	7,2	7,2	7,2
18.	ПВС и ГВУ	руб/т	27,6	27,6	27,6

19.	Геологоразведочные работы	руб/т	1,2	1,2	1,2
20.	Прочие (без НДС)	руб/т	255	255	255
21.	ОАР без амортизации	руб/т	150,6	150,6	150,6

Оценочные капитальные затраты для ЮЖР по реализации программы капитального строительства и модернизации действующего производства составляют 11 363 820 000 млрд.рублей. По трем транспортным схемам ЮЖР рассчитана себестоимость катодной меди по вариантам добычи и переработки руды (табл. Сравнение) полной себестоимости катодной меди по этим вариантам показано на рис. 4.4:

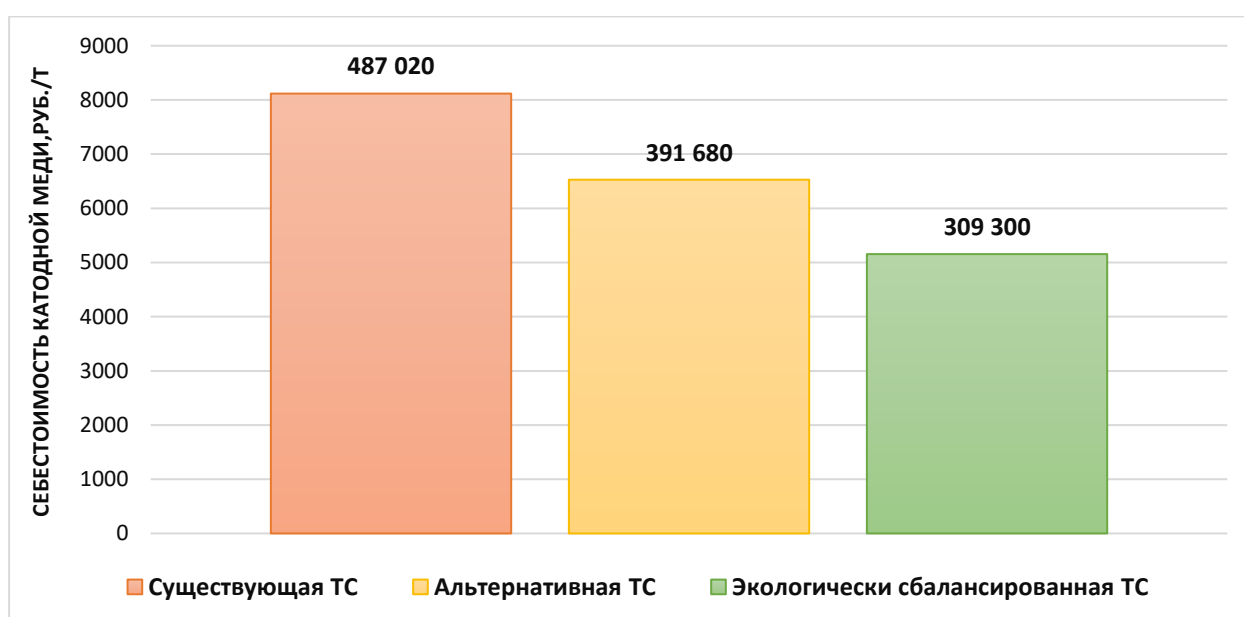


Рисунок 4.4 – Показатели себестоимости руды на Южно-Жезказганском руднике при различных транспортных схемах

Анализ показателей влияния различных вариантов транспортных схем и их экономической эффективности на себестоимость руды ЮЖР позволяет сделать вывод, что минимальную себестоимость выпуска катодной меди обеспечивает экологически сбалансированная транспортная схема со снижением существующих затрат на 25%, так как в сравнении с существующей технологией такая схема обеспечивает снижение полной себестоимости катодной меди на 177 720 руб./т, в том числе:

- за счет повышения эффективности и за счет оптимизации затрат по добыче руды - снижение на 960 руб./т;

- за счет новой транспортной схемы - снижение на 102 060 руб./т;
- за счет снижения нагрузки на вентиляционную сеть – 34 380 руб./т;
- за счет сокращения количества горной техники и ее обслуживания - 40 260 руб./т.

Разработанные технологические решения по техническому перевооружению Южно-Жезказганского эффективны и позволяют снизить полную себестоимость 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.

#### **Выводы по 4 главе:**

1. Показано, что вовлечение в добычу всех видов запасов подземного «Южно-Жезказганского» рудника позволит продлить срок эксплуатации рудника с уровнем производства, достигнутым к 2014 году, на 46 лет (до 2058 года). При этом содержание меди в товарной руде составит 0,46%.

2. Сформулирован принцип перехода рудника к новой экологически сбалансированной транспортной схеме, ключевым звеном которой являются погрузочно-доставочные машины с электрическим автономным источником питания, так как именно они определяют перспективы роста производственной мощности рудника

3. Показано, что новая экологически сбалансированная транспортная схема предусматривает отказ от откатки руды автосамосвалами с каждой панели (LCP = 1500м) к капитальным рудоспускам по протяженным дорогам, с тяжелыми условиями эксплуатации, имеющими многочисленные повороты и сложный профиль с применением дорогостоящих подземных самосвалов зарубежного производства TORO-50+; рациональное размещение участковых 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; организацию транспортировки руды конвейерными установками по горизонтальным

прямолинейным транспортным выработками с длиной откатки  $L \leq 1060$  м до капитальных рудоспусков с применением конвейеров; увеличение скорости движения ЭПДМ с 10 км/ч до 20-25 км/час.

4. Доказано, что при эксплуатации дизельной техники потребление электроэнергии на вентиляцию в 1,6 раза больше, чем при применении самоходного погрузочно-доставочного оборудования на базе электрического привода с автономным источником питания.

Установлено, что минимальную себестоимость выпуска катодной меди обеспечивает экологически сбалансированная транспортная схема со снижением существующих затрат на 25%, так как такая схема обеспечивает снижение полной себестоимости катодной меди на 177 720 руб./т, в том числе:

- за счет повышения эффективности и за счет оптимизации затрат по добыче руды - снижение на 960 руб./т;
- за счет новой транспортной схемы - снижение на 102 060 руб./т;
- за счет снижения нагрузки на вентиляционную сеть – 34 380 руб./т;
- за счет сокращения количества горной техники и ее обслуживания - 40 260 руб./т.

5. минерально-сырьевой базы и перехода на глубокие горизонты с вовлечением в эксплуатацию бедных руд из зон обрушения при полном отказе от дизельного оборудования и при применении только высокоэффективных ЭПДМ обеспечит требуемую производительность погрузочно-транспортного комплекса, сократит эксплуатационные расходы, позволит увеличить производительность рудника в 1,25 раз, а также снизит эксплуатационные и капитальные затраты в целом.

## **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 Toro 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. Порожняя 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 технологические 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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маргулан А. Х. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекказган - древний и средневековый металлургический центр (городище Милькудук) / Сочинения: В 14 т. Т. 2. / Сост. Д. А. Маргулан, Д. Маргулан. - Алматы: Дайк-Пресс, 2001. - 144 с.
2. Болл С. Х. Геологический доклад о владениях атбасарских медных промыслов: Рукопись, 1910 //Архив акад. К. И. Сатпаева; Пазухин В. А. Металлургия в Киргизской степи. М.; Л., 1926. С. 142; Сатпаев К. И. Избр.тр. Т. 1. С. 142; Т. 5. -С. 30, 44.
3. Петик В.В. и др. Опыт повторной разработки месторождения на шахтах рудоуправления им. Кирова // Горный журнал, 1983, № 8, с. 44-46.
4. Сатпаев К. И. Основные элементы геологии и металлогении Джекказган-Улутаусского района//Большой Джекказган: Геология и металлогения. Алма-Ата: Из-во АН КазССР, 1961. - С. 27-59.
5. Рудные месторождения СССР, в 3 т. М, Недра, 1978, под ред. акад. В.И. Смирнова. Т.1. 58 с.
6. Сатпаев К. И. Собрание трудов. В 8 т. Т. 1 Большой Джекказган. – Алматы: Ғылым, 1998.- 528 с.
7. Джекказганское месторождение. - В кн.: Проблемы геологии Средней Азии и Казахстана. (доклады на выездной сессии 1964 г. Отделение наук о Земле АН СССР) / Авт.: Н.Н. Нуралин, Т.А. Сатпаева, С.Ш. Сейфуллин и др. М., «Наука», 1967, с. 133-142.
8. Сравнительные данные об основных параметрах залежей Центрального Казахстана. - «Изв. АН Каз.ССР». Сер. геол.геол., 1969, 2, с. 26-37. Авт.: Т. Е.Едресов, Ш.Е. Есенов, Л. В. Копяткевич и др.
9. 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, 2020. -№3. -С.138-150.

10. Герасименко В.И., Зотеев О.В., Макаров А.Б. Геомеханические проблемы дальнейшей разработки Жезказганского меднорудного месторождения // Горный журнал, 2012. -№1. -С. 60-63.

11. Борщ-Компониец В.И., Макаров А.Б. Условия перехода обрушения на поверхность при повторной разработке пологих рудных залежей // Горный журнал, 1993. -№8. -С.7.

12. Калмыков В.Н., Мажитов А.М., Пыталев И.А., Якшина В.В. Условия перехода на самоходную технику при разработке жильных рудных месторождений // В сборнике: Современные достижения университетских научных школ. Сборник докладов национальной научной школы-конференции. Магнитогорск: МГТУ, 2021. - С. 195-200.

13. Каплунов Д.Р., Барон Л.И., Будько А.В., и др. Научные основы технического перевооружения подземных рудников. М.: Наука, 1983. – 256 с.

14. Каплунов Д.Р. Выбор производственной мощности подземных рудников с учетом их периодического технического перевооружения

15. Каплунов Д.Р. Развитие производственной мощности подземных рудников при техническом перевооружении // м.: Наука, 1989. 263 с.

16. Дик Ю.А., Котенков А.В., Танков М.С и др. Практика технического перевооружения процессов горного производства. – Верхняя Пышма, 2019. – 512 с.

17. Дик Ю.А., Котенков А.В., Танков М.С. Практика опытно-промышленных испытаний технологий разработки рудных месторождений. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014, 479 с.

18. «Концепция дальнейшей эффективной и безопасной отработки Жезказганского месторождения в сложившихся горнотехнических и геомеханических условиях» (согласована с Комитетом ГГТН РК и утверждена Министерством промышленности и торговли РК) // Жезказган, корпорация «Казахмыс»,1996

19. Шарипов В.Ш., Музгин С.С., Бупежанов М.К. Опыт эксплуатации безрельсовых самоходных машин на Джезказганском руднике // горный журнал. – 1960. – №3. – С. 41-44
20. Иофин С.Л., Шкарпетин В.В. системы разработки мощных месторождений руд цветных металлов Казахстана // Горный журнал. – 1961. – №1. – С. 27-34
21. Бупежанов М.К., Гурба В.В., Шарипов В.Ш. Новая технология добычи руды с применением самоходного оборудования на шахтах № 55 и 57 Жезказганского комбината // Горный журнал. – 1970. – №8. – С. 3-6
22. Кулаков А.Я., Урумов Т.М., Прохасько Г.Р. Разработка мощных залежей при новой технологии на шахте №55 Западно-Джезказганского рудника // Горный журнал. № 1. 1967. С. 31-36
23. Теплых Б.А., Зайцев О.Н., Бегляров А.А. // Горный журнал. № 10. 1977. С. 19-21
24. Чагай В.К. Организация ремонта подземного самоходного оборудования // Горный журнал. №11. 1972. С.48-51
25. Миронов Е.И., Скорняков Ю.Г. Проектирование и эксплуатация подземных рудников, оснащенных самоходным оборудованием // Горный журнал. №1. 1981. С.37-40
26. Отчет по разработке: Генерального плана окончательной отработки запасов всех видов медьсодержащего сырья на объектах ТОО «Корпорация Казахмыс», расположенных в Жезказганском регионе. 2018 г.
27. Рыльникова М.В., Юн А.Б., Терентьева И.В. Второе дыхание Жезказгана. // Горная промышленность, 2015. -№3. –С. 32-34
28. Стратегия Жезказганского месторождения в усложнившихся горнотехнических и геомеханических условиях» (согласована с Комитетом по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью МЧС РК)// Жезказган, корпорация «Казахмыс», 2007. ТОО «КазГидроМедь». Техничко-экономический

29. Юн А.Б. Разработка и обоснование параметров горнотехнической системы комплексного освоения Жезказганского месторождения в условиях Восполнения выбывающих мощностей рудников // докторская диссертация. 2016. 333 с.
30. Halim, A., Kerai, M. Ventilation requirement for ‘electric’ underground hard rock mines—a conceptual study / Halim, A., Kerai, M. // In The Australian Mine Ventilation Conference – 2013. — pp. 215–220.
31. Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. Increasing energy efficiency of mine ventilation systems / Papar R, Szady A, Huffer WD, Martin V, McKane A. // Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. – 1999.
32. Bugarski, A.D., Janisko, S.J., Cauda, E.G., Noll, J.D., Mischler S.E. Office of mine safety and health research national institute for occupational safety and health: diesel aerosols and gases in underground mines / Bugarski, A.D., Janisko, S.J., Cauda, E.G., Noll, J.D., Mischler S.E. // Guide to exposure assessment and control. – 2011.
33. the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOHS). Carcinogenic effect of exposure to diesel exhaust / NIOHS // CurrIntell Bull 50 U.S.A. – 1988.
34. Grenier M., Gangal M., McGinn S., Penney J., Vergunst J. Diesel emissions evaluation program (DEEP) / Grenier M., Gangal M., McGinn S., Penney J., Vergunst J. Sampling for diesel particulate matter in mines. – 2001. – p. 26.
35. Marx W. M., Von Glehn F.H., Wilson R.W. Development of energy efficient mine ventilation and cooling system / Marx W. M., Von Glehn F.H., Wilson R.W. // Mine Ventilation of South Africa Society Journal. – 2008. – № 16. – pp. 5-9.
36. Agata Fugiel, Dorota Burchart-Korol, Krystyna Czaplicka-Kolarz, Adam Smolinski. Environmental impact and damage categories caused by air pollution emissions from mining and quarrying sectors of European countries // Journal of Cleaner Production 143 (2017) 159e168
37. Stephen Eaves a, James Eaves. A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles // Journal of Power Sources 130 (2004) 208–212

38. William Jacobs, Melinda R. Hodkiewicz, and Thomas Bräunl. A Cost–Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines // *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 51, no. 3, may/june 2015
39. Joeri Van Mierloa, Maarten Messagiea, Surendraprabu Rangarajua. Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment // *World Conference on Transport Research. Transportation Research Procedia* 25 (2017) 3435–3445
40. Bhargav Bharathan, Agus P. Sasmito, Seyed Ali Ghoreishi-Madiseh. Analysis of energy consumption and carbon footprint from underground haulage with different power sources in typical Canadian mines, *Journal of Cleaner Production* (2017), doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.233
41. Bartłomiej Skawina. Load-Haul-Dump operations in underground mines // *Mining and Rock Engineering*. Printed by Luleå University of Technology, Graphic Production 2019. p. 178
42. Arianna Waye, Denise Young, Jeremy P. Richards and Joseph A. Doucet. Sustainable Development and Mining—An Exploratory Examination of the Roles of Government and Industry // *Mining, Society, and a Sustainable World*, DOI 10.1007/978-3-642-01103-0\_7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009
43. Antti Keski-Koukkari, Jenni Rekola, Anna Kulmala. Methodology to Analyze Effect of Electric Mining Machines on the Mine Grid // *Library for Natural Sciences of the RAS*. Downloaded on September 24,2020
44. Хазин М.Л. Электрифицированный автотранспорт для подземных и открытых горных работ // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2019. Вып. 1(53). С. 128-135
45. Antonio Nieto, Richard S. Schatz & Cihan Dogruoz. Performance analysis of electric and diesel equipment for battery replacement of tethered LHD vehicles in underground mining // *MINING TECHNOLOGY*. 2020, VOL. 129, NO. 1, 22–29. <https://doi.org/10.1080/25726668.2020.1720371>



46. Li Y, Corder GD, McLellan BC. 2011. Transport in the minerals industry – contributions to greenhouse gas emissions and potential for mitigation. *Miner Eng.* Elsevier. doi:10.1016/j.mineng.2011.07.001.
47. <https://www.rocktechnology.sandvik.ru/продукция/>
48. Łukasz Bołoz. Global Trends in the Development of Battery-Powered Underground Mining Machines // *MAPE 2021*, volume 4, issue 1, pp. 178-189. doi:10.2478/mape-2021-0016
49. Fengxian He, Xiudong Cui, W.X. Shen, A. Kapoor, Demon Honnery, Daya Dayawansa. Modelling of Electric Vehicles for Underground Mining Personnel Transport // 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)
50. Antti Lajunen, Jussi Suomela, Jenni Pippuri, Kari Tammi<sup>1</sup>, Teemu Lehmuspelto and Panu Sainio. Electric and hybrid electric non-road mobile machinery – present situation and future trends // *World Electric Vehicle Journal Vol. 8 - ISSN 2032-6653 - ©2016 WEVA Page WEVJ8-0172*
51. A. Halim, J. Löw, J. Johansson, J. Gustafsson, A. van Wageningen, K. Kocsis. Improvement of Working Conditions and Opinions of Mine Workers When Battery Electric Vehicles (BEVs) Are Used Instead of Diesel Machines — Results of Field Trial at the Kittilä Mine, Finland // *Mining, Metallurgy & Exploration* <https://doi.org/10.1007/s42461-021-00506-8>
52. Shilei Zhou , Paul Walker, Yang Tian, Cong Thanh Nguyen and Nong Zhang. Comparison on Energy Economy and Vibration Characteristics of Electric and Hydraulic in-Wheel Drive Vehicles // *Energies* 2021, 14, 2290. <https://doi.org/10.3390/en14082290>
53. Ahmed Elnozahy, Ali K. Abdel Rahman and Ahmed Hamza H. Ali // A Cost Comparison between Fuel Cell, Hybrid and Conventional Vehicles. 16th International Middle- East Power Systems Conference -MEPCON'2014 Ain Shams University, Cairo, Egypt, December 23 - 25, 2014 Про ЭПДМ по смыслу

54. Antti Lajunen, Panu Sainio, Lasse Laurila, Jenni Pippuri-Mäkeläinen and Kari Tammi. Overview of Powertrain Electrification and Future Scenarios for Non-Road Mobile Machinery // *Energies* 2018, 11, 1184; doi:10.3390/en11051184
55. Richard S. Schatz, Antonio Nieto, Cihan Dogruoz & Serguei N. Lvov. Using modern battery systems in light duty mining vehicles // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2015. Vol. 29, No. 4, 243–265, <http://dx.doi.org/10.1080/17480930.2013.866797>
56. Bamidele Victor Ayodele, Siti Indati Mustapa. Life Cycle Cost Assessment of Electric Vehicles: A Review and Bibliometric Analysis // *Sustainability* 2020, 12, 2387; doi:10.3390/su12062387
57. <https://gmgroup.org/guidelines-and-publications/?title=bev>
58. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design/Mehrdad Ehsani ... [et al.]. p. cm. – (Power electronics and applications series) Includes bibliographical references and index. ISBN 0-8493-3154-4 (alk. paper)
59. <https://i-flashdrive.ru/raznoe/krutyashhij-moment-elektrodivigatelya-kak-rasschitat-krutyashhij-moment-elektrodivigatelya.html>
60. Ютт В.Е., Строганов В.И. Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик. Учебное пособие. Ред. МАДИ. Москва. 2017. 107 с.
61. Строганов, В.И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой: дис. д-ра техн. наук / Строганов Владимир Иванович. – М., 2015. – 356 с.
62. Mohammad Reza Amini<sup>1</sup>, Yiheng Feng<sup>1</sup>, Zhen Yang<sup>1</sup>, Ilya Kolmanovsky<sup>1</sup>, and Jing Sun. Long-Term Vehicle Speed Prediction via Historical Traffic Data Analysis for Improved Energy Efficiency of Connected Electric Vehicles // *National Academy of Sciences: Transportation Research Board* 2020 Article reuse guidelines: [sagepub.com/journals-permissions](http://sagepub.com/journals-permissions). DOI: 10.1177/0361198120941508

63. William Jacobs. Electric LHDs in Underground Hard Rock Mining: A Cost/Benefit Analysis // Final Year Project Thesis School of Mechanical and Chemical Engineering University of Western Australia. 2013
64. Kai Liu, Toshiyuki Yamamoto, Takayuki Morikawa. Impact of road gradient on energy consumption of electric vehicles // Transportation Research Part D 54 (2017) 74–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.005>
65. Федеральный закон от 2 июля 2021 г. N 296-ФЗ "Об ограничении выбросов парниковых газов". Вступает в силу с 30.12.2021 г.
66. Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций, трансформация нашего мира: Повестка дня в Области Устойчивого Развития на период до 2030 года, 21 октября 2015, A/RES/70/1, доступно [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf) [дата обращения 11 ноября 2021 года].
67. Sustainalytics.- a Morningstar company. ESG Risk Ratings – Methodology Abstract / Version 2.1. January 2021
68. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации: «Цели устойчивого развития ООН и Россия» // Аналитический центр при правительстве Российской Федерации
69. Пленарное заседание Петербургского международного экономического форума. Электронный ресурс. Режим доступа <http://kremlin.ru/events/president/news/65746> Дата обращения 13.12.2021 г.
70. Гречиков М.И., Грушников В.А. Результативность автомобильных инноваций и их реализации // Компетентность / Competency (Russia). — 2020. — № 5. DOI: 10.24411/1993-8780-2020-10504
71. Roman Klyuev, Igor Bosikov, Oksana Gavrina, Maret Madaeva, Andrey Sokolov. Improving the Energy Efficiency of Technological Equipment at Mining Enterprises // EMMFT 2019: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019 pp 262–271

72. Boqiang Lin, Runqing Zhu. Energy efficiency of the mining sector in China, what are the main influence factors? // Resources, Conservation and Recycling. Volume 167, April 2021, 105321
73. R.V. Klyuev, I.I. Bosikov, V. Kh. Tavasiev, M.A. Gobeev. Improving the energy efficiency of transport equipment in ore mining // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 918, VIII International Scientific Conference Transport of Siberia - 2020 22-27 May 2020, Novosibirsk, Russia
74. KwameAwuah-Offei. Energy efficiency in mining: a review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations // Journal of Cleaner Production. Volume 117, 20 March 2016, Pages 89-97
75. Polnik Bartosz, Kaczmarczyk Krzysztof, Niedworok Andrzej, Baltes Ralph, Clausen Elisabeth. Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020, Volume 28, Issue 4, pp. 253-258
76. Anton Kleshchov, Oleh Terentiev, Nataliia Shevchuk, Oleksandr Temchenko. Assessment of the energy efficiency potential of mining enterprises // E3S Web Conf. Volume 201, 01034 (2020).
77. Bugarski, A.D., Janisko, S.J., Cauda, E.G., Noll, J.D., Mischler S.E.: Office of mine safety and health research national institute for occupational safety and health: diesel aerosols and gases in underground mines. Guide to exposure assessment and control (2011).
78. NIOHS.: Carcinogenic effect of exposure to diesel exhaust. CurrIntell Bull 50 U.S. (1988)
79. Diesel emissions evaluation program (DEEP) Report.: Sampling for diesel particulate matter in mines, p. 26 (2001).
80. Hongrui Ma, Felix Balthasar, Nigel Tait, Xavier Riera-Palou a, Andrew Harrison. A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles // Energy Policy 44 (2012) P. 160–173

81. Erdemir A, Holmberg K. Energy consumption due to friction in motored vehicles and low-friction coatings to reduce it. In: Sung CC, Erdemir A, editors. *Coating Technology for vehicle applications*. Switzerland: Springer International Publishing; 2015. p. 1–23. Chapter 1.
82. Holmberg K, Andersson P, Erdemir A. Global energy consumption due to friction in passenger cars. *Tribol Int* 2012;47:221–34.
83. Holmberg K, Andersson P, Nylund PO, M€akel€a K, Erdemir A. Global energy consumption due to friction in trucks and buses. *Tribol Int* 2014;78:94–114.
84. Holmberg K, Erdemir A. Global impact of friction on energy use in transportation and industry. In: 2nd Int. Brazilian Conf. On tribology – TriboBR 2014b, 3–5.11.2014, Foz do Iguacu, Brazil
85. Sao Paulo, Brazil: ABM Brazilian Association for Metallurgy, Materials and Minerals; 2014. (Kenneth Holmberg, Paivi Kivikyto-Reponen, Pirita Harkisaari, Kati Valtonen, Ali Erdemir. Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry // *Tribology International* 115 (2017) 116–139.
86. C.A. Lewis, MEET Project: Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport, European Project, Contract n. ST-96-SC.204>, 1997.
87. P. Baptista, M. Tomás, C.M. Silva, Hydrogen Power Theoretical and Engineering Solutions—International Symposium, Lisbon, April 2009.
88. Carla Silva, Tiago Farias. Evaluation of Energy Consumption, Emissions, and Costs of Plug-in Hybrid Vehicles // *Electric and Hybrid Vehicles*. 2010. P. 193-210
89. Surendraprabu Rangaraju, Laurent De Vroey, Maarten Messagie, Jan Mertens, Joeri Van Mierlo. Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study // *Applied Energy* 148 (2015) 496–505
90. Yusuf Bicer, Ibrahim Dincer. Comparative life cycle assessment of hydrogen, methanol and electric vehicles from well to wheel // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.07.252

91. Trine Krogh Kristoffersen, Karsten Capion, Peter Meibom. Optimal charging of electric drive vehicles in a market environment // *Applied Energy* 88 (2011) 1940–1948
92. Stephen Eaves, James Eaves. A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles // *Journal of Power Sources* 130 (2004) P. 208–212. doi:10.1016/j.jpowsour.2003.12.016
93. Thomas H. Bradley, Andrew A. Frank. Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009). P. 115–128. doi:10.1016/j.rser.2007.05.003
94. Reed T. Doucette, Malcolm D. McCulloch. Modeling the prospects of plug-in hybrid electric vehicles to reduce CO<sub>2</sub> emissions // *Applied Energy* 88 (2011) 2315–2323
95. Timothy E. Lipman and Mark A. Delucchi. Expected Greenhouse Gas Emission Reductions by Battery, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. [https://www.researchgate.net/publication/253990281\\_Technology\\_Status\\_and\\_Expected\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emissions\\_of\\_Battery\\_PlugIn\\_Hybrid\\_and\\_Fuel\\_Cell\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/253990281_Technology_Status_and_Expected_Greenhouse_Gas_Emissions_of_Battery_PlugIn_Hybrid_and_Fuel_Cell_Electric_Vehicles)
96. M.A. Hannan, F.A. Azidin, A. Mohamed. Hybrid electric vehicles and their challenges: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014) 135–150
97. Lluç Canals Casals, Egoitz Martinez-Laserna, Beatriz Amante García, Nerea Nieto. Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO<sub>2</sub> emissions reduction // *Journal of Cleaner Production* 127 (2016). P.425 – 437
98. Kempton W, Tomic J. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *J Power Sources* 2005;144(1):280–94
99. Kudoh Y, Ishitani H, Matsubishi R, Yoshida Y, Morita K, Katsuki S, et al. Environmental evaluation of introducing electric vehicles using a dynamic traffic flow model. *Appl Energy* 2001;69(2):145–59

100. Juul N, Meibom P. Optimal configuration of future energy systems including road transport and vehicle-to-grid capabilities. In: EWEC 2009 scientific proceedings; 2009. p. 168–74.

101. Kiviluoma J, Meibom P. Influence of wind power, plug-in electric vehicles, and heat storages on power system investments. *Energy* 2010;35(3):1244–55.

102. Shortt W, O'Malley M. Impact of optimal charging of electric vehicles on future generation portfolios. In: IEEE PES/IAS conference on sustainable alternative energy, Valencia, Spain; 2009

103.

Electric equipment. [http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Electric\\_equipment](http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Electric_equipment). 15. Marx, W. M., Von Glehn, F.H., and Wilson, R.W., 2008, “Development of energy efficient mine ventilation and cooling systems,” *Mine Ventilation of South Africa Society Journal*, April/June, Vol. 16, pp. 5-9

104. De Souza E (2015) Cost saving strategies in mine ventilation. In: Abstracts of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM) 2015 Convention, Montreal, 10–12 May 2015

105. Hartman HL, Mutmanský JM, Ramani RV, Wang YJ (1997) *Mine ventilation and air conditioning*. Wiley, USA. 18. Stachulak, J.S., Allen, C., Hensel, V.: Successful application of a diesel particulate filter system at Vale's Creighton mine. *CIM J.*6(4), 227-232 (2015)

106. Halim, A., Kerai, M.: Ventilation requirement for ‘electric’ underground hard rock mines—a conceptual study. In *The Australian Mine Ventilation Conference*, Adelaide, pp. 215–220 (2013)

107. Stachulak, J., Conard, B.R., Schnakenberg, G.: Evaluation of Diesel Particulate Filter System at Stobie Mine. Sudbury, Ontario, Canada. [http://www.camiro.org/sites/default/files/DEEP/Project\\_Reports/MasterStobie-ver2—Sept2012.pdf](http://www.camiro.org/sites/default/files/DEEP/Project_Reports/MasterStobie-ver2—Sept2012.pdf)

108. Allen C., Stachulak J. (2019) Mobile Equipment Power Source—Impact on Ventilation Design. In: Chang X. (eds) *Proceedings of the 11th International Mine*

<https://www.medicalnewstoday.com/articles/246495.php>

109. Jacek Paraszczak, Erik Svedlund, Kostas Fytas and Marcel Laflamme. Electrification of Loaders and Trucks – A Step Towards More Sustainable Underground Mining // International Conference on Renewable Energies and Power Quality. 2014. <https://doi.org/10.24084/repqj12.240>

110. Joeri Van Mierlo, Maarten Messagie, Surendraprabu Rangaraju. Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment // Transportation Research Procedia 25 (2017) 3435–3445)

111. Anders Nordelöf & Maarten Messagie, Anne-Marie Tillman & Maria Ljunggren Söderman & Joeri Van Mierlo. Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? // Int J Life Cycle Assess (2014) 19:1866–1890. DOI 10.1007/s11367-014-0788-0

112. Plugged in. The end of the oil age. Summary report, WWF; 2008.

113. B. Sakhdari\*. N. L. Azad. An Optimal Energy Management System for Battery Electric Vehicles // IFAC-PapersOnLine 48-15 (2015) 086–092)

114. Отчет об оказании консалтинговых услуг. по разработке: Генерального плана окончательной отработки запасов всех видов медьсодержащего сырья на объектах ТОО «Корпорация Казахмыс», расположенных в Жезказганском регионе

115. Отчет по обследованию горных выработок и работы главных вентиляторных установок шахт 65,65бис,45 ЮЖР ПО ЖЦМ

116. 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.



117. Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI «Экологический кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями от 27.12.2021 г.)

118. Баранов А.О. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд: Справочное пособие // –М.: Недра, 1993, 283 с.

119. Байконуров О.А., Филимонов А.Т. Комплексная механизация очистных работ при подземной разработке рудных месторождений // Издательство «Наука» Казахской ССР. 1973. –370 с.

120. Музгин С.С. Погрузка руды самоходными машинами // Алма-Ата: Наука, 1984. – 224 с.

121. Скорняков Ю.Г. Системы разработки и комплексы самоходных машин при подземной добыче руд // М., «Недра», 1978. 232 с.

122. 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.

123. 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.

124. 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.

125. Нормы технологического проектирования Горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки ВНТП 13-2-93 //

Комитет Российской Федерации по металлургии институт по проектированию горнорудных предприятий Гипроруда. Санкт-Петербург. 1993 г.

126. 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

127. 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.

128. 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.

129. 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.

130. 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.

131. 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.

132. 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 века глазами молодых». М.: ИПКОН РАН, 2019. – С.218-221

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

134. 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.

135. 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.

136. 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.