

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Сержанов Мадияр Медетұлы

Оптимизация выемочно-погрузочных работ Донского рудника

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7М07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А Байконурова

УДК 622.271

На правах рукописи

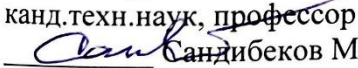
Сержанов Мадияр Медетұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации «Оптимизация выемочно-погрузочных работ
Донского рудника»

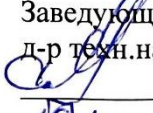
Направление подготовки 7М07203 – «Горная инженерия»

Научный руководитель
канд.техн.наук, профессор
 Сандибеков М.Н.
«16» 06 2025 г.

Рецензент
канд.техн.наук, ассоц.профессор
 Заурбекова Н.Д.
«16» 06 2025 г.

Нормоконтролер
ведущий инженер
 Мендекинова Д.С.
«12» 06 2025 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ГД,
д-р техн.наук, профессор
 Молдабаев С.К.
«16» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

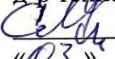
Некоммерческое акционерное общество
«Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А Байконурова

Кафедра «Горное дело»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ .

Заведующий кафедрой ГД,
д-р техн. наук, профессор

 Молдабаев С.К.

«03» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистрант: Сержанов Мадияр Медетулы

Такырыбы: «Оптимизация выемочно-погрузочных работ Донского рудника»

Утверждена приказом ректора университета №548-ПӨ от «4» декабря 2023г.

Срок сдачи законченной диссертации: «16» 06 2025г.

Исходные данные к магистерской диссертации: «Донской ГОК», планы горных работ «Донской рудник» (ПГР) за 2023-2025, перечень проектов промышленной разработки месторождений хромовых руд. АО «ТНК «Казхром»// институтов Казгипроцветмет, ВИОГЕМ, ВНИМИ. Производственные отчеты предприятия (2021-2024 гг.);

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Анализ действующей технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского горно-обогатительного комбината с учетом горнотехнических условий месторождения;

б) Оценка эффективности работы экскаваторно-автотранспортного комплекса и обоснование выбора автосамосвала по технико-экономическим показателям;

в) Разработка рекомендаций по совершенствованию технологии выемочно-погрузочных работ с использованием цифровых подходов;

г) Обоснование интеграции цифровых решений в систему управления выемочно-погрузочными процессами и оценка их влияния на производственную эффективность.

Перечень графических материалов (с точным указанием обязательных чертежей):

а) представлены 15 слайдов презентации работы;

б) чертежи объекта исследования (геологические разрезы и планы карьеров рудника);

в) чертежи горнотехнических работ (паспорта отработки уступов с расчетами ширины рабочей площадки);

г) результаты расчетов показателей эффективных методов (таблицы, графики зависимостей и т.д.).

Рекомендуемая основная литература:

1. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. пособие. — 2-е изд., стер.

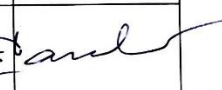
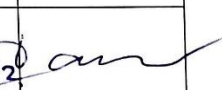
— М.: Издательство «Горная книга», 2012. — 267 с;

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника	12.12.2023	
Разработка рекомендаций по модернизации с использованием цифровых систем и обоснованием рационального выбора автотранспорта	06.05.2025	
Технико-экономическая оценка интеграции цифровых технологий при оптимизации выемочно-погрузочных работ	20.05.2025	

ПОДПИСИ

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Даты подписания	Подпись
Анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника	М.Н. Сандибеков, профессор	11.12.23	
Разработка рекомендаций по модернизации выемочно-погрузочных работ с использованием цифровых систем	М.Н. Сандибеков, профессор	15.04.23	
Технико-экономическая оценка интеграции цифровых технологий при оптимизации выемочно-погрузочных работ	М.Н. Сандибеков, профессор	20.05.25	
Нормоконтролер	Д.С. Мендекинова, ведущий инженер	12.06.25	

Научный руководитель

 Сандибеков М.Н.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Сержанов М.М.

Дата

«16» 06 2025 г.

АНДАТПА

Берілген диссертациялық жұмыста Донской кенішіндегі қазу-тиеу жұмыстарының қазіргі жағдайына кешенді талдау жүргізіліп, оларды оңтайландыруға бағытталған ғылыми негізделген шаралар ұсынылды. Өндірістік үдерістегі негізгі мәселелер анықталды: жабдықтарды пайдалану коэффициентінің төмендігі, ескірген диспетчерлік жүйе, автотранспорттың толық жүктелмеуі және бағыттарды тиімсіз жоспарлануы.

Экскаваторлар мен автосамосвалдардың техникалық параметрлерін бағалау, өндірістік және экономикалық көрсеткіштерді ескере отырып, автотранспорт түрін оңтайлы таңдау ерекше назарда болды. Сонымен қатар оңтайландырудың екінші бағыты ретінде заманауи цифрлық шешімдерді, соның ішінде автоматтандырылған диспетчерлік жүйелерді, жүктемені бақылау датчиктерін және тасымалдау процестерін жоспарлау құралдарын енгізу қарастырылды.

Ұсынылған шаралар өндірістік тиімділікті арттыруға, қазу-тиеу жабдықтарының бос тұру уақытын азайтуға және басқа да тау-кен және байыту саласындағы кәсіпорындары үшін еңбек жағдайларын жақсартуға бағытталған.

АННОТАЦИЯ

В данной диссертационной работе произведен комплексный анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на Донском руднике и предложены научно-обоснованные меры по их оптимизации. Выявлены основные проблемы производственного процесса: низкий коэффициент использования оборудования, устаревшая диспетчерская система, неполная загрузка автотранспорта и неэффективное планирование маршрутов.

Особое внимание уделено оценке технических параметров экскаваторов и автосамосвалов, а также оптимальному выбору типа автотранспорта с учетом производственных и экономических показателей. Кроме того, в качестве второго направления оптимизации рассматривается внедрение современных цифровых решений, включая автоматизированные диспетчерские системы, датчики контроля загрузки и инструменты планирования перевозки.

Предложенные мероприятия направлены на повышение производственной эффективности, сокращение времени простоя выемочно-погрузочных оборудования и могут быть использованы на аналогичных карьерах.

ABSTARCT

This dissertation presents a comprehensive analysis of the current state of excavation and loading operations at the Donskoy mine and proposes a scientific justification for measures aimed at their optimization. The main production challenges have been identified: low equipment utilization rates, outdated dispatching systems, incomplete loading of transport equipment, and inefficient route planning.

Special emphasis is placed on evaluating the technical parameters of excavators and dump trucks, as well as on the optimal selection of transport types considering production and economic indicators. Additionally, as a second optimization direction, the implementation of modern digital solutions is considered, including automated dispatch systems, load control sensors, and transportation planning tools.

The proposed measures are aimed at improving production efficiency, reducing equipment downtime, and enhancing working conditions for other enterprises in the mining and processing sectors.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника	9
1.1	Геологическая характеристика Донского рудника	9
1.2	Техническое описание и параметры карьеров рудника	14
1.3	Текущие технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах рудника	19
1.4	Производственный мониторинг и анализ текущей инфраструктуры рудника	29
	Выводы по первой главе	37
2	Разработка предложений по совершенствованию технологии выемочно-погрузочных работ с использованием современных цифровых решений и рационального подбора автотранспорта	38
2.1	Способы внедрения цифровизаций для оптимизации управления и контроля выемочно-погрузочных процессов	38
2.2	Рациональный выбор автотранспорта из текущего парка рудника	41
2.3	Анализ производительности автосамосвала R-170	46
	Выводы по второй главе	47
3	Оценка эффективности цифровых решений и обоснование использования автосамосвала R-170	50
3.1	Оценка экономической эффективности цифровых программно-технических решений	50
3.2	Технико-экономическое обоснование использования автосамосвала R-170 в качестве оборудования для транспортировки на руднике	54
	Выводы по третьей главе	59
	Заключение	
	Список использованной литературы	
	Приложение А	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В современном горнодобывающем производстве особое внимание уделяется совершенствованию методов открытой разработки полезных ископаемых для повышения производственной мощности карьеров. Эффективность горных работ напрямую связана с применением современных технологий и оборудования, в том числе экскаваторов, автосамосвалов, буровых установок и других единиц, обеспечивающих выполнение выемочно-погрузочных процессов. На горных предприятиях используются разнообразные машины, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения в зависимости от конкретных горно-геологических условий.

В производственном моменте одной из наиболее актуальных задач в настоящее время является повышение эффективности работы техники и снижение затрат при одновременном учете требований охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов. Особенно важными остаются этапы выемки и транспортировки горной массы, которые определяют экономические показатели и производственную устойчивость карьеров. В современных условиях необходим комплексный подход, который объединяет технические аспекты эксплуатации горной техники и возможности цифровизации, включая применение датчиков, систем мониторинга и автоматизированных диспетчерских систем.

Научная новизна темы:

1) Ранее вопросы выемочно-погрузочных процессов рассматривались с позиций использования конкретных видов оборудования, однако в современных условиях, наряду с этим возникает потребность в их адаптации к новым требованиям цифровизации, автоматизации учета и контроля.

2) Новизна настоящего исследования заключается в комплексной оценке текущего состояния выемочно-погрузочных работ на Донском руднике с учетом существующих инфраструктурных единиц, технического состояния оборудования и производственных показателей. Дополнительно проведен обоснованный выбор автотранспорта на основе эксплуатационных и экономических параметров, а также рассмотрены возможности цифровой модернизации диспетчерского управления.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Исследование основано на данных о производственной деятельности Донского рудника, а также на систематическом анализе существующих технологических процессов и схем организации горных работ в горнодобывающей отрасли. В работе учтён опыт аналогичных предприятий, где применялись цифровые системы диспетчеризации и современные подходы к выбору автотранспорта для повышения производственной эффективности и обеспечения экологической устойчивости.

Цель диссертации - разработка и обоснование предложений по оптимизации технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника с учетом использования рационального подбора автотранспорта и современных цифровых решений.

Объект исследования. Комплекс по открытым способам разработки Донского горно-обогатительного комбината (ДГОК) – Донской рудник.

Предмет исследования. Технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника и других значимых горных инфраструктурных единиц, а также возможности их совершенствования путем внедрения современных цифровых систем управления и рационального выбора автотранспорта.

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы (НИР) в целом. В соответствии с поставленной задачей определены задачи, которые необходимо решить в данной работе:

1) Провести анализ техники, технологий и методов выполнения выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника, включая сбор и обобщение данных о существующих методиках, их производственной результативности, а также выявление ключевых проблемных зон. Это позволяет создать базу для дальнейшей разработки рекомендаций.

2) Исследовать технические и эксплуатационные характеристики автотранспорта, используемого на карьерах Донского рудника, а также обосновать рациональный выбор его типов с учетом специфики условий и экономической целесообразности.

3) Разработать комплексные предложения по совершенствованию технологии выемочно-погрузочных работ на основе интеграции современных цифровых решений и оптимального подбора автотранспорта, включая планирование организационных изменений и прогнозирование технико-экономических результатов.

Публикации и апробация работы.

Научная статья на тему «Интегрированный подход к оптимизации вскрыши и снижению потерь и разубоживания руды», №2 (278), 21 мая 2025 г. «Международный научный журнал АКАДЕМИК» - 72-75 с.

1 Анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на карьерах Донского рудника

1.1 Геологическая характеристика Донского рудника

Хромитовые месторождения, которые входят в сырьевую базу Донского горно-обогатительного комбината, расположены в Хромтауском районе Актюбинской области Республики Казахстан. В данном административном районе функционирует развитая горнодобывающая отрасль, основанная на разработке Кемпирсайского ультраосновного массива.

К числу объектов открытой добычи рудника «Донской» относятся месторождения «XX лет Казахской ССР» и «Геофизическое VII». Первый участок находится в 10 км к северу от железнодорожной станции Дон, второй — в 4 км к северо-западу от неё. Добыча ведётся карьерным способом в соответствии с проектной документацией. Рудные тела размещены на восточном склоне Орь-Илекского водораздела, который входит в систему Северных Мугоджар. Рельеф местности ровный, с абсолютными высотами от 385 до 420 метров. Гидрографическая сеть принадлежит бассейну реки Орь, впадающей в Урал, который протекает более чем в 45 км к востоку от города Хромтау.

Климат региона — резко континентальный. Лето характеризуется высокими температурами и засухой, зима — длительными морозами. По СНиП РК 2.04-01-2010 «Строительная климатология» территория относится к IIIА климатическому подрайону. Среднегодовая температура воздуха равна +4,2°C, с экстремальными значениями от -48°C до +42°C. Преобладают ветреные условия. Глубина сезонного промерзания грунта составляет от 1,5 до 2,0 метров.

Производственная деятельность Донского ГОКа направлена на добычу и переработку хромитовой руды. Основная продукция включает хромовый концентрат, дроблёную руду и окатыши. Отгрузка осуществляется через железнодорожную станцию Дон, которая обеспечивает поставки на ферросплавные заводы в городах Актобе и Аксу, а также на предприятия в Российской Федерации.

Транспортная инфраструктура включает автомобильное и железнодорожное сообщения. Связь с областным центром, городом Актобе, осуществляется по асфальтированной автодороге длиной 110 км и железнодорожной линии протяжённостью 210 км, проходящей через станции Никельтау и Кандыгааш.

Основполагающим геологическим объектом рудника является Кемпирсайский ультраосновной массив. Массив вытянут в субмеридиональном направлении на 82 км. Ширина массива в плане колеблется от 0,6 км. Месторождения приурочены к юго-восточной части Кемпирсайского массива на севере до 31,6 км на юге. Площадь массива по

Восточная рудоносная зона имеет такую же ориентировку, что и Западная. В пределах ее находятся месторождения Восход, Караагаш, № 21, Спорное, Спутник, Гигант, Геофизические II и VI, Соловьевское, им. 40 лет КазССР - Молодежное и Вкрапленное.

Сарсайская группа месторождений находится в 5 км к северо-востоку от Джангиз-Агачской группы и в 4-5 км к юго-востоку от поселка Сарсай. К Сарсайской группе относится месторождение 40 лет КазССР-Молодежное.

Питьевое и техническое водоснабжение предприятия обеспечивается за счёт подземных вод, подаваемых через действующие водозаборные сооружения.

Месторождение «XX лет КазССР» входит в состав Жангиз–Агашской группы, расположено в восточной части Южно-Кемпирсайского рудного района. Вмещающими рудные тела породами являются серпентиниты, серпентиниты по дунитам и пироксеновым дунитам.

Породы Кемпирсайского ультраосновного массива на месторождении перекрыты маломощным платформенным чехлом, который представлен отложениями мезокайнозоя.

Месторождение представлено 10 основными рудными телами. По промышленным категориям (В+С₁) разведаны самые крупные рудные тела 1, 2 и 10, в которых сосредоточено 89 % всех запасов. Подробные данные о запасах по рудным телам показан в таблице 1.1.

Форма их линзовидная, простирание меридиональное, падение западное под углом 5-15° (рудное тело № 9) и от 0 до 8° (рудное тело № 10). Установленная длина по простиранию рудного тела № 9 равна 130,0 м, ширина в плане до 100,0 м; максимальная мощность - до 35,0 м.

Длина по простиранию рудного тела № 10 достигает 290,0 м, ширина в плане от 70 до 130,0 м, мощность от 10 до 35,0 м.

Таблица 1.1 - Данные о запасах по рудным телам

Рудное тело №1	- 1612,69 тыс. т или 5,3 % к общим запасам
Рудное тело № 2	- 23827,08 тыс. т или 77,5 %
Рудное тело № 3	- 219,73 тыс. т или 0,6 %
Рудное тело № 4	- 309,36 тыс. т или 1,1 %
Рудное тело № 5	- 691,80 тыс. т или 2,1 %
Рудное тело № 6	- 142,18 тыс. т или 0,5 %
Рудное тело № 7	- 322,17 тыс. т или 1,1 %
Рудное тело № 8	- 124,56 тыс. т или 0,4 %
Рудное тело № 9	- 492,77 тыс. т или 1,6 %
Рудное тело № 10	- 1892,72 тыс. т или 5,9 %
Прочие	- 1238,55 тыс. т или 3,9 %

Контакты рудных тел с вмещающими породами в большинстве случаев нормальные и реже тектонические.

За исключением рудного тела № 10 к текущему моменту все отработаны открытым способом.

По сложности геологического строения рудное тело 10 месторождения «XX лет Казахской ССР» отнесено к 3-й группе «Месторождение очень сложного геологического строения, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения». К этой же группе отнесено новое рудное тело, выявленное при расширении карьера «Южный» в процессе реконструкции, в восточном борту на гор. 340-320 м, названное «Восточным». Балансовые запасы и качество хромовых руд погоризонтно указаны в таблице 1.2.

Руды месторождения вкрапленные и сплошные массивные, от мелко- до крупнозернистых. Преобладают вкрапленные разновидности: густо-, средне- и редковкрапленные. Основным рудным минералом является магнохромит.

Таблица 1.2 – Балансовые запасы и качество хромовых руд месторождения «XX лет Каз. ССР», по состоянию на 1 января 2023 года

Горизонт	Запасы руды, тыс. т	Содержание Cr ₂ O ₃ ,(%)
350	0,059	38,7
340	20,565	38,7
330	46,267	38,7
320	69,187	38,7
310	18,779	38,7
160	496,6	52,42
150	605,7	52,85
140	524,0	53,05
130	355,0	53,25
120	190,3	53,35
110	111,864	53,55
100	69,268	53,55
Итого	2523,139	52,09

Рыхлые хромовые руды имеют коэффициент крепости $f = 4-6$, плотность от 2,9 до 3,7 т/м³ в зависимости от степени разрушенности и содержания окиси хрома. Пористость их колеблется в пределах 10-35%, влажность естественная (в массиве) – 2-15%. Коэффициент разрыхления составляет 1,6, вес в отбитом (разрыхленном) состоянии – 2,3 т/м³.

Крепкие хромовые руды имеют коэффициент крепости ($f=8$), среднюю плотность – 3,3-3,8 т/м³ в зависимости от содержания в них окиси хрома. Влажность их не превышает 5%, коэффициент разрыхления равен 1,6, плотность в разрыхленном состоянии – 2,3 т/м³. По классификации крепкие хромовые руды имеют VI-VIII категорию буримости [4].

Утвержденные запасы хромовых руд месторождения «XX лет Казахской ССР» для условий открытой добычи по состоянию на 02.01.2017 г.

Хромитовые руды имеют коэффициент крепости 6-10, плотность (объемную массу) – 3,5 т/м³ и коэффициент разрыхления 1,5.

Рудные тела месторождения имеют форму вытянутых линз, кулисообразно заходящих друг за друга. Мощность рудных тел уменьшается к периферии. Контакты рудных тел с вмещающими породами четкие, прослои вмещающих пород и некондиционных руд незначительные. Параметры рудных тел приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Параметры рудных тел месторождения «Геофизическое XI»

№ рудного тела	Протяженность рудного тела, м	Ширина рудного тела, м	Максимальная мощность рудного тела от - до, м	Глубина подсечения рудного тела, м	
				от	до
1	120	11	6,8 - 35	11,6	67,6
2	113	21	5,0 - 29	82,2	124,85
6	127	21	1,9 – 27,2	26,7	163,7
8	62	40	11,6 - 22,6	169,4	211,6
7	105	40	3,4 - 28,1	13,1	65,6

1.2 Техническое описание и параметры карьеров рудника

Кемпирсайский ультраосновной массив представляет собой уникальную геологическую структуру, которая является основным активом минерально-сырьевой базы Донского горно-обогатительного комбината. Входящие в состав массива количество действующих на данный момент месторождения для открытых разработок невелики, не считая полностью отработанные месторождения, можно учесть следующий перечень: «Геофизическое IX», «Геофизическое XI», «XX лет Казахской ССР».

Исходя из уникальной и почти абсолютной горно-геологической структуры массива, можно отметить, что месторождения Геофизическое IX, Геофизическое XI, XX лет Казахской ССР а также Июньское объединяет территориальная сближенность, синхронность и сингенетичность образования, одинаковая морфология рудных тел, идентичный минеральный и химический состав. Для месторождений характерен хромшпинелид - магнхромит (Mg, Fe) (Cr, Al, Fe)₂O₄, обеспечивающий пригодность руд для металлургического передела, изготовления специфических химических продуктов и огнеупоров.

Проведенные на месторождениях Июньское, Геофизическое IX, Геофизическое X, XX лет Казахской ССР разведочные работы имели своей конечной целью выполнение геолого-экономической оценки объекта и подготовку его к промышленному освоению в условиях действующего горнодобывающего предприятия ОАО «Донской ГОК». Поэтому, при

подсчете запасов рудных тел используются уже утвержденные и действующие для месторождений аналогичных хромовых руд параметры постоянных кондиций, разработанные институтом «Уралгипроруда» и утвержденные ГКЗ СССР протоколом №2343 от 14.04.1989 года [1,6].

Параметры действующих кондиций:

- бортовое содержание окиси хрома в пробе - 20%;
- минимальная промышленная мощность рудных тел - 2 м;
- максимальная мощность пустых прослоев - 4 м.

При малых мощностях, но высоких содержаниях используется соответствующий метропроцент - 40 м%.

Для того, чтобы оценить обоснованность применения основных параметров кондиций на месторождениях Июньское, Геофизическое IX, XX лет КазССР и Геофизическое XI проведён анализ горно-геологических статистических, геологических, горнотехнических условий месторождений и укрупнённых технико-экономических показателей разработки запасов в современных условиях.

В целом анализ показал относительно не сложное строение рудоносных зон с равномерным распределением содержаний полезного компонента.

Утвержденные объемы балансовых и забалансовых запасов на месторождении Геофизическое XI, XX лет Казахской ССР по «Отчету о результатах разведки малых месторождений XX лет Казахской ССР Геофизическое IX, Геофизическое XI, Июньское на Южно-Кемпирсайском рудном поле в Актюбинской области с подсчетом запасов хромовых руд по состоянию на 01.01.2024г» в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Запасы и среднее содержание окиси хрома месторождении

Показатели	Запасы руды, т. т.	Содержание, % Cr ₂ O ₃
Всего балансовые	125,078	43,44
Всего забалансовые	27,828	39,08
Всего геолог.запасов	152,907	42,65

Расчёт товарной руды проводился общепринятым способом с учетом потерь и разубоживания. Показатели потерь и разубоживания предоставлены техническим отделом Донского ГОКа, по аналогии с аналогичными эксплуатируемыми месторождениями хромовых руд Южно-Кемпирсайской группы, в размере 2,0% потерь и 13,0% разубоживания, для открытого способа разработки [2,17].

Потери руды, происходящие при отработке подэтажей, складываются из конструктивных потерь: и эксплуатационных потерь которые рассчитываются по соответствующей методике.

Разубоживание руды, образуемое при отработке блока, складывается из следующего:

- конструктивного разубоживания, определяемого графически по строению на разрезах, из-за невыдержанности контуров рудного тела, наличия породных включений в рудном массиве;
- эксплуатационного разубоживания отбитой руды, рассчитываемого по соответствующей методике.

Конструктивное и эксплуатационное разубоживание отбитой руды в сумме составляет общее проектное разубоживание ($R_{пр}$). Расчёт потерь и разубоживания руды при выпуске под обрушенными породами выполнен согласно Методическому указанию ОАО «Донской ГОК» «По определению, учету и нормированию потерь и разубоживания руды на карьерах и шахтах Донского ГОКа». Границы карьера Геофизический XI соответственного месторождения определяются исходя из залегания рудных тел на основании горно-экономической оценки согласно действующему ТЭО кондиций. Глубина карьера Геофизический XI составляет 50 м (дно карьера гор.+310 м), ширина карьера поверху 210 м, длина карьера поверху 320 м, объем горной массы в контуре карьера 1 225,1 тыс.м³, Средний коэффициент вскрыши 8,61. Углы погашения бортов карьера определялись с учетом многолетней практики эксплуатации карьеров Донского ГОКа, в частности, карьеров «Южный» (XX лет Казахской ССР) и «Поисковый» (Поисковое). Угол погашения бортов карьера составляет 55-60°.

Исходя из результатов прироста объема запасов месторождения, а также условий залегания части этих запасов (размещение за проектным контуром по северному, южному, западному и восточному бортам) главной задачей при проектировании был выбор целесообразной схемы вскрытия доразведанных запасов месторождения, обеспечивающий минимальный объем вскрышных, горно-капитальных, подготовительных работ.

Складирование вскрыши так же будет производиться в выработанное пространство карьеров «Поисковый» и отработанной северной части карьера «Южный». Для выполнения работ по отработке запасов за контуром карьера предусматривается отсыпка транспортного съезда с запада гор.+220 м с выходом на восточный существующий съезд по отметке 179 м.

Сохранены все параметры действующего проекта промышленной разработки месторождений хромовых руд углы откосов уступов, результирующие углы бортов, ширина предохранительных берм и транспортных берм, за исключением отработки восточного борта с отм. 150-130 м с целью максимального извлечения полезного ископаемого. Ширина предохранительных берм и углы уступов приняты в соответствии с рекомендациями ВИОГЕМ и ВНИМИ и физико-механических свойств пород, высота уступа принята в соответствии с существующим экскаваторным парком [3].

Проектирование карьеров в рамках настоящего проекта выполнялось с использованием современной геоинформационной системы Micromine, которая широко применяется в горнодобывающей промышленности для

моделирования и планирования горных работ. В данной программе реализован широкий функционал, позволяющий в трехмерном пространстве проводить детальное каркасное моделирование рудных тел, осуществлять построение геологических моделей, а также визуализировать и корректно оконтуривать границы предполагаемого карьера.

Все параметры проектируемых карьеров по данному месторождению были приняты в соответствии с действующими нормативами технологического проектирования, а также с учетом положений документа «Требования промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом», регламентирующего безопасные условия ведения открытых горных работ.

План карьера Южный с разделениями по участкам А и В показан на рисунке 1.3.

Основные технико-экономические и геометрические параметры карьеров приведены в таблицах 1.5 и 1.6, в которых отражены принятые значения высоты уступов, ширины берм, углов откосов, глубины карьера и т.д.

Таблица 1.5 – Параметры эксплуатационных объемов карьеров

Карьер	Объем горной массы	Запасы руды	Объем вскрыши	Коэф. вскрыши	Отметка днища	Глубина	Ширина по поверхн.	Длина по поверхн.	Площадь
ед.изм.	тыс.м ³	тыс. т	тыс.м ³	м ³ /т	м	м	м	м	тыс.м ²
Южный	1 624,2	2 437,1	990,9	0,41	+120	320	430	1100	316,9
Геофиз-ХІ	1225,1	152,9	1180	7,8	+310	50	210	320	242,2
По участкам карьера Южный									
Участок А	1 250,2	2 318,5	652,4	0,28	+120	320	220	330	54,6
Участок В	374,0	118,6	338,5	2,85	+310	130	80	470	32,3

Таблица 1.6 – Параметры элементов карьеров

Параметры	ед.изм.	знач.
Высота уступов	м	10
Угол откоса уступов	град.	45-60
Ширина транспортной бермы	м	25-30
Ширина предохранительной бермы	м	3,5
Уклон автодорог	‰	80

Система разработки карьеров транспортная с внешним и внутренним отвалообразованием.

Технология отработки борта с поперечным перемещением фронта горных работ и отработкой приконтурной полосы шириной 30-50 метров с применением многорядного направленного взрывания скважин.

Технология горных работ цикличная – с применением буровзрывных работ, экскаваторной погрузки и автомобильного транспорта горной массы.

Дополнения к основным элементам системы разработки:

- ширина рабочих площадок – 70-30 м;
- ширина разрезной траншеи по дну – 30 м;
- длина фронта работ на один экскаватор – 100 - 250 м;
- скорость понижения горных работ – 20-30 м/год;
- скорость продвижения фронта работ – 20 м.

Новый горизонт после проходки по предельному борту карьера очередного съезда стационарной трассы подготавливается разрезной траншеей, ориентированной по простиранию рудной залежи. Ее проходка осуществляется торцевым забоем с включением в отработку всей рудной зоны, что обеспечивается соответствующей шириной дна проводимой разрезной траншеи. Таким образом, одновременно с подготовкой горизонта осуществляются добычные работы.

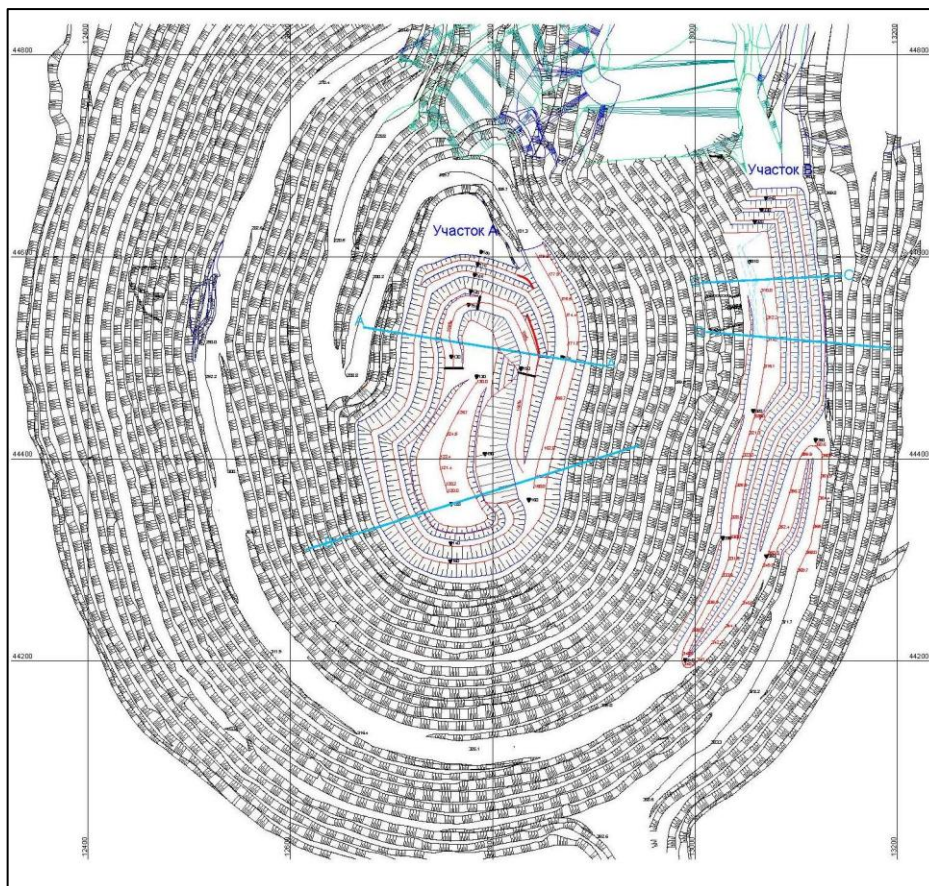


Рисунок 1.3 – План карьера «Южный»

1.3 Текущие технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах рудника

Технология горных работ организована по цикличной схеме, предполагающей применение буровзрывных работ, экскаваторной погрузки, автомобильного транспорта горной массы и водоотлива. Такой подход позволяет эффективно сочетать все этапы процесса и обеспечить непрерывность добычи полезных ископаемых.

Форма и залегание рудных тел, объемы работ предопределили применение транспортной углубочной системы разработки. Принимая во внимание имеющееся горнотранспортное оборудование и объемы работ наиболее целесообразной является применение следующей структуры комплексной механизации: рыхление скальной горной массы производится буровзрывным способом с применением буровых станков вращательного бурения с диаметром скважин 244,5 мм, на погрузочно-транспортных работах будут использоваться гидравлические экскаваторы с емкостью ковша 5-10, 12 м³ в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью в значениях 45-155 тонн, на работах на рудном складе и отвале пустых пород предусматривается применение гусеничных бульдозеров типа CAT D9R, и др. техники по мере их нужды.

Режим работы карьера принят существующий по непрерывному графику производственного процесса 352 рабочих дней в году, продолжительность смены в целях бесперебойной работы участков и служб предусматривается:

- для экскаваторных работ: 352 рабочих дней в году;
- продолжительность смены 10 часов при двухсменном режиме работы;
- для буровых работ: 352 рабочих дней в году, продолжительность смены 10 часов при двухсменном режиме работы;
- для машинистов грейдера, машиниста бульдозера, водителей автосамосвалов в режиме экскаваторных работ;
- для ремонтного персонала: 352 рабочих дней в году, продолжительность смены 8 часов при трехсменном режиме работы.

Прочий персонал за исключением технологического персонала работают по 5-ти дневке с 8-ми часовым режимом работы.

Вывозка сырой руды железнодорожным транспортом при помощи ручных эстакад автопогрузчиками осуществляется в режиме работы «Дробильно-обоганительной фабрики» (ДОФ) и «Фабрики обогащения и окомкования руд» (ФООР).

Календарный план отработки карьера учитывал следующие факторы развития:

- достижение расчетной месячной мощности карьера по добыче руды в 25,0-33,3 тыс. т/мес., исходя из годовой производительности 300-400 тыс. т/год соответственно;

- стабилизации объемов добываемой горной массы при продолжительности периода со стабильной производительностью не менее трех лет с учетом минимизации пиковых нагрузок по грузовой работе автотранспорта.

В настоящее время работы по карьеру Южный ведутся по рабочим проектам «Проект промышленной разработки месторождений хромовых руд» и «Реконструкция карьера «Южный» для поддержания мощности до 400 тысяч тонн руды в год» на основании «Проекта промышленной разработки месторождений хромовых руд «XX лет Каз. ССР» разработанный институтом «Казгипроцветмет» 2019 года.

Календарный план открытых горных работ по Южному карьеру приведен в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Календарный план открытых горных работ по Южному

Показат.	Ед. изм.	Всего	Участок А					Уч. В
			2022	2023	2024	2025	2026	2025
Горная масса	тыс. м ³	1 624.3	320.0	350.0	300.0	250.0	30.2	374.04
Руда	тыс. т	2 437.1	600.0	650.0	550.0	470.0	48.5	118.6
	тыс. м ³	633.3	154.7	167.6	141.8	121.2	12.5	35.5
Вскрыша	тыс. м ³	991.0	165.3	182.4	158.2	128.8	17.7	338.5
Коэф-т вскрыши	м ³ /т	0.41	0.28	0.28	0.29	0.27	0.37	2.85

Основные рабочие параметры и размеры ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-5А и Hitachi приведены в таблице 1.8.

Основной объём вскрышных работ на карьерах ведётся уступами с высотой 10 метров. Для механизации процессов применяются гусеничные экскаваторы прямой лопаты ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, а также гидравлические экскаваторы Hitachi EX1900-6.

В зависимости от условий работы, такие 10-метровые уступы могут осваиваться поэтапно, с делением на подступы высотой по 5 метров или менее. При разработке капитальных бортов карьера производится заоткоска погашенных уступов с приведением их геометрических параметров к устойчивому состоянию.

Угол откоса погашенного уступа должен строго соответствовать нормативным значениям, указанным в таблице 1.10.

Выемка вскрышных пород сопровождается их вывозом и складированием либо во внешние отвалы, размещённые за пределами контура карьера, либо в выработанное карьерное пространство, освободившееся в процессе отработки полезной залежи.

Формирование породных отвалов осуществляется в полном соответствии с утверждёнными технологическими регламентами предприятия, такими как «На ведение работ по отвалообразованию», а также иными внутренними инструкциями и производственно-технологической документацией.

Основные параметры автосамосвалов Volvo Euclid R-170, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75471 приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Основные рабочие параметры и размеры ЭКГ-8И и ЭКГ-10, ЭКГ-5А, Hitachi EX1900-6

Наименование основных размеров и параметров	Ед. изм.	ЭКГ8И ЭКГ10	ЭКГ 5А	EX1900-6
1	2	3	4	5
Емкость ковша	м ³	8 и 10	4,6-6,3	11
Радиус черпания на уровне стояния	м	12 и 12,6	9,04-9,3	7,65
Наибольший радиус черпания	м	18,2 и 18,4	14,5	13,4
Наибольшая высота черпания	м	13,16 и 13,5	10,3	14,6
Наибольший радиус разгрузки	м	16,3 и 16,3	12,65	10,4
Радиус разгрузки при наибольшей высоте разгрузки	м	15,6	-	14
Высота разгрузки при наибольшем радиусе разгрузки	м	6,1 и 7,6	4,8	6,8
Наибольшая высота разгрузки	м	9,2 и 10	6,75	10,4
Ширина ЭКГ/«Хитачи» габаритная	м	7,69	5,01	6,43
Высота ЭКГ без стрелы (по двуногой стойке)	м	6,73 и 11,54	5,46	-
Высота «Хитачи» по крыше кабины/кузова	м	-	-	7,5
Масса с противовесом	т	370 и 384,5	195,5	191,0
Скорость передвижения по горизонтальной площадке	км/ч	0,42-0,45 и 0,7	0,55	2,1-2,8
Цикл экскавации	сек	28 и 26	23	38-40
Длина ходовой части	м	7,95-8,23	6,08	7,48
Ширина гусеничного хода	м	6,98	5,23	5,62
Просвет под поворотной платформой	м	2,77	1,85	1,92

Таблица 1.9 – Основные параметры автосамосвалов Volvo Euclid R-170, БелАЗ 75131 и БелАЗ 75471 соответственно

Наименование основных размеров и параметров автосамосвалов	Ед. изм.	Параметры		
		Euclid R-170	БелАЗ 75131	БелАЗ 75471
Номинальная масса перевозимого груза	т	154	130-136	45
Масса автосамосвала без груза	т	114	107,1	33
Габариты, длина	мм	12 070	11 500	8 090
Ширина по шинам задних колес	мм	6 350	6 400	3 920
Высота (без груза) по боковому борту платформы (кузова)	мм	5 260	4 800	3 540
Ширина по платформе	мм	6 380	6 400	3 750
Радиус разворота автосамосвала	м	17	13	11,5

Основные типовые элементы, принятые в паспортах и документации приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Основные типовые элементы

Наименование элемента	Ед. изм.	Нормы
Высота уступов	м	1 - 10
Угол откоса рабочего уступа для пород: скальных рыхлых	градус	80 60
Ширина развала	м	25
Ширина экскаваторной заходки	м	19
Берма безопасности для пород: скальных рыхлых	м	3 - 3,3 5
Проезжая часть автодороги	м	24
Расстояние от автодороги до: призмы возможного обрушения первого ряда скважин	м	1 5-6
Расстояние от ЛЭП до: бермы безопасности кромки автодорог	м	2 2
Расстояние между опорами ЛЭП	м	50
Радиус разворота автомобилей: Volvo Euclid R-170 БелАЗ - 75131 БелАЗ - 75471	м	17 13 11,5
Углы откосов капитальных бортов в зависимости от горизонтов: Гор. 420м. Гор. 410-360м. Гор. 350-200м. Гор. 190-120м.	градус градус градус градус	45 50 55 60

Выемочные работы характеризуется объёмом вывозимой на отвалы вскрыши в единицу времени (час, смену, сутки, месяц, квартал, год) и накоплением с начала ведения горных работ до окончания эксплуатации карьера.

Учет объёма производится оперативно диспетчером рудника по количеству выполняемых автосамосвалами рейсов с определенными параметрами загрузки кузовов, с записью в оперативной карте диспетчера. Ежемесячно вывозимые объёмы вскрыши контролируются и при необходимости корректируются маркшейдерскими замерами с записью в «Учёте вскрыши и добычи по руднику «Донской» за месяц».

Ниже представлен перечень паспортов по соответствующим технологическим процессам.

Минимальное значение рабочей площадки соответствуя параметрам из руководства для операторов единиц были приняты следующим образом:

- для автосамосвалов БелАЗ-75471 - 36 м;
- для Volvo Euclid R-170 - 47м;
- для БелАЗ-75131 - 39 м.

Со стороны подвода ЛЭП, копается зумпф, обеспечивающий сбор всего водопритока. Производительность насоса рассчитывается на максимальный часовой приток воды. Вдоль нижней бровки траншеи устраивается дренажная канава глубиной 0,7 и шириной 1,0 м.

Приключательный пункт (ПП) устанавливается на одном горизонте с ЭКГ. При удалении ЭКГ на расстояние 100 м. ПП и опоры ЛЭП переносятся ближе к экскаваторам.

Бровка уступа на горизонте установки ЭКГ имеет предохранительную породную отсыпку высотой не менее 1,5 м и шириной по подошве – 3,0 м. Вдоль отрабатываемого уступа проходится дренажная канава.

Подошва забоя должна отрабатываться по проектным отметкам, разница в отметках по подошве не более 0,5м. Негабаритные валуны раскладываются вдоль отработанного уступа для вторичного дробления.

Паспорт на рисунке 1.4 составлен для производства горных работ при проходке разрезных траншей с кольцевым разворотом автосамосвалов БелАЗ-75471, БелАЗ-75131 и Volvo Euclid R-170. Минимальная ширина рабочей площадки – 32 м, маневровой – 23 м. Приближение автосамосвала к отработанному уступу - не ближе 2 м от ближнего к уступу колеса [16].

Паспорт на рисунке 1.5 составлен для производства вскрышных работ в скальных, предварительно взорванных породах, с погрузкой ЭКГ-8И; ЭКГ-10 в автосамосвалы Volvo Euclid R-170; БелАЗ-75471; БелАЗ-75131, с их тупиковой подачей под экскаватор, при продольным расположением ЛЭП и минимальной ширине рабочей площадки в 37 м.

На уступе не проводятся буровые работы, обустройство производится после отработки уступа. Автосамосвалы под экскаваторы подается задним ходом, длина пути при движении задним ходом не превышает 30 м. При такой

установке автосамосвалов сокращается угол погрузки экскаватора и снижается время на погрузку. Данный паспорт применяется в случаях при погашении горизонтов.

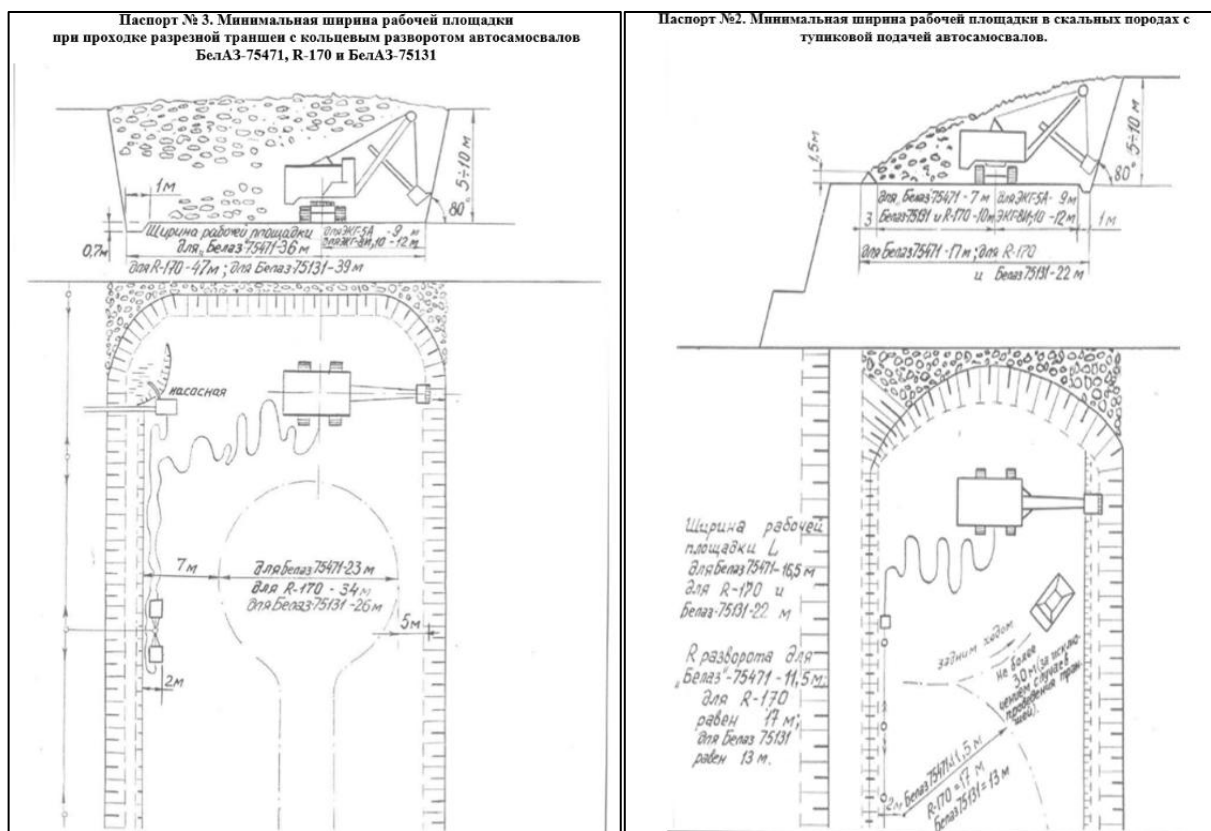


Рисунок 1.4 - Минимальная ширина рабочей площадки при проходке разрезной траншеи с кольцевым разворотом автосамосвалов БелАЗ-75471, Volvo Euclid R-170 и БелАЗ-75131 и в скальных породах с тупиковой подачей для автосамосвалов

Наибольшая ширина в паспорте по рисункам 1.6, 1.7 рабочей площадки составляет 77 м, ширина маневровой площадки - 56–60 м. ПП устанавливается на одном горизонте с экскаватором, на расстоянии 6 м от откоса уступа. Остальные параметры рабочей площадки принимаются по аналогии с паспортами из рисунка 2.3. Ниже указаны паспорта на рисунках 2.4, 2.5.

Из рисунка 1.8 паспорт тоже составлен для производства вскрышных работ в скальных, взорванных породах, но с погрузкой экскаватора Hitachi EX1900-6 с применением автосамосвалов Volvo Euclid R-170; БелАЗ-75131; БелАЗ-75471 с их круговым разворотом при одновременном проведении буровых работ на этом же горизонте.

На рисунке 1.8 параметры рабочей площадки чуть больше, ширина рабочей площадки для Volvo Euclid R-170 составляет 67 м, ширина маневровой площадки - 55 м. Ширина рабочей площадки для БелАЗ-75131 составляет 59 м, ширина маневровой площадки - 47 м. Ширина рабочей

площадки для БелАЗ-75471 составляет 56 м, ширина маневровой площадки - 44 м. Расстояние от оси движения автосамосвалов до ряда скважин не менее 6 м.

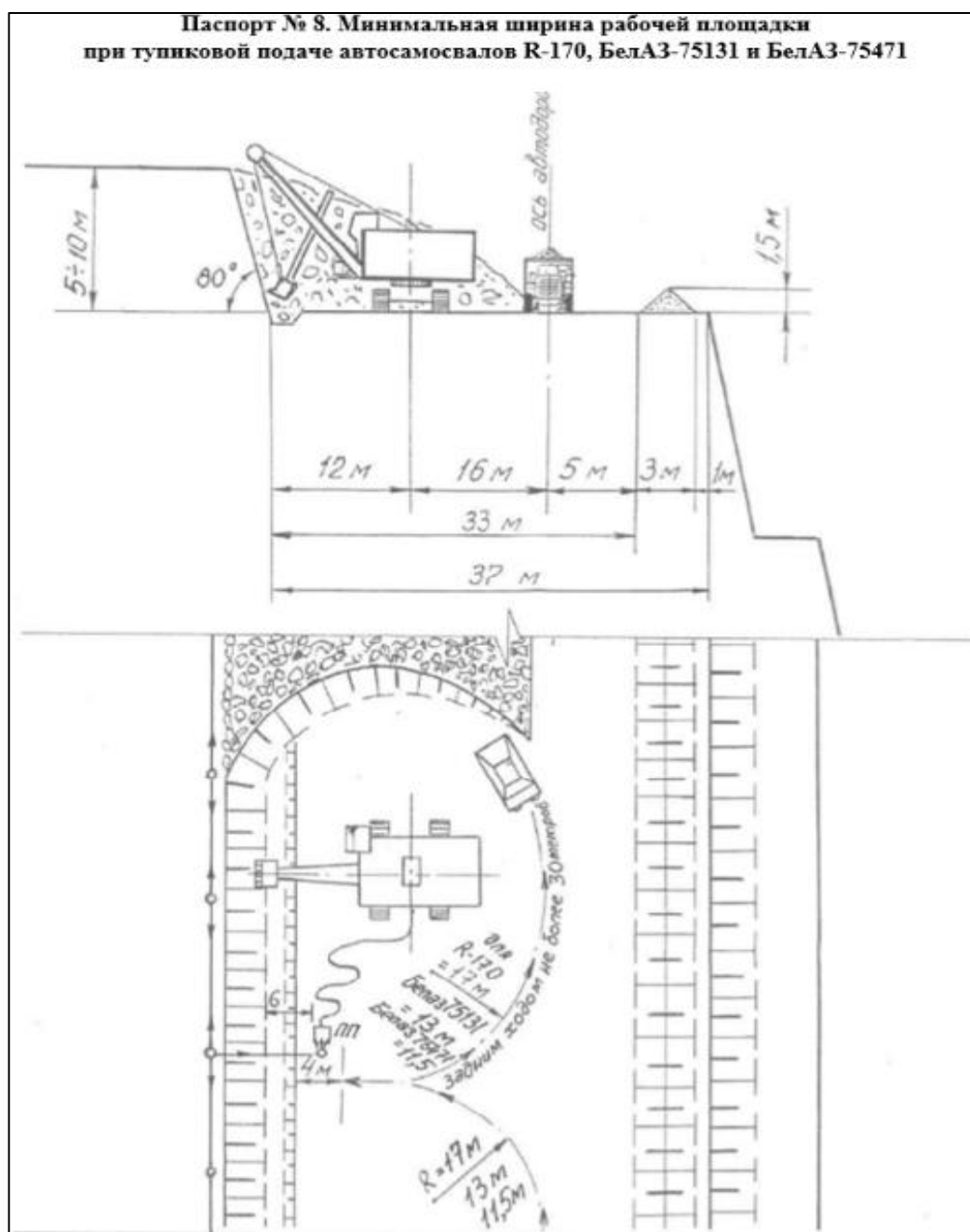


Рисунок 1.5 - Минимальная ширина рабочей площадки при тупиковой подаче автосамосвалов Volvo Euclid R-170, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75471

Рисунок 1.9 с паспортом демонстрирует технологический процесс загрузки автосамосвалов R-170 при транспортировании богатой и бедной руд. Погрузка выполняется в строгом соответствии с паспортной грузоподъемностью, с равномерным распределением массы по кузову для предотвращения смещения центра тяжести.

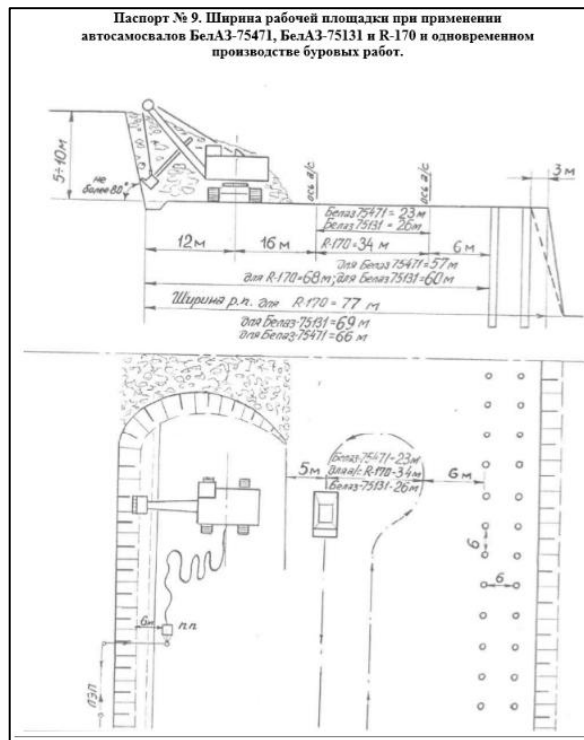


Рисунок 1.6 - Минимальная ширина РП при применении АС и одновременном производстве буровых работ

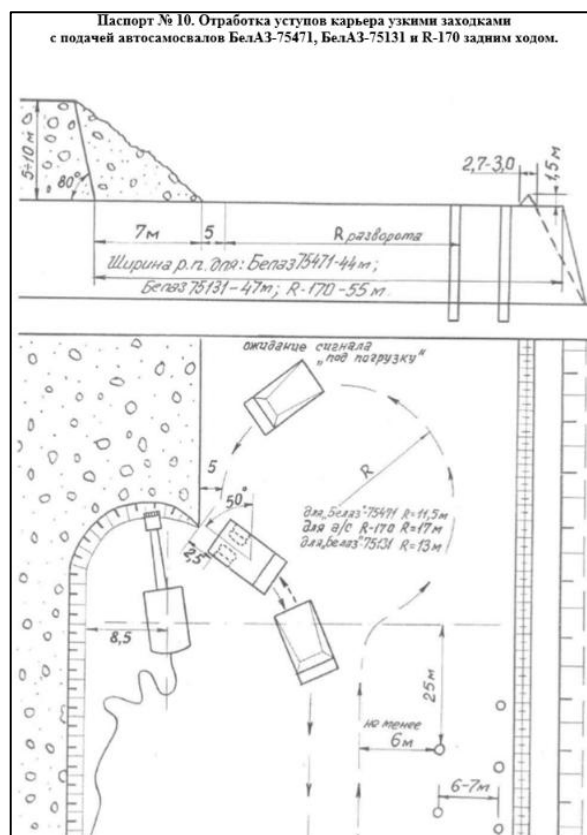


Рисунок 1.7 - Отработка уступов карьеров узкими заходками с подачи АС задним ходом

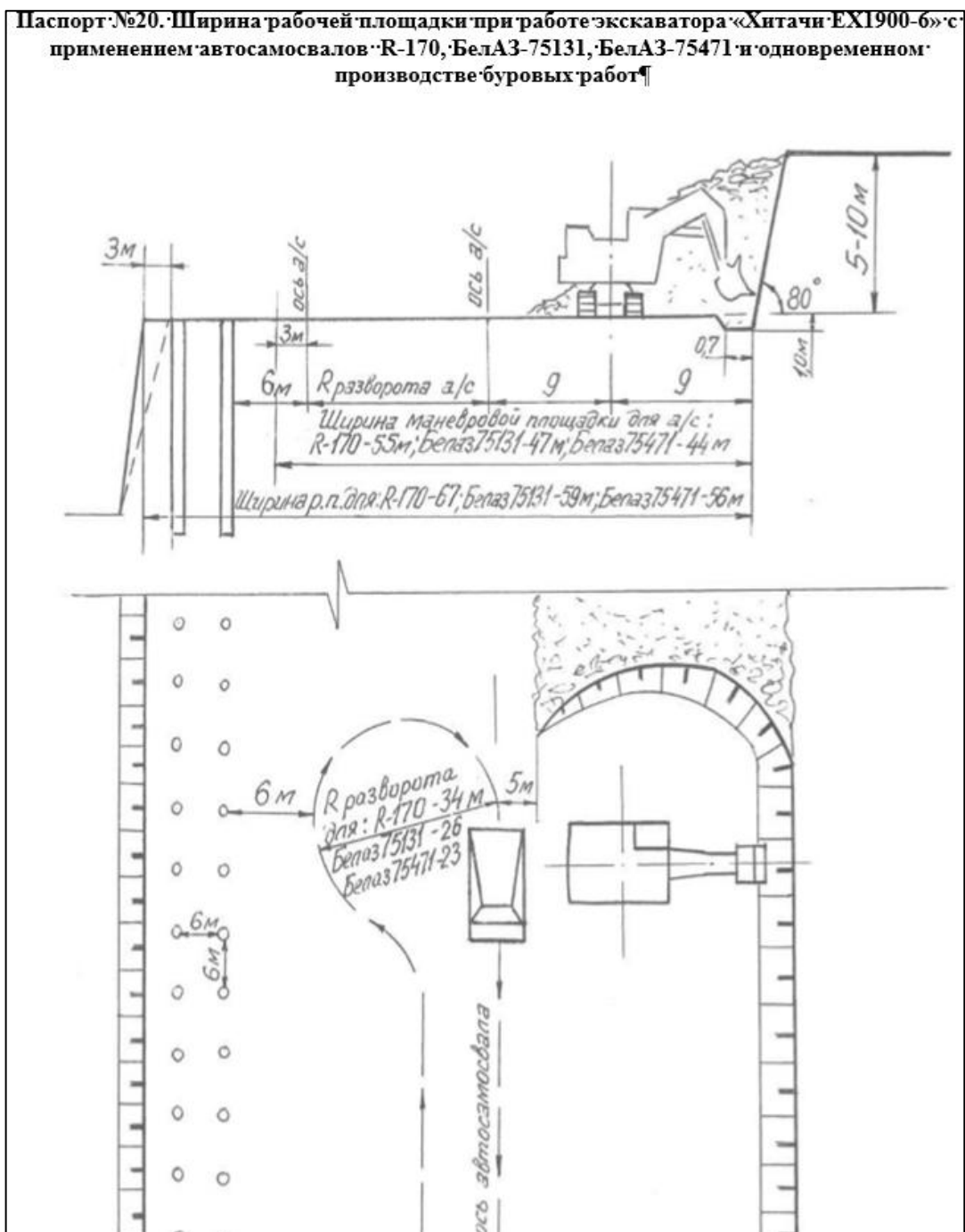


Рисунок 1.8 - Отработка уступов карьера узкими заходками с подачей автосамосвалов задним ходом при работе экскаватора Hitachi EX1900-6 с параллельно проходимым БВР

Первыми ковшами экскаватора загружается мелкий материал, создавая «подушку», предотвращающую удары крупных кусков по днищу кузова. Очистка кузовов от налипшей массы выполняется экскаваторами УДС и Caterpillar, при обязательной установке противооткатных клиньев и заглушенном двигателе. После очистки отгрузка ведется только с контролем исправного состояния кузова. В случае выявления несоответствий груз

регистрируется и направляется на усреднительный склад для корректирующих мероприятий.

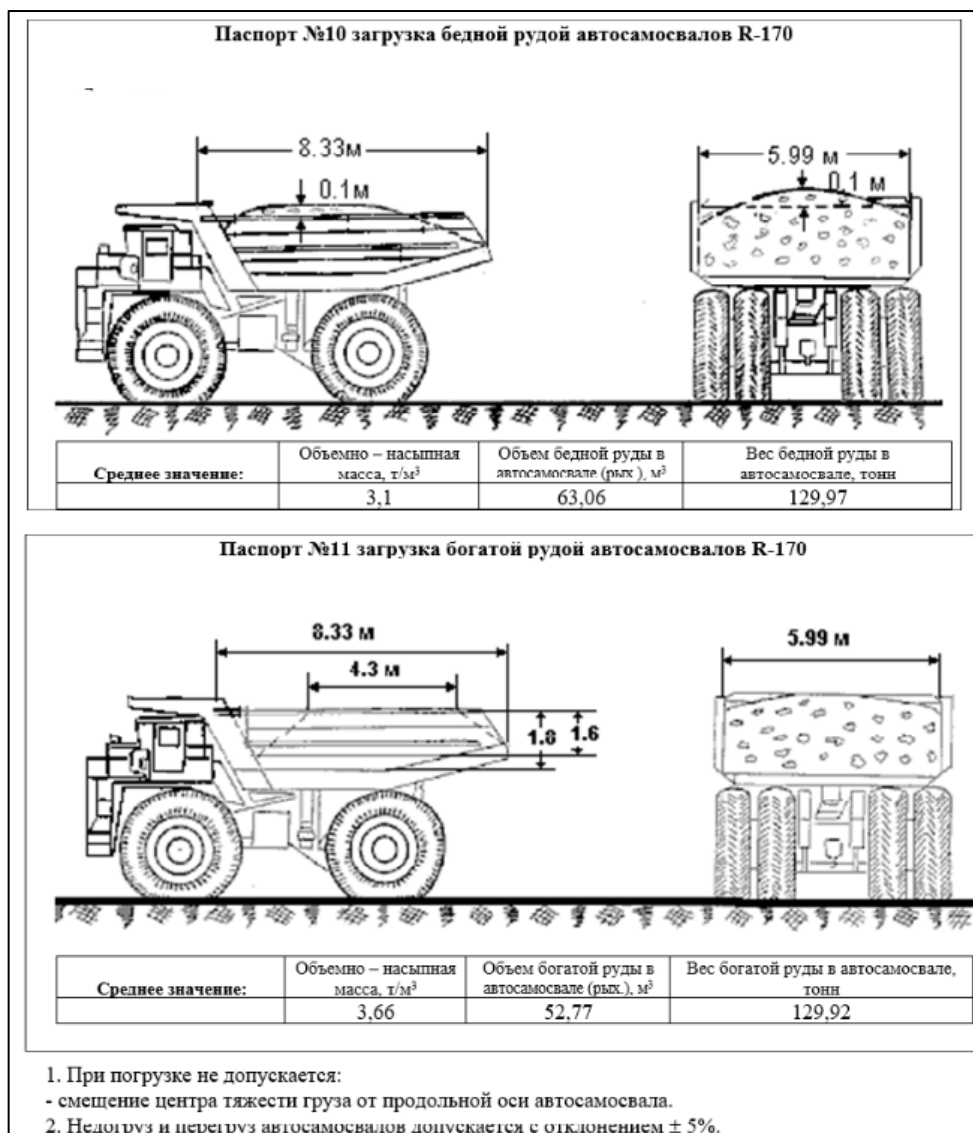


Рисунок 1.9 - Загрузка богатой и бедной рудами автосамосвалов Volvo Euclid R-170

Паспорта из рисунка 1.10 регламентируют загрузку автосамосвалов Volvo Euclid R-170, БелАЗ-75131, БелАЗ-75471, LGMG и аналогичных моделей грузоподъемностью от 10 тонн с насыпной эстакады, с выполнением погрузки сзади и сбоку. Погрузка осуществляется автопогрузчиком с обязательным соблюдением паспортной грузоподъемности и равномерного распределения массы горной массы по кузову, обеспечивая расположение центра тяжести на оси транспортного средства. Первоначальная укладка мелкофракционного материала формирует демпфирующий слой, предотвращающий удары крупных кусков о днище кузова. Высота падения материала из ковша автопогрузчика не превышает 3 метров.

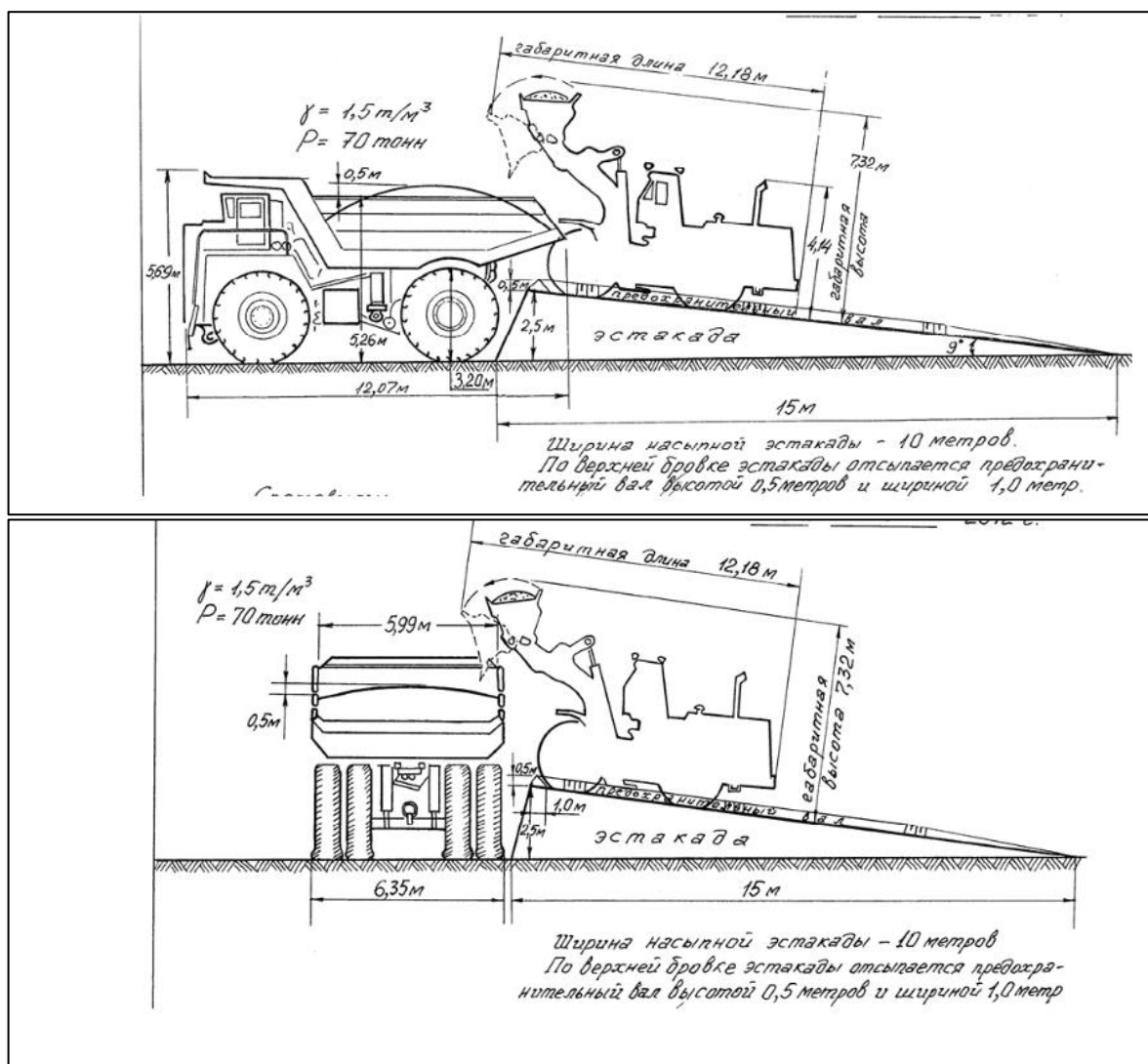


Рисунок 1.10 - Загрузка горной массой автосамосвалов грузоподъемностью от 10 тонн автопогрузчиком с насыпной эстакады (погрузка сзади и сбоку).

1.4 Производственный мониторинг и анализ текущей инфраструктуры рудника

Выемочно-погрузочные работы представляют собой важнейший элемент второго этапа открытых горных работ, который следует за этапом подготовки горных пород к добыче. На этом этапе транспортная технология предусматривает одновременную погрузку пород в транспортные средства с последующей доставкой их к местам дальнейшего использования: вскрышные породы вывозятся в отвалы, полезные ископаемые транспортируются на рудные склады, дальше с рудного склада производится загрузка думпкаров для отправки их в ДОФ/ ФООР.

По вскрышным работам на карьерах Донского рудника новый горизонт после проходки предельного борта карьера формируется с помощью разрезной траншеи, ориентированной в соответствии с простиранием рудного

тела. Проходка траншеи осуществляется с торцевого забоя, что обеспечивает включение в отработку всей рудной зоны за счёт оптимальной ширины дна траншеи, рассчитанной по проекту. Такой порядок позволяет совмещать подготовительные работы с проведением добычных, обеспечивая эффективное использование производственных мощностей. Высота уступа для добычных и вскрышных работ принимается 10 метров, а буровзрывные работы выполняются в зажатой среде на неподобранный забой для сохранения естественной структуры залегания рудного тела.

После завершения создания разрезной траншеи на новом горизонте начинается её расширение, при этом вскрышные работы выполняются продольными заходками, расположенными вдоль простираения рудного тела до достижения проектных контуров борта карьера. Такой порядок ведения горных работ, согласно классификации академика В.В. Ржевского, относится к кольцевой центральной системе разработки, которая обеспечивает рациональное использование горной массы, уменьшает объёмы внутренних перемещений и способствует повышению производительности всего технологического процесса.

Выемочно-погрузочные работы на вскрыше и добыче осуществляются несколькими гусеничными экскаваторами прямой лопаты ЭКГ, и гидравлическими Hitachi EX. Горная масса загружается в автотранспорт и перемещается вдоль фронта работ. По выездным траншеям породы направляются на внутренний отвал в отработанное пространство карьера «Поисковый» и северный борт карьера «Южный», что сокращает плечо откатки, руда – на рудный склад.

В соответствии с указанным порядком развития рабочей зоны вскрытие каждого нового горизонта осуществляется преимущественно в рудной зоне путем создания временного скользящего съезда в месте, удобном для беспрепятственной отработки его запасов и подготовки площадки для вскрытия нового нижележащего горизонта.

Уклон рекомендованных временных съездов – 80-100%.

Вскрытие «Участка В» карьера «Южный» предусмотрена с виража на север на горизонте +350, и отработку горизонта, перед этим расширяется восточная часть съездов горизонтов +360 и +370м, которую в свою очередь в дальнейшем обеспечит отработку нижележащих горизонтов.

Принятые отметки горизонтов: 350м, 340м, 330м, 320м, 310м, 170 м, 160 м, 150 м, 140 м, 130 м, 120 м.

Исходя из технологических парков с доступным единицами, для вскрышных и добычных работ используются экскаваторы ЭКГ-10 и ЭКГ-8И с электрическим приводом и вместимостью ковша соответственно 10 и 8 м³, и также HITACHI EX1900-6 с дизельным приводом и вместимостью ковша соответственно 12 м³. Для добычи руды предусмотрен ЭКГ-8И, а в качестве резерва — гидравлические экскаваторы HITACHI EX1200-6 с вместимостью ковша соответственно 6,5 м³.

В технологический комплекс горных работ включены следующие основные механизмы и оборудование: буровые станки типа СБШ-250МНА-32, которые используются для бурения взрывных скважин как в рудных, так и в породных забоях; экскаваторы ЭКГ-10 и ЭКГ-8И, HITACHI EX1900-6 и EX1200-6, выполняющие погрузку вскрышных пород и руды соответственно [5,15]. Для транспортирования горной массы применяются автосамосвалы БелАЗ 75131, БелАЗ-75471 грузоподъемностью 130 и 45 тонн соответственно, и Volvo Euclid R-170 грузоподъемностью 155 тонн, а в случае необходимости могут использоваться и другие машины аналогичных или меньших типоразмеров в зависимости от производственной ситуации, в резерве также имеются автопогрузчики марок DRESSA, Caterpillar и Komatsu. Основное и вспомогательное горное оборудование приведено в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Перечень основных и вспомогательных горных оборудования по руднику

Наименования оборудования	Кол-во шт.	Мощность оборудования		Вес оборудования, т
		кВт	л. с	
Экскаватор ЭКГ-10 (вскрышной)	2	750	1045	395
Экскаватор ЭКГ-8И (вскрышной)	1	630	880	325
Экскаватор ЭКГ-8И (добычной)	1	630	880	325
Экскаватор HITACHI EX1900-6 (вскрышной)	2	810	1090	191
Экскаватор HITACHI EX1200-6 (добычной)	1	567	790	112
Автосамосвал БелАЗ 75131	2	1050	1510	107,1
Автосамосвал БелАЗ-75471, г/п-45 т	3	405	550	33,1
Автосамосвал Volvo Euclid R-170	2	1193	1600	114
Автопогрузчик DRESSA L-534C	2	160	215	20,4
Автопогрузчик CAT 988H	1	414	555	50,1
Автопогрузчик Komatsu WA600	1	385	520	50
Буровой станок СБШ-250МН32	3	400	557	120
Зарядная машина МЗ-3Б на базе МА3-551605	1	243	330	27,4
Зарядная машина МЗ-4 на базе БелАЗ 7540В	1	265	360	40
Забоечная машина ЗС-3М	1	132	180	14,6
Бульдозер CAT D9R	1	306	410	49
Бульдозер CAT 824H колесный	1	264	360	28,7
Бульдозер колесный К-701	1	173	235	15
Автогрейдер CAT 16H	1	198	265	24,7
Топливозаправщик (11 т) КамАЗ	1	236	320	43
Автокран КС-4372 г/п 16 т	1	176	240	25
Поливооросительная машина БелАЗ-75471, г/п-45 т	1	405	550	33,1
Установка местн. проветривания УМП-1Б	1	370	500	32
Передвижная ремонтная мастерская ПРМ-100АСБ	1	132	180	11
Тягач-буксировщик БелАЗ-74242	1	882	1200	83
Экскаватор с гидромолотом CAT 318M	1	100	136	38
Строительная вышка АГП-22, на базе ЗИЛ-130	1	111	150	4,3
Насос ЦНСК 300-420	2	630	-	4,5

По анализу предварительного подбора наиболее рациональной транспортирующей единицы и умеренной ЭТР среди всех других единиц парка предлагается выбор Volvo Euclid R-170.

Автосамосвал Volvo Euclid R-170 (далее - R-170), изображённый на рисунке 1.11 классифицируется как тяжёлое карьерное автотранспортное средство, предназначенное для транспортировки больших объёмов вскрышных пород и руды на значительные расстояния. R170 относится к классу самосвалов большой грузоподъёмности. Его основные характеристики: полная масса до 114 тонн, грузоподъёмность 155 тонн, ёмкость кузова — около 90 м³. Исходя из паспортных данных по документации предприятия, имеющиеся машины оснащены дизельным двигателем мощностью ~1200 кВт (около 1600 л.с.) и гидромеханической трансмиссией, что обеспечивает высокую надёжность и устойчивость к большим нагрузкам. Технологическая конструкция позволяет автосамосвалу развивать скорость до 55 км/ч, что особенно ценно для обслуживания удалённых прямых забоев и оптимизации маршрутов транспортировки.

В отличие от менее мощных моделей, таких как БелАЗ-75471, которые могут применяться для шламовых хвостов для ФООР и ДОФ-1 и коротких маршрутов с ограниченным пространством для оптимальной издержки состояния транспорта, R-170 демонстрирует универсальность и способность адаптироваться к сложным горно-техническим условиям Донского рудника. Это достигается за счёт сокращения количества рейсов для выполнения плана добычи, и оптимизации производственного цикла.

R170 работает в паре с экскаваторами ЭКГ-10, ЭКГ-8И, Hitachi и фронтальными погрузчиками (зачастую с помощью насыпной эстакады), дополняя технологическую цепочку выемочно-погрузочных работ. Конструкция автосамосвала включает прочную раму, двухосную колёсную базу с управляемыми задними осями и гидропривод подъёма кузова, который гарантирует надёжность и эффективность разгрузки горной массы. Геометрия кузова обеспечивает равномерное распределение нагрузки, что снижает износ шин и подвески.



Рисунок 1.11 – Автосамосвал «Volvo Euclid R170»

После загрузки автосамосвал плавно набирает скорость, используя полный крутящий момент двигателя, при движении в карьере поддерживает устойчивость благодаря системе распределения веса. Усилия внедрения в транспортный цикл и подъёма кузова определяются динамическими характеристиками машины, которые зависят от массы загруженного материала и коэффициента сцепления шин с грунтом.

Коэффициент сцепления шин варьируется в зависимости от состояния покрытия карьера — рыхлого, плотного или скального — и технического состояния шин. Для повышения надёжности работы автосамосвала в условиях карьера возможна установка цепей противоскольжения, которые повышают сцепление с грунтом и уменьшают износ шин.

Разгрузка горной массы осуществляется подъёмом кузова с помощью гидравлической системы, конструкция которой обеспечивает плавность и устойчивость движения кузова, предотвращая повреждения элементов при выгрузке.

Основываясь на анализе представленных данных по автосамосвалам Донского рудника (БелАЗ 75131, БелАЗ-75471, R-170), а также принимая во внимание специфические условия эксплуатации на карьерах, выявлены следующие ключевые показатели: R-170 обладает высокой грузоподъёмностью, относительно умеренным расходом топлива и значительным показателем грузооборота, а его энергозатраты ниже, чем у БелАЗ 75131. БелАЗ-75471 характеризуется более низкой грузоподъёмностью, но и меньшими затратами на транспортные циклы, что делает его подходящим для работы на ограниченных площадях. БелАЗ 75131 демонстрирует хорошие показатели грузооборота и универсальность, однако энергозатраты у него выше. В результате наиболее целесообразным выбором в контексте Донского рудника является именно R-170 — за счёт его универсальности, адаптивности к сложным условиям карьера, высокой энерго-топливной эффективности и способности поддерживать высокий уровень производительности при управляемых эксплуатационных расходах. Дополнительно возможен гибридный подход с привлечением БелАЗ-75131 с R-170 и отдельно БелАЗ-75471 для узкоспециализированных маршрутов.

Производственная диагностика Донского рудника охватывает весь комплекс горных, транспортных, энергетических и вспомогательных систем, которые задействованы в обеспечении устойчивой и эффективной работы рудника. Проведённый анализ включал техническое состояние машин и механизмов, а также вспомогательных инфраструктурных единиц, участвующих в технологической цепочке.

Парк экскаваторов (ЭКГ-8И, ЭКГ-10, НІТАСНІ ЕХ1900-6, НІТАСНІ ЕХ1200-6) и автосамосвалов (БелАЗ-75131, БелАЗ-75471, R-170) обладает достаточно высоким эксплуатационным потенциалом, однако степень их износа варьируется от 40 до 60%, что приводит к росту количества внеплановых ремонтов и частых простоев. Износ снижает коэффициент

технической готовности оборудования, который фиксируется на уровне 0,85–0,88 по результатам паспортных форм учёта. Отсутствие интегрированных датчиков мониторинга загрузки (тензодатчики, датчики давления в подвеске) в парке автосамосвалов приводит к неравномерности загрузки кузовов, что увеличивает количество рейсов и негативно сказывается на экономике выемочно-погрузочного цикла.

Все технические средства рудника, включая автосамосвалы, экскаваторы, буровые станки, насосные установки и другую инфраструктуру, оборудованы средствами измерения (СИ) и встроенными системами мониторинга параметров работы. На автосамосвалах применяются локальные датчики давления в шинах, температуры масла и охлаждающей жидкости, тахометры, датчики уровня топлива, расходомеры и тензодатчики загрузки кузова.

Информация о СИ, участвующих в контроле технологического процесса представлены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 - Контроль СИ за электрооборудованием экскаваторов, буровых станков и насосных установок

Технологические параметры				Метрологические характеристики СИ			Примечание
Наименование измеряемого параметра	Рабочий диапазон	Допустимая погрешность	Периодичность замера	Наименование, тип	Диапазон измерений	Погрешность	
Опр. силы тока	от 0 до 500 А	1,5	Непрерывно в процессе работы	Амперметр М42300	от 0 до 500 А	1,5	Устанавливается на экскаваторах: ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-5А, СБШ-250МНА
Опр. напряж.	от 0 до 150 В	1,5		Вольтметр М381	от 0 до 150 В	1,5	
Опр. силы тока	от 0 до 2 кА	1,5		Амперметр тр М 318	от 0 до 2 кА	1,5	Устанавливается на экскаваторе ЭКГ-10
Опр. давления	от 0 до 16 кПа	1,5		Манометр МП-49	от 0 до 16 кПа	1,5	Устанавливается в насосной установке ЦНС 300х200

На всех перечисленных инфраструктурных единицах установлены бортовые компьютеры с базовыми возможностями сбора и отображения диагностической информации в кабине оператора. В экскаваторах ЭКГ-10, ЭКГ-8И и НІТАСНІ ЕХ1900-6 применяются амперметры М42300, вольтметры М381 и килоамперметры тр М318 для непрерывного контроля тока, напряжения и усилия при работе. В насосных установках ЦНС 300х200

используются манометры МП-49, регистрирующие давление перекачиваемой воды в диапазоне 0-16 кПа. Эти СИ находятся под обязательным контролем метрологической службы рудника, регистрируются в электронной базе «Графика поверки/калибровки средств измерений» и проходят периодическую поверку с отметками в паспортах оборудования.

Тем не менее, несмотря на оснащённость оборудованием локальными средствами измерения, их применение ограничено внутренней диагностикой. Все диагностические результаты, включая показатели из амперметров, вольтметров и других СИ, обрабатываются вручную. Для анализа данных и формирования заключений о необходимости проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР) или внепланового обслуживания используются журналы учета, такие как «Книга маркшейдерских указаний» (Ф17-Марк) и «Журнал осмотра бортов» (Ф19-Марк). В этих документах фиксируются параметры и отклонения от номинальных значений, а также визуальные дефекты инфраструктуры.

Дополнительно, в подразделениях рудника применяется форма «Ф104-РД» для расчета потребности в автосамосвалах и другой технике, а также оперативные карты диспетчеров для учета количества рейсов. Такой подход требует значительного времени на обработку информации, вносит риск субъективной оценки данных и снижает объективность учета фактического технического состояния машин и оборудования. Отсутствие сетевых модулей для передачи диагностических данных в реальном времени существенно ограничивает возможности диспетчерской службы и инженерно-технического персонала при оперативном управлении и контроле.

Одной из основных проблем, выявленных в процессе диагностики, является отсутствие единой цифровой платформы для учета и анализа эксплуатационных данных и производственной практики устройств связи на радиодиапазоне стандарта VHF.

В настоящее время для обеспечения связи между диспетчерской службой Донского месторождения и техническим персоналом карьеров используются радиостанции двух типов: Kenwood ТК-2206 (портативная) и Alinco DR-135 (бортово-мобильная). Эти устройства используются повсеместно для передачи голосовых сообщений (за исключением звуковых сигналов для оповещения о взрывных работах и пожарных сигналов) в условиях карьера и обеспечивают базовый функционал связи.

Исходя из возможностей радиостанции по их характеристикам, обе модели радиостанций являются решениями, не отвечающими требованиям современного этапа развития горного производства, независимо от их механической прочности и проверенной производственной надежности в сложных условиях. Их использование ограничивается только подачей голосовых сообщений, что не позволяет диспетчерской службе получать объективные данные о состоянии техники, направлениях ее движения, параметрах загрузки и расходования топлива. Такой функционал не способен

обеспечить полноценное управление производственными процессами и приводит к значительным организационным потерям - простоям техники, увеличению холостого хода и потерям полезного компонента. Использование аналоговых радиостанций не позволяет внедрить в систему диспетчеризации алгоритмы интеллектуального планирования и прогнозирования, широко применяемые на современных горнодобывающих предприятиях.

Кроме того, на руднике «Донской» выявлены недостатки в управлении складированием вскрышных пород и руды, а также в организации работы дренажной системы и водоотливных установок. Данные о производительности и состоянии насосных агрегатов регистрируются локально и переносятся в журналы вручную, без применения удаленного мониторинга.

В таблице 1.13 приведены основные характеристики указанных устройств радиосвязи:

Таблица 1.13 - Характеристики устройств связи, применяемых по территории рудника

Характеристики	Kenwood TK-2206	Alinco DR-135
Тип устройства	Портативная радиостанция	Мобильная (бортово-транкинговая) радиостанция
Диапазон частот	136–174 МГц (VHF)	144–148 МГц (VHF)
Выходная мощность	до 5 Вт (аккумуляторная)	50 Вт
Количество каналов	до 16	
Модуляция	FM (частотная модуляция)	
Степень защиты корпуса	IP54	отсутствие защиты IP
Структура	Ударопрочный поликарбонат	Металл
Аккумулятор	Аккумулятор NiMH, 7,2 В ~ 0,63 А	Бортовая линия 12 В ~ 4,20 А
Вес	~400 г	~1,2 кг
Использование	Сменный тех.персонал	Рабочие единицы
Основное ограничение	Отсутствие цифрового канала, отсутствие интеграции с современными системами	Отсутствие цифрового канала требует постоянного обслуживания и настройки

Такой характер эксплуатации инфраструктурных единиц приводит к снижению точности анализа отказов, а также к замедлению процесса выявления неисправностей, что в конечном итоге снижает эффективность всего производственного цикла. Для устранения выявленных недостатков потребуется комплексное решение с интеграцией современных цифровых систем диспетчеризации, которые позволят обрабатывать данные диагностики в режиме реального времени и предоставлять автоматизированные рекомендации для планирования ремонтов и технического обслуживания [11].

Выводы по первой главе

На карьерах Донского рудника ведутся работы на месторождениях «Геофизическое XI» (карьер Геофизический-XI), «XX лет Казахской ССР» (карьер «Южный») и других, размещённых в пределах Кемпирсайского ультраосновного массива. Рудные тела характеризуются линзовидной формой, неравномерной мощностью, низким углом падения, сложным геологическим строением. Среднее содержание Cr_2O_3 по месторождению «XX лет КазССР» составляет 52,09%, утверждённые балансовые запасы по категории С1 — 3254,9 тыс. т. Коэффициент вскрыши на участках достигает 7,8 м³/т. Система разработки транспортная, с внешним и внутренним отвалообразованием, технология горных работ — цикличная, с применением буровзрывных работ, экскаваторной погрузки и автомобильного транспорта.

Основная используемая техника включает экскаваторы ЭКГ-10, ЭКГ-8И, НІТАСНІ ЕХ1900-6, ЕХ1200-6, автосамосвалы БелАЗ-75471, БелАЗ-75131 и Volvo Euclid R-170. Рабочие параметры: высота уступа — 10 м, ширина предохранительных берм — 3,5 м, уклон автодорог — до 80%. Работы выполняются на рабочих площадках шириной от 32 до 77 м. Управление производится диспетчерским способом с ручным учётом вывозки вскрыши по количеству рейсов автосамосвалов. Фактическая загрузка кузовов автосамосвалов в среднем составляет 85% от номинальной. Загрузка осуществляется без применения датчиков и автоматизированных систем, что приводит к снижению точности контроля и увеличению отклонений от паспортной грузоподъёмности.

В карьерах отсутствует централизованная цифровая система контроля технического состояния и логистики техники. Значительная часть технических средств имеет высокий износ, ремонты осуществляются по факту отказа. Наблюдаются случаи неравномерной загрузки фронтов погрузки, скопления автосамосвалов в ожидании, нерегулярное распределение машин между забоями. Все эти признаки указывают на необходимость внедрения цифровых диспетчерских систем, телеметрии, датчиков загрузки и автоматизированного учёта. Отсутствуют цифровые инструменты контроля за производительностью, маршрутизацией, распределением техники и учётом пробега.

2 Разработка предложений по совершенствованию технологии выемочно-погрузочных работ с использованием современных цифровых решений и рационального подбора автотранспорта

2.1 Способы внедрения цифровизаций для оптимизации управления и контроля выемочно-погрузочных процессов

В современных условиях работы Донского рудника, значительное внимание уделяется цифровизации производственных процессов для обеспечения бесперебойной работы горнотранспортного оборудования, повышения точности учёта и диспетчеризации, а также улучшения безопасности и энергоэффективности выемочно-погрузочного цикла. В первую очередь это достигается за счёт применения интегрированных бортовых компьютерных комплексов (БК), сетевых узловых станций связи, а также специализированных приёмников и датчиков, каждый из которых выполняет строго определённую роль в общем контуре мониторинга и управления.

На автосамосвалах БелАЗ 75131 и БелАЗ-75471 штатно установлены блоки управления типа BORT-ECU с CAN-выходом (интерфейс SAE J1939), обеспечивающие сбор данных о загрузке кузова, температурных режимах, давлении в шинах и оборотах двигателя. Разъем подключения — стандартный 9-пиновый Deutsch DT (в зависимости от модификации) на 24В. Эти выходные порты позволяют считывать телеметрические данные без вмешательства в штатную проводку. На Volvo Euclid R170 используется интегрированная бортовая система Euclid Data Link Module (EDLM) с CAN-шиной, передающей аналогичные параметры по единому интерфейсу. Подключение также осуществляется через 9-пиновый Deutsch разъем. Пример визуального устройства бортового комплекса на транспорте показан на рисунке 2.1.

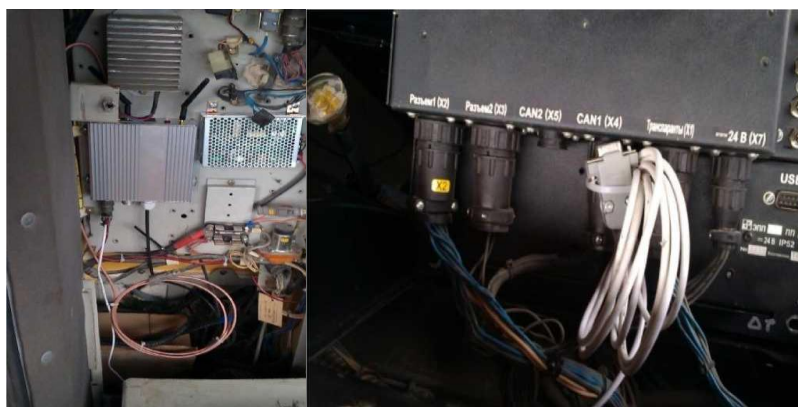


Рисунок 2.1 – Пример установленного бортового комплекса на автосамосвале (сконструированный борт компьютер со входом на CAN преобразователь сигнала и выходом на антенну и подключение 9-пиновых DT к CAN-шине автосамосвала)

Некоторые экскаваторы также оборудованы бортовыми компьютерными системами. Гидравлические экскаваторы HITACHI имеют собственный Global e-Service с CAN-выходом. Этот блок агрегирует данные о гидравлических давлениях, расходе топлива, температурных режимах, наполнения ковша (bucket load indicator) и общем состоянии узлов машины. Подключение — 9-пиновый диагностический разъем. Экскаваторы ЭКГ не оснащены штатными цифровыми выходами, поскольку не имеют выходов европейских стандартов диагностических разъемов и т.п. Для их модернизации требуется установка внешних датчиков (тензодатчики Flintec RC3, Vishay Revere 9123, датчики давления масла и температуры), и также модульных контроллеров с CAN-выходом. Эти контроллеры подключаются через промышленные разъемы с защитой IP67 и дополнительной защитой линий кожухами. Для интеграции с CAN-шиной применяются промышленные CAN-конвертеры (HMS Anybus), которые преобразуют сигналы и позволяют передавать их в приёмники Mesh-сети или серверную часть через интерфейсы Ethernet RJ-45 10/100/1000 Мбит/с (предпочтительнее, лучше во многих качествах). Разъёмы подключения (кроме интерфейса RJ-45) стандартизированы под напряжение питания 12/24 В, а для защиты от воздействия пыли и вибраций применяются герметичные кожухи [5,11,14].

Ключевыми приёмными узлами системы являются базовые станции Mesh-сети и приёмники GNSS (ГЛОНАСС/GPS) с поддержкой RTK-режима. Эти элементы формируют основу позиционирования оборудования в карьере, обеспечивая точность трекинга до 10 см. GNSS-приёмники (например, Trimble R750) устанавливаются на кабинах самосвалов и экскаваторов, а Mesh-узлы располагаются как на вышках связи, так и внутри АБК рудника. Mesh-сеть используется в диапазоне 5-5,5 ГГц, а её пропускная способность составляет до 1000 Мбит/с на каждый сектор. Пример Mesh-узла показан на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Предлагаемый пример Wifi-Mesh приемника Mikrotik NetBox 5 ГГц в комплекте с коаксиальными антеннами

Сигналы от GNSS и CAN-шины агрегируются внутри бортового комплекса и передаются в реальном времени с частотой 1 сообщение в 10 секунд для автосамосвалов и 1 сообщение в минуту для экскаваторов. Для защиты целостности данных используется 16-битная контрольная сумма, а в случае временного отсутствия связи предусмотрено локальное хранение информации на флеш-носителях внутри бортовых комплексов с последующей передачей при восстановлении сигнала. На рисунке 2.3 представлена общая сетевая инфраструктура, предлагаемая для площадки рудника.

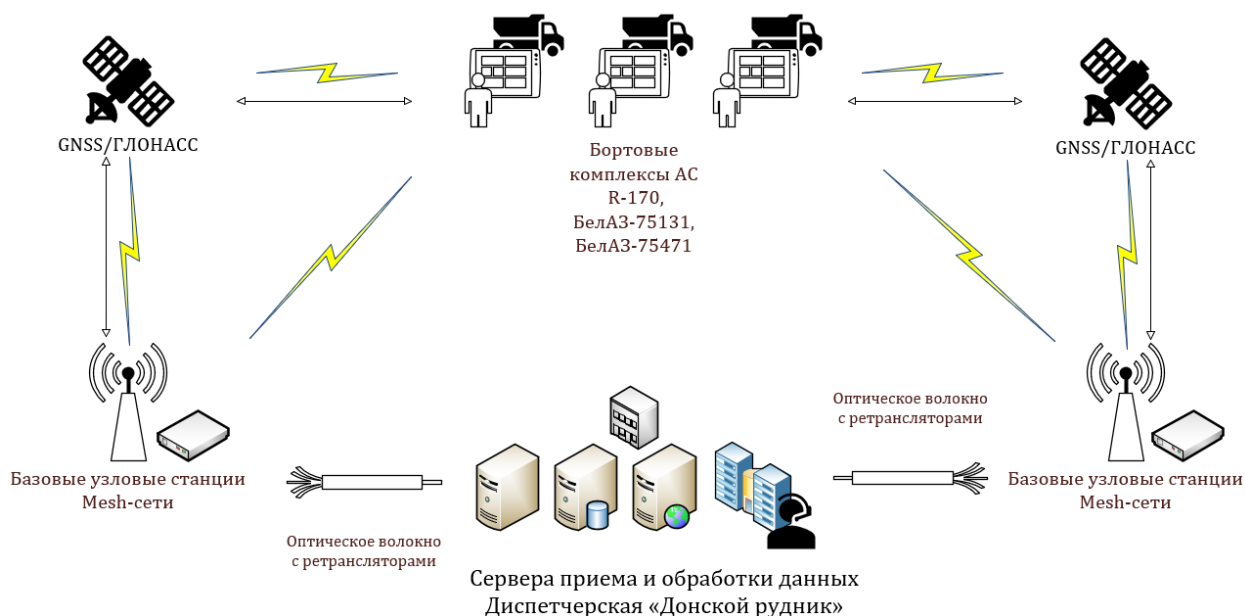


Рисунок 2.3 – Предлагаемая сетевая инфраструктура цифровой системы для площадки рудника

Вся полученная информация поступает на сервер диспетчерского управления. В административно-бытовом комплексе рудника установлены рабочие места оператора (АРМ) с доступом к программно-аппаратным модулям для визуализации данных в реальном времени и анализа параметров работы.

АРМ связаны с серверной частью через коммутаторы и резервные каналы связи 3G/GPRS, что позволяет контролировать не только пространственное положение техники, но и параметры её работы, включая загрузку, простои и фактический расход топлива.

Важным элементом цифровой инфраструктуры являются также Nanotron-модули, которые с помощью технологии двухточечного позиционирования позволяют уточнять расположение подвижных объектов с помощью специальных тегов. Эти модули сопрягаются с Mesh-сетью и обеспечивают визуализацию взаимного расположения техники на экранах диспетчерских мониторов, облегчая принятие оперативных решений.

2.2 Рациональный выбор автотранспорта из текущего парка рудника

В целях обеспечения высокой производительности и экономической целесообразности при выполнении выемочно-погрузочных работ на Донском руднике проведён сравнительный анализ автотранспортных средств, представленных в существующем парке. Рациональный и тщательно обоснованный выбор автотранспорта для транспортировки вскрышных пород, а также рудной массы в пределах Донского рудника требует всестороннего анализа множества факторов. Этот анализ необходим для того, чтобы обеспечить не только высокую производительность, но и стабильную, надёжную эксплуатацию техники в сложных условиях карьера. Основой для сравнения послужили автосамосвалы моделей R-170, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75471, которые уже активно применяются на объекте и имеют свои достоинства и особенности.

В первую очередь, при выборе техники учитывается её грузоподъёмность, так как именно этот показатель определяет потенциальный тоннаж транспортируемой горной массы за каждый цикл. У автосамосвала R-170 номинальная грузоподъёмность достигает 154 т, что заметно выше, чем у БелАЗ-75131 с диапазоном грузоподъёмности 130–136 т. При этом БелАЗ-75471 уступает более чем в три раза (всего 45 т). Масса порожнего самосвала R-170 в усреднённых условиях достигает 114 т, в то время как у БелАЗ-75131 – 107,1 т, а у БелАЗ-75471 – всего 33 т, что отражает их разницу. Анализ некоторых параметров АС приведен в таблице 3.2.

Таблица 2.1 – Сравнительный анализ основных автосамосвалов парка рудника

Параметры	R-170	БелАЗ-75131	БелАЗ-75471
Ном. грузоподъёмность, т	154	130	45
Минимальная ширина площадки, м	47	39	36
Радиус разворота, м	17	13	11,5
Скорости движения, км/ч (гружёный/порожний)	25 / 40 (вскр); 18 / 26 (доб)	15 / 25 (вскр); 18 / 26 (доб)	20 / 35 (вскр); 18 / 26 (доб)
Время рейса (полного цикла), мин	11,5 (вскр); 10,5 (доб)	16,2 (вскр); 15,0 (доб)	12,0 (вскр); 11,0 (доб)
Время движения (гружен. + порожн.)	5,0-5,5	7,5-9,5	5,0-5,5
Время погрузки, мин	3,6	2,8	1,0-1,5
Время маневров мин	2,0	2,0	2,0
Установка под погрузку, мин	0,6	0,6	0,6
Коэффициент использования емкости кузова ($K_{куз}$)	1,00 (вскр); 0,72 (доб)	0,95–0,9	0,9–0,85
Коэффициент использования грузоподъёмности ($K_{гр}$)	0,92 (вскр); 1,00 (доб)	0,9–0,95	0,85–0,9
Коэффициент использования парка	0,73	0,73	0,73

Габаритные параметры машин играют важную роль при проектировании ширины транспортных площадок и карьеров в целом. Длина кузова R-170 составляет 12070 мм, а ширина и высота — 6350 мм и 5690 мм соответственно. Габариты БелАЗ-75131 в среднем на 6% меньше, а БелАЗ-75471 значительно компактнее. Именно эти параметры влияют на минимальную ширину площадки: для R-170 она равна 47 м, для БелАЗ-75131 — 39 м, а для БелАЗ-75471 — 36 м. Учитывая лучшие условия для маневренности автосамосвалов БелАЗ, Euclid R-170 по большей части компенсирует это своей высокой грузоподъемностью и сокращением количества рейсов, что особенно важно в условиях рудника [6,7,20].

Важнейший показатель, который напрямую влияет на эффективность использования автосамосвалов, — это время рейса, или полный цикл работы. По данным эксплуатационных расчётов, время рейса для R-170 при вскрышных работах составляет 11,5 мин., а при добыче — 10,5 мин. Аналогичные показатели у БелАЗ-75131 равны 16,2 и 15,5 мин. соответственно, а у БелАЗ-75471 — 11,8 и 11,0 мин. Эти цифры подтверждают, что R-170 работает быстрее и позволяет выполнить больше рейсов за смену. Расчет цикла производился следующей формулой:

$$T_p = T_{дв} + T_{уп} + T_n + T_{ур} + T_{пр} , \quad (2.1)$$

где $T_{дв}$ - время движения автосамосвала с грузом на отвал и порожняком в забой, мин.;

$T_{уп}$ = 0,6 - время установки под погрузку, мин.;

T_n – 2,5-3,5 время погрузки, мин.;

$T_{ур}$ = 1,0-2,0 - время на маневры и разгрузку, мин.

Время движения автосамосвала на отвал и с отвала в забой определяется, соответственно, по формуле:

$$T_{дв} = \frac{2L}{V} 60 , \quad (2.2)$$

где L - расстояние транспортирования, км, принимается в зависимости от маршрута (усредненное значение для Южного карьера ~1,2 км);

V – учитываемая средняя скорость (с забоя до отвала и обратно).

Время движения (гружёного и порожнего) у R-170 варьируется в пределах – 5-5,5 мин., что значительно ниже, чем у БелАЗ-75131, у которого этот показатель составляет 7,5–9,5 мин. У БелАЗ-75471 время движения идентично, как у R-170 — около 5,0–5,5 мин.

На установку под погрузку у всех моделей уходит ориентировочно 36 сек, а на сам процесс погрузки — в среднем 168 с (2,8 мин) (у R-170 220 с, у БелАЗ-75471 всего 64 с).

Маневры при погрузке и разгрузке занимают у R-170 1,5-2,0 мин соответственно.

Подробные расчеты по сегментам времени рейса трех автосамосвалов указаны ниже на рисунке 2.4 и таблице 2.2.

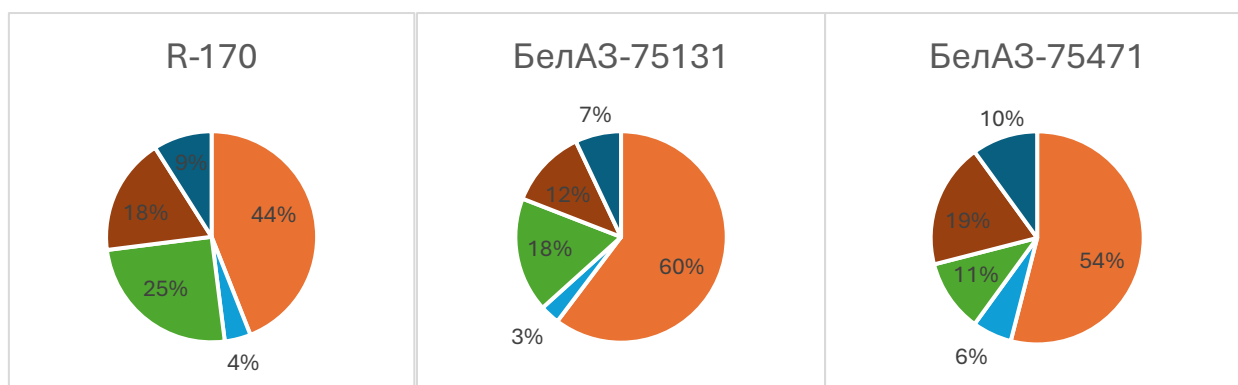


Рисунок 2.4 – Средние процентные доли сегментов времени цикла для АС

Таблица 2.2 – Статистика времени цикла для АС

АС	Время движения, сек	Погрузка, сек	Установка под погрузку, сек	Маневры и разгрузка, сек	Короткие простои, сек	Общее время одного цикла
R-170	300-360	220	36	120	45-60	650-736
Знач в %	44	25	4	18	9	
БелАЗ-75131	450-570	168	36	120	45-60	820-950
Знач в %	60	17,5	3	12,5	7	
БелАЗ-75471	300-330	64	36	120	45-60	565-610
Знач в %	54	10,5	6	19,5	10	

При анализе были учтены коэффициенты использования кузова и грузоподъемности. Исходя из подотчетности предприятия, у R-170 эти коэффициенты составляют 1,00 и 0,92 при вскрышных работах и 0,72 и 1,00 при добычных, что говорит о его универсальности и способности подстраиваться под разные виды горных работ. У БелАЗ-75131 эти коэффициенты находятся в диапазоне 0,9–0,95, а у БелАЗ-75471 - от 0,85 до 0,9.

Нагрузка на АС, выраженная в расчетном учетном объеме в целом, уменьшается по мере увеличения плотности, можно наблюдать небольшую тенденцию ограничения по массе при загрузке: для R-170 – с 69 до 47 м³.

Из линейной зависимости на рисунке 2.5 видно, что для БелАЗ-75471 использованная грузоподъемность варьируется в диапазоне 35–39 т. При этом на верхних горизонтах (440–430 м) она составляет в среднем 35–36 т, тогда как на горизонтах ниже 300 м может достигать 39 т, что связано с увеличением плотности породы, уменьшающей объемную загрузку, но увеличивающей

массу. График на рисунке 2.5 демонстрирует, как меняется фактически используемые объемы кузовов трёх типов АС. Другой график на рисунке 2.6 показывает зависимость эксплуатационной грузоподъемности от того же диапазона горизонтов.

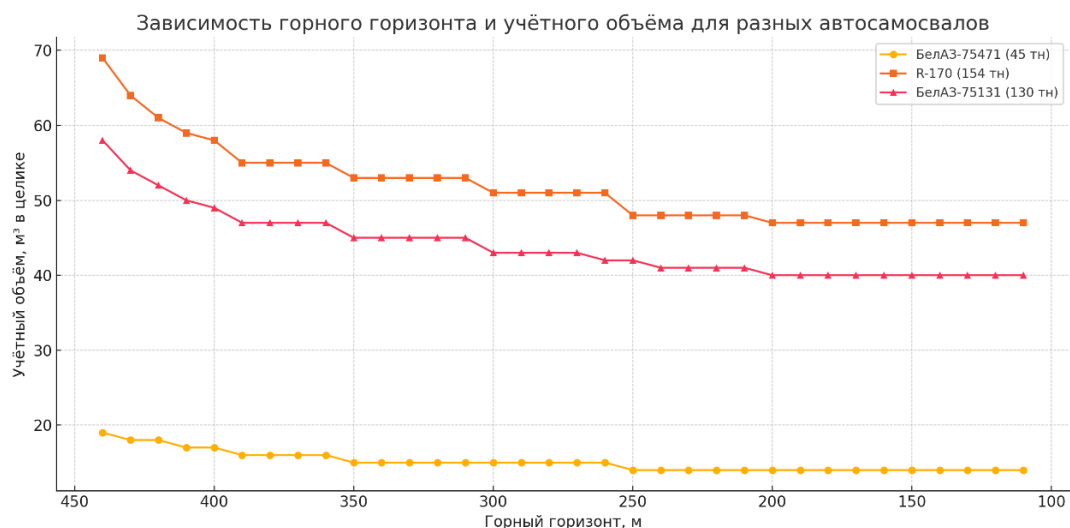


Рисунок 2.5 – График зависимостей принятого учетного объема при стабильном понижении горного горизонта каждые 10 м

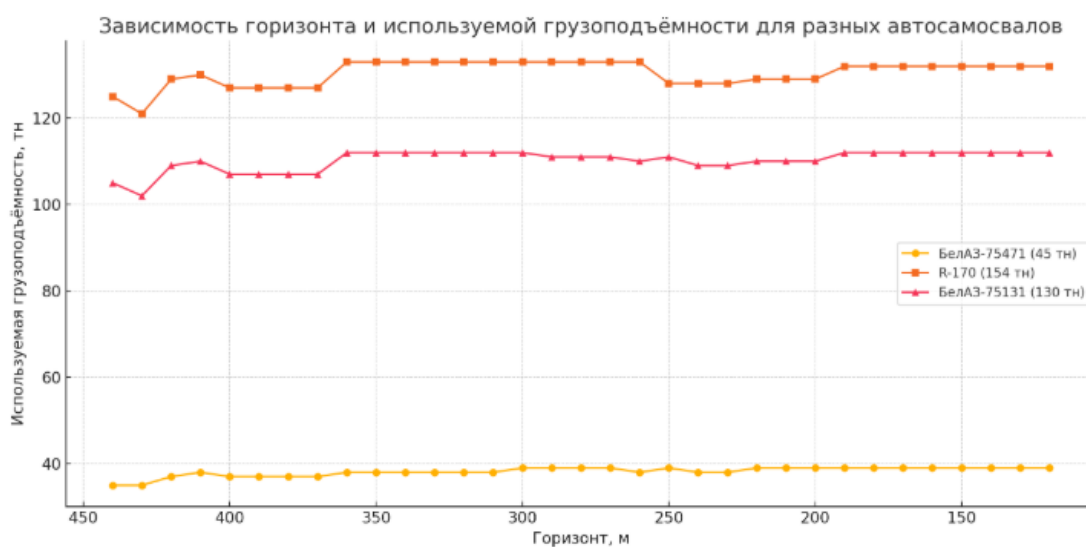


Рисунок 2.6 – График зависимостей используемой фактической грузоподъемности при стабильном понижении горизонта каждые 10 м

У R-170 фактически записанные показатели грузоподъёмности меняется от 121 до 133 т. В плане данного самосвала наблюдается высокая стабильность показателей: на большей части горизонтов использованная грузоподъёмность превышает 125 т, а на глубинах 360–200м достигает максимальных значений — 132–133 т. Для БелАЗ-75131 показатели варьируются в пределах 102–112 т.

В верхней части карьера (горизонты 440–420 м) грузоподъёмность составляет 105–109 т, по мере углубления она стабилизируется на уровне 110–112 т.

Наблюдается закономерность: с углублением горизонтов грузоподъёмность у всех моделей либо остаётся стабильной, либо возрастает. Это связано с ростом объёмного веса вскрышных пород (с 1,8 т/м³ на 440 м до 2,8 т/м³ на 110 м), при этом увеличивается масса загружаемого материала при тех же или меньших объёмах. Например, при неизменной вместимости кузова, масса полезной нагрузки на горизонте 200 м может быть на 15–20% выше, чем на горизонте 440 м.

Таким образом, данная зависимость позволяет учитывать геомеханические параметры при выборе автопарка: R-170 наиболее универсален для всех глубин, БелАЗ-75131 оптимален на средних и нижних горизонтах, а БелАЗ-75471 рекомендуется использовать на верхних уровнях, где плотность пород ниже и нет смысла перегружать менее мощную машину на большие дистанции и/или с нарастанием уклона траншеи.

Таблица 2.3 – Дифференцированный оперативный учёт объёмов ёмкостей кузовов автосамосвалов по горизонтам карьеров Донского рудника

Горизонт, м	Объёмный вес, /м ³	Коэф. разрыхления	БелАЗ-75471, 45 т		R-170, 154 т		БелАЗ-75131, 130 т	
			Учётн. объём, м ³ в целике	Использ. грузоподъёмность, т	Учётн. объём, м ³ в целике	Использ. грузоподъёмность, т	Учётн. объём, м ³ в целике	Использ. грузоподъёмность, т
440	1,8	1,2	19	35	69	125	58	105
430	1,9	1,3	18	35	64	121	54	102
420	2,1	1,35	18	37	61	129	52	109
410	2,2	1,4	17	38	59	130	50	110
400	2,2	1,44	17	37	58	127	49	107
390-370	2,3	1,5	16	37	55	127	47	107
360	2,4	1,5	16	38	55	133	47	112
350	2,55	1,56	15	38	53	133	45	112
340-310	2,55	1,6	15	39	52	133	44	112
300-270	2,6	1,62	15	39	51	133	43	112
260	2,61	1,63	15	38	51	133	42	110
250	2,65	1,65	15	39	48	128	42	111
240-200	2,67	1,67	14	38	48	128	41	109
190-120	2,8	1,67	14	39	47	132	40	112
110	2,85	1,67	14	39	47	132	40	112
Среднее	2,54	1,58	15,13	38,05	52,01	130,65	43,93	110,36

По мере углубления горизонтов грузоподъёмность у всех машин остаётся стабильной или незначительно возрастает. Наибольшие значения достигаются у R-170 — до 133 т, у БелАЗ-75131 — до 112 т, у БелАЗ-75471 — до 39 т, что обусловлено изменением плотности вскрышных пород в диапазоне от 1,8 т/м³ на горизонте 440 м до 2,8 т/м³ на горизонтах ниже 190 м. По таблице 2.3 представлен загружаемый объём и вес породы в зависимости от горизонта, на котором производится загрузка.

Производительность автосамосвалов в разрезе сменных, суточных и годовых показателей демонстрирует чёткое преимущество R-170. Это можно понять из эксплуатационной сменной производительности, которая составляет 5021 т, тогда как БелАЗ-75131 обеспечивает при таких же технических условиях 3319,2 т, а БелАЗ-75471 — 1574 т соответственно.

Все эти данные в совокупности подтверждают, что автосамосвал Euclid R-170 является наиболее рациональным выбором для эксплуатации на Донском руднике. Его высокая грузоподъёмность, хорошее время цикла, надёжные коэффициенты использования кузова и грузоподъёмности, а также выдающаяся производительность позволяют повысить эффективность горнотранспортных работ и сократить эксплуатационные расходы. Важно подчеркнуть, что этот выбор напрямую способствует повышению производительности и рентабельности работ в сложных горно-геологических условиях месторождения.

2.3 Анализ производительности автосамосвала R-170

Анализ эксплуатационной производительности автосамосвала Euclid R-170 проводится с учётом его конструктивных характеристик, технологических параметров перевозки и организации рабочего цикла. Основными параметрами, определяющими эффективность работы данного автосамосвала, являются разовый объём перевозимого груза, количество рейсов в смену, а также коэффициенты использования времени и грузоподъёмности.

Техническая производительность автосамосвала определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{тех}} = 60 \frac{V_k \cdot K_{HK} \cdot \gamma_P}{T_P}, \text{ т/ч}, \quad (2.3)$$

При котором, техническая почасовая производительность R-170 составит:

$$Q_{\text{тех}} = 60 \frac{52 \cdot 0,72 \cdot 2,54}{11,5} = 496,1 \text{ т/ч}, \quad (2.3)$$

где V_k – средний учетный объём для автосамосвалов, 52 м³;

u_p – средняя плотность загружаемых рыхлых пород – 2,54 т/м³;

T_p – длительность одного цикла для R-170 – 11,5 мин.

Величину коэффициента использования АС можно интерпретировать в коэффициент использования его грузоподъемности ($K_{гр}$) не учитывая погрешности в этом этапе. $K_{гр}$ принимается исходя из дифференцированных учетов объемов – 0,92.

Эксплуатационная производительность на одну смену при работе АС R-170 определяется следующим образом:

$$Q_{экс} = Q_{тех} \cdot T_{см} \cdot K_{гр}, \text{ т/см}, \quad (2.4)$$

$$Q_{экс} = 496,1 \cdot 11 \cdot 0,92 = 5021 \text{ т/см}, \quad (2.4)$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены, 11 часов.

Теоритическое количество рейсов, совершаемых за смену, без учитывания технологических и коротких простоев, внеплановых моментов, ППР и т.д., рассчитывается на основе продолжительности смены и времени одного рейса:

$$n_{см} = \frac{T_{см}}{T_p} K_{АС}, \quad (2.5)$$

где $T_{см}$ – длительность смены в минутах, 660 мин.

Учитывая разные показатели времени одного рейса для вскрыши и добычи, рассчитываются отдельные суммы рейсов для каждого показателя:

$$n_{см} = \frac{660}{11,5} \cdot 0,72 \approx 41 \text{ смена (вскр)}, \quad (2.5)$$

$$n_{см} = \frac{660}{10,5} \cdot 0,72 \approx 45 \text{ смен (доб)}. \quad (2.5)$$

Теперь можно сопоставить эксплуатационную сменную производительность при усредненном значении со следующими расчетами.

$$Q_{см} = q_p \cdot n_{см} \cdot K_{гр} \cdot \gamma_p, \text{ т/см}, \quad (2.6)$$

$$Q_{см} = 52 \cdot 41 \cdot 0,92 \cdot 2,5 = 4903,6 \frac{\text{т}}{\text{см}} \text{ (вскр)}, \quad (2.6)$$

$$Q_{см} = 52 \cdot 45 \cdot 0,92 \cdot 2,6 = 5597,3 \text{ т/см (доб)}. \quad (2.6)$$

Можно наблюдать что от эксплуатационной производительности имеется некоторая погрешность. Для расчета следующих годовичных показателей можно учитывать усредненный вариант.

$$Q_{\text{год}} = (Q_{\text{см}} \cdot 2) \cdot N_{\text{раб}}, \text{ т/год}, \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{год}} = (5021 \cdot 2) \cdot 323 = 3243566 \text{ т/год}. \quad (2.7)$$

Количество рабочих дней в году ($N_{\text{раб}}$) при эксплуатации автосамосвала R-170 определяется с учётом факторов, которые оказывают непосредственное влияние на его производительность. К ним относятся количество дней, затрачиваемых на техническое обслуживание и ремонт автосамосвала, время, необходимое для перегонок между участками, праздничные и нерабочие дни, а также дни вынужденных простоев, связанных с неблагоприятными метеорологическими условиями. Можно исключить 8-10% из фактических рабочих дней для операторов автосамосвалов (352 дня).

Процесс работы автосамосвала при перевозке вскрышных и добычных пород включает несколько последовательных этапов. Начальным этапом является движение автосамосвала от места стоянки к фронту забоя, где производится загрузка горной массы экскаватором. После заполнения кузова породы автосамосвал плавно переходит в режим транспортирования — движение гружёным составом по технологическим автодорогам карьера к месту разгрузки, которым может являться как отвальная площадка, так и рудной склад/ эстакада под ЖД. При достижении места разгрузки производится маневрирование, подъём кузова и опрокидывание породы. После выгрузки автосамосвал возвращается порожним ходом в забойную точку погрузки [10].

Применение автосамосвала R-170 в транспортном звене вскрышных и добычных работ даёт ряд эксплуатационных преимуществ. Высокая грузоподъёмность и вместимость кузова обеспечивают возможность перевозки больших объёмов горной массы за один рейс, что сокращает количество циклов в течение смены. Повышенная скорость движения и надёжная конструкция трансмиссии способствуют эффективной эксплуатации автосамосвала на дальних маршрутах и при работе на уступах с различным уклоном. Универсальность автосамосвала проявляется в его способности адаптироваться к различным горно-геологическим условиям, обеспечивая стабильную производительность при минимальных простоях.

К числу недостатков автосамосвала R-170 можно отнести его большой радиус разворота, что требует достаточной ширины площадок для маневрирования, а также повышенное энергопотребление, связанное с высокой массой гружёного состава, которое сказывается на общем показателе ЭТР. Тем не менее, благодаря комплексному учёту эксплуатационных параметров и эффективной организации рабочего процесса, автосамосвал R-170 демонстрирует высокую надёжность и производительность, что делает его ключевым элементом транспортной системы Донского рудника.

Выводы по второй главе

В рамках второй главы выполнено обоснование цифровой трансформации управления выемочно-погрузочными работами Донского рудника с опорой на телеметрию, GNSS-навигацию и CAN-интеграцию. Проанализированы технические возможности действующего автопарка: все модели автосамосвалов оснащены электронными блоками с поддержкой передачи параметров через интерфейсы SAE J1939 и EDLM. Разработана схема единой цифровой системы мониторинга на основе узловых ретрансляторов, которая обеспечивает сбор и обработку информации в реальном времени, включая загрузку кузова, продолжительность рейса и технические параметры узлов машин.

Сравнительный анализ показал, что Volvo Euclid R-170 выгодно отличается от других моделей (БелАЗ-75131, БелАЗ-75471) не только объёмом кузова и грузоподъёмностью, но и более высокой стабильностью технической отдачи при варьирующихся условиях маршрута. При увеличении плотности породы и глубины горизонта он сохраняет минимальное количество рейсов на единицу объёма, в то время как для менее мощных машин наблюдается кратный рост циклов. При этом время одного рейса у R-170 остаётся в пределах 11,5 минут, несмотря на удлинённое плечо, благодаря лучшей динамике хода и сокращённой длительности разгрузки.

Отдельно стоит отметить способность R-170 адаптироваться к различной геометрии рабочих площадок и сохранять высокий коэффициент использования грузоподъёмности (до 0,92) даже в условиях недостаточной фронтальной погрузки. На горизонтах с плотностью 2,85 т/м³ фактическая загрузка машины достигает 133 т, что делает её наиболее рациональным выбором для централизованной логистики рудника. В совокупности с возможностью полной интеграции в цифровую инфраструктуру и устойчивостью к режимам перегрузки, R-170 обоснован как приоритетная модель для дальнейшей эксплуатации в системе модернизированного выемочно-погрузочного комплекса.

3 Оценка эффективности цифровых решений и обоснование использования автосамосвала R-170

3.1 Оценка экономической эффективности цифровых программно-технических решений

Комплексная цифровизация управления и контроля выемочно-погрузочных процессов на Донском руднике требует всесторонней оценки затрат, сроков реализации, а также ожидаемой экономической и производственной отдачи. Согласно предварительному технико-экономическому анализу, затраты на приобретение, установку и наладку оборудования для цифровизации составляют ориентировочно 310–350 млн тенге, в зависимости от выбранных моделей и количества базовых станций и необходимого объема серверного оборудования.

Основная часть капитальных затрат приходится на разворачивание Mesh-сети с диапазоном 5730–5770 МГц и установку GNSS-приемников с поддержкой RTK (Trimble R750). Для обеспечения устойчивого покрытия территории карьеров, отвальных площадок и площадку АБК и т.д. (общая площадь порядка 7,5 км²) требуется развертывание 12–14 базовых станций с ретрансляторами (стоимость одной станции в сборе с монтажными комплектами — порядка 9,5 млн тенге).

Дополнительно приобретаются коаксиальные антенны, Ethernet-кабеля, оптические многожильные кабели и сетевые усилители, что в совокупности увеличивает стоимость комплекта одной станции до 300 тысяч тенге. Затраты на перечень устройств и услуг с примерными капитальными затратами указан в таблице 3.1.

После ввода в эксплуатацию цифровой инфраструктуры, необходимо закладывать в годовой бюджет расходы на её обслуживание. Это позволяет сохранять высокую точность данных, продлевать срок службы компонентов и обеспечивать непрерывную работу программных решений. Операционные затраты (ОРЕХ) необходимы для поддержания функционала системы на протяжении всего срока эксплуатации. По нормам промышленных ИТ-проектов, обслуживание составляет 7–10% от CAPEX. В данном случае показатель — 7,9%. Все виды работ (калибровка, обновления, поддержка) включены в внутренние регламенты предприятия. Система может обслуживаться как внутренними силами, так и внешними поставщиками (по лицензии). Далее указаны операционные затраты на обслуживания в таблице 3.2.

Для объективной оценки эффективности внедрения цифровых решений в систему выемочно-погрузочных работ Донского рудника проведён сравнительный анализ ключевых технико-экономических показателей до и после модернизации. Изменения некоторых показателей как коэффициент технической готовности приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.1 - Примерный расчет капитальных затрат, а также ключевых экономических показателей внедрения цифровой системы управления

Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., тг	Сумма, млн тг	Назначение / пояснение
GNSS-приёмники Trimble R750	шт.	14	9 450 000	132,3	Позиционирование техники в режиме RTK
CAN-модули телеметрии (BORT-ECU / EDLM)	шт.	10	12 000 000	120,0	Контроль технических параметров автосамосвалов
Mesh-сеть (ретрансляторы, стойки, антенны, монтаж)	компл.	14	280 000	3,92	Связь на маршрутах внутри карьеров
Серверный комплекс, кондиционирование и ИБП	компл.	2	30 000 000	60,0	Централизованная обработка телеметрии
Программное обеспечение, лицензии, АРМ	компл.	1	15 000 000	15,0	Система диспетчеризации, визуализации и аналитики
Пуско-наладка, монтажные и кабельные работы	услуга	—	—	25,0	Интеграция компонентов, настройка ПО
Итого капитальные вложения (CAPEX)				356,2	

Таблица 3.2 – Операционные затраты (ОРЕХ) на обслуживание системы

Статья затрат	Методика расчёта	Сумма, млн тг/год	Пояснение
ТО Mesh-сети, GNSS, бортовых комплексов и серверов	5% от CAPEX	17,81	Ремонт, очистка, калибровка, диагностика
Лицензии и обновления ПО	Фиксированная стоимость	9,6	Ежегодная поддержка ПО (SCADA, MineLink аналитика)
Калибровка CAN-модулей	0,5 млн * 4 раза	2,0	Ежеквартальная проверка точности данных
Обновление серверного оборудования	Плановое обслуживание	1,2	Замена накопителей, ИБП, вентиляции
Итого ОРЕХ	—	30,61	—

Таблица 3.3 – Сравнение показателей до внедрения и после внедрения цифровых решений

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение
Коэффициент технической готовности (КТГ)	0,85	0,93	+9,4%
Уровень простоев техники, %	14,2	4,8	–9,4 п.п.
Средняя загрузка кузова, %	85	95	+11,8%

Коэффициент технической готовности до внедрения цифровизации ограничивался отсутствием постоянного контроля технического состояния техники. Основная часть ремонтов производилась по факту отказа, без предварительной диагностики. После внедрения телеметрических систем появляется возможность отслеживать техническое состояние оборудования в реальном времени, выявлять отклонения по параметрам двигателя и узлов, заранее направлять технику на обслуживание. Это позволит сократить непредвиденные остановки и повысить уровень готовности оборудования до 0,93.

Вероятно снижение простоя техники с 14,24% до 4,85% сменного времени. До цифровизации ежедневно теряется в среднем 94 минуты из 660 минут рабочего фонда на одну единицу техники, включая ожидание загрузки, очередь у приёмного пункта и логистические конфликты на маршрутах. После внедрения GNSS-мониторинга и автоматического распределения техники между фронтами, суммарные потери ориентировочно могут сократиться до 32 минут в день. Экономия может составлять до 62 минут в смену, или более 377 моточасов дополнительного эффективного времени на одну машину в год.

Организация серверной инфраструктуры, включая закупку серверов PowerEdge R430 (1 ед. ~11–12 млн тенге), источников бесперебойного питания SVC 3 кВА (~3,5 млн тенге) и систем кондиционирования (~4 млн тенге), обойдется ориентировочно в 30 млн тенге. Сетевые шкафы (42U), патч-панели и коммутаторы (D-Link DGS-1024D) с монтажом оцениваются в 5–6 млн тенге. Учитывая эти расходы, а также обязательное резервирование серверного комплекса (двойное дублирование), общая стоимость серверной части составит около 45–50 млн тенге. Необходимо учесть затраты на закупку и установку CAN-конвертеров (HMS Anybus, ~350 тыс. тенге за единицу) и датчиков нагрузки (тензодатчики Flintec RC3, Vishay Revere 9123 — порядка 300–400 тыс. тенге за комплект), которые интегрируются с бортовыми системами автосамосвалов БелАЗ 75131, БелАЗ-75471 и R-170. Всего потребуется около 30 комплектов датчиков и CAN-конвертеров для техники, задействованной в выемочно-погрузочном цикле с учетом единиц для резерва. Сами затраты на устройства составят до 15 млн тенге. Монтаж и настройка бортовых комплексов обойдутся ещё в 70% от суммы оборудования (8–10 млн

тенге), включая затраты на адаптацию разъемов и прокладку защитных кожухов для кабельной продукции.

Значительная часть бюджета связана с подготовкой кадров. Для бесперебойной эксплуатации системы требуется обучение как минимум 8–10 операторов-диспетчеров и 20–25 машинистов автосамосвалов и экскаваторов. Организация специализированных курсов с использованием производственных тренажеров, аренда учебных классов и привлечение специалистов в качестве наставников оценивается в 6–8 млн тенге. Для сопровождения системы на всех этапах работы необходимо формирование отдельной ИТ-группы из 3–4 инженеров (зарплатный фонд на год — 15–20 млн тенге).

Пуско-наладочные работы, включающие комплексное тестирование каждого компонента, калибровку GNSS-приемников, настройку Mesh-сети и программных интерфейсов, а также разработку индивидуальных регламентов эксплуатации, оцениваются в 12–15 млн тенге. В эти расходы входят также лицензии на серверное ПО, включая системы виртуализации и аналитические модули для диспетчеризации.

Совокупные капитальные инвестиции в проект цифровизации Донского рудника таким образом могут составить в диапазонах 350–370 млн тенге без конкретизации. При этом важно подчеркнуть, что подобное внедрение позволяет в перспективе сократить эксплуатационные расходы на 12–18% за счет более точного учёта загруженности техники, повышения коэффициента технической готовности с 0,85 до 0,93 и сокращения времени простоев за счёт оптимального планирования маршрутов автотранспорта. Использование Mesh-сети и GNSS-позиционирования устраняет необходимость ручного сбора информации, что ранее занимало до 15–20% рабочего времени диспетчерской службы [14].

Дополнительным преимуществом является значительное снижение затрат на внеплановый ремонт автосамосвалов, так как постоянный мониторинг узлов с помощью CAN-интерфейса позволит прогнозировать износ и выявлять отклонения ещё на ранней стадии. По предварительным расчётам, экономия на незапланированных ремонтах составит 5–7 млн тенге ежегодно. Параллельно снижаются издержки, связанные с перерасходом топлива, до 5–10%, что эквивалентно 30–40 млн тенге в год при текущих объемах перевозки.

После внедрения системы GNSS и CAN-мониторинга простой автосамосвалов сокращаясь с 94 до 32 минут в смену, составит 62 минуты экономии в день. При годовой эксплуатации (323 дня) и ставке среднего машино-часа 8 000 тенге, экономия на один самосвал составляет 2,669 млн тенге в год. На существующие 7 единиц автосамосвалов в парке общая экономия в простое составит около 18,69 млн тенге в год.

С учётом и других факторов (экономия за счет повышения грузочной способности, снижения расхода топлива и сокращения рейсов) годовая

экономия может варьироваться от 88,2 млн до 93,69 млн тенге. ОРЕХ в виде ежегодных затрат цифровой системы составляет 30,61 млн тенге в год. Это говорит о чистой экономии которая вычитывает ОРЕХ из годовой – 58-63,08 млн тенге/год. Возвращаясь к капитальным затратам (максимальный CAPEX – 356,3 млн тенге) можно теоритически посчитать окупаемость, который в итоге составляет данный диапазон – 5,64-6,14. Проект может окупиться за прогнозируемые 5,5-6 лет эксплуатации, после чего ежегодные экономические эффекты составят от 40 млн тенге. Все предлагаемые цифровые решения не только повышает производительность выемочно-погрузочных работ, но и обеспечивает надёжную защиту данных, минимизирует риски ошибок из-за человеческого фактора и соответствует стандартам корпоративной безопасности. В условиях растущих требований к экологической ответственности цифровизация также способствует сокращению выбросов CO₂ за счет сокращения нецелевых поездок и снижения холостого расхода топлива [12,13].

3.2 Техничко-экономическое обоснование использования R-170 в качестве оборудования для транспортировки на руднике

Современные карьерные предприятия сталкиваются с необходимостью оптимального выбора автотранспортного оборудования, способного обеспечить высокую производительность при минимальных совокупных затратах. На рынке представлены десятки производителей карьерных самосвалов, предлагающих машины различной грузоподъёмности, энерговооружённости и технических характеристик. Однако не каждый тип техники одинаково эффективен в условиях конкретного месторождения, особенно при усложнённых горно-технических параметрах.

Актуальность проблемы выбора транспортной техники усиливается высоким уровнем капитальных и эксплуатационных расходов: в течение жизненного цикла стоимость владения автосамосвалом может в два–три раза превышать его первоначальную цену. Это требует взвешенного подхода к формированию автопарка, базирующегося не только на соотношении стоимости и надёжности, но и на эффективности эксплуатации техники в конкретных условиях.

На практике применяются два основных подхода:

- приоритет отдаётся надёжности и репутации производителя, несмотря на высокую начальную цену.
- предпочтение более экономичной техники с последующей заменой по мере износа, ориентируясь на общие затраты за весь срок службы.

В обоих случаях ключевым критерием становится минимизация суммы капитальных и эксплуатационных затрат, включающая: стоимость приобретения, обслуживания, потребление топлива, простои, стоимость мото-часа и другие расходы. Однако стандартные методы расчёта не всегда

позволяют точно оценить, насколько конкретная модель соответствует условиям месторождения и задачам предприятия [21].

Для устранения влияния случайных факторов и повышения объективности сравнения в последнее время применяется показатель эффективности транспортной работы (ЭТР), который интегрально учитывает грузоподъемность, скорость движения, мощность двигателя и расстояние транспортировки. Его размерность - $t^2 \cdot km^4 / ch^4$ - позволяет единообразно сравнивать модели, отличающиеся по классу и техническим характеристикам.

В рамках данной работы произведён сравнительный анализ автосамосвалов, ранее применяемых на руднике, и рассмотрен вопрос обоснования выбора R-170. Оценка проводилась с учётом технических параметров, показателя ЭТР, а также потенциальной экономии по расходу топлива и снижению эксплуатационных затрат. Такой подход позволяет сформировать рациональную и экономически оправданную структуру автопарка, соответствующую текущим и перспективным требованиям к транспортной системе рудника.

В рамках оценки эффективности карьерного автотранспорта ключевыми являются взаимосвязанные показатели: транспортная работа $A_{тр}$, мощность (N), энергия (E) и интегральный показатель эффективности транспортной работы (ЭТР). Они позволяют всесторонне охарактеризовать технический потенциал машин и их соответствие условиям эксплуатации.

Транспортная работа ($A_{тр}$) определяется как произведение массы груза (Q, т) на расстояние транспортировки (L, км) и отражает фактический объём перемещения горной массы. Требуемая мощность (N, кВт) учитывает сопротивление движению (F) и характеризует затраты энергии на преодоление трассы в данных условиях. Энергия (E) — произведение Q, L и N — служит оценкой суммарной энергетической нагрузки при транспортировке [22,23].

Наиболее комплексным показателем является эффективность транспортной работы (ЭТР), зависящая от объёма перемещённой массы ($A_{тр}$), средней скорости движения (v, км/ч) и требуемой мощности (N). Чем выше значение ЭТР, тем рациональнее используются технические характеристики автосамосвала, особенно при работе в сложных горнотехнических условиях.

$$A_{тр} = Q \cdot L, \quad (3.8)$$

$$N = Q \cdot L \cdot F \quad (3.9)$$

$$E = Q \cdot L \cdot N \quad (3.10)$$

$$ЭТР = A_{тр} \cdot v \cdot N \quad (3.11)$$

Исследуем этот показатель ЭТР для обоснования типа и модели автосамосвалов, используемых на Донском руднике. Задачей укажем

транспортируемым объемом в 5 млн.т. ЭТР для автосамосвалов показан в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Расчет показателя ЭТР для транспортирования руды в объеме 5 млн. т на высоту подъема 250 м

АС	ГП, т	Груз, млн т	Высота подъема пород, м	Расстояние для АС, км	Путь на самом тяжелом участке, км	Работа, т*км	Мощность двиг., кВт	Макс. скорость, км/ч	Показатель ЭТР, $\text{т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$
БелАЗ-75131	130	5	250	1,5	1,5*5000 000/130	57 692, 307	1050	45	2 725 961 506
R-170	155	5	250	1,5	1,5*5000 000/155	48 387, 096	1193	55,4	3 198 009 626
БелАЗ-75471	45	5	250	1,5	1,5*5000 000/45	166 666 , 67	405	50	3 375 000 186

Согласно расчётам из таблицы 3.4, наибольшее значение ЭТР демонстрирует БелАЗ-75471, достигший уровня порядка $3,38 \times 10^9 \text{ т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$. Это связано с высокой скоростью при значительной транспортной работе, обусловленной малой грузоподъёмностью (всего 45 т) и, как следствие, увеличенным числом рейсов. Однако столь высокий показатель не обязательно свидетельствует о лучшей экономичности: большое количество рейсов влечёт за собой рост совокупных затрат на топливо, обслуживание, износ шин и агрегатов, а также увеличивает нагрузку на дорожную сеть. R-170 показывает более умеренное значение ЭТР ($\approx 3,20 \times 10^9 \text{ т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$), но при этом требует наименьшего объёма транспортной работы (48 387 т·км), что связано с его высокой грузоподъёмностью (155 т). Такой результат указывает на более рациональное использование ресурса за счёт меньшего количества рейсов. Несмотря на то, что R-170 не демонстрирует наивысший ЭТР среди анализируемых моделей, он может быть предпочтительным с точки зрения топливной эффективности, надёжности, длительности межсервисных интервалов и уменьшения времени простоя. Автосамосвал БелАЗ-75131 занимает промежуточную позицию как по ЭТР ($2,73 \times 10^9 \text{ т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$), так и по транспортной работе. Он может быть целесообразен для условий с ограничениями по габаритам техники или при необходимости унификации автопарка.

Анализ данных, представленных в Приложении А, демонстрирует устойчивую зависимость между техническими характеристиками автосамосвалов и их эксплуатационной эффективностью в условиях Донского рудника. На протяжении анализируемого периода (2019–2027 гг.) наблюдается незначительный рост глубины карьера, расстояния транспортирования и, соответственно, топливных затрат. При этом машины с

меньшей грузоподъёмностью обеспечивают более высокий годовой грузооборот и значение показателя ЭТР, однако это достигается за счёт резкого увеличения количества рейсов и пробега.

Подробные графики затрат и других показателей автосамосвалов визуализированы на рисунках 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4.

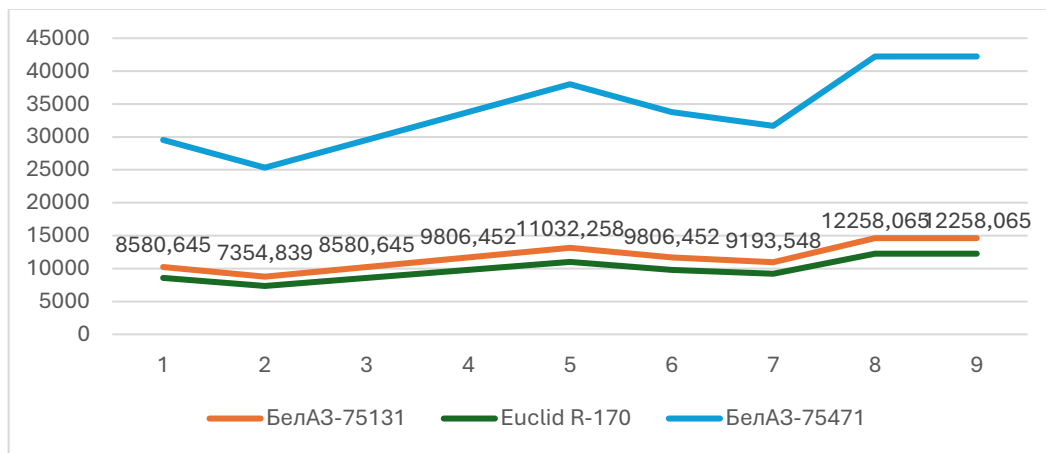


Рисунок 3.1 – Расчетное количество рейсов автосамосвалов в год

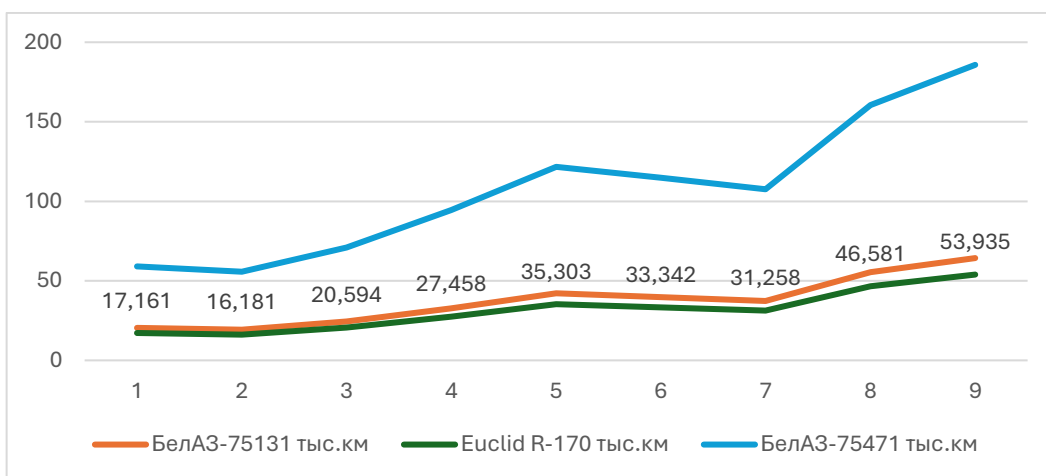


Рисунок 3.2 – Годовой пробег автосамосвалов

Совокупный расход топлива для наименее грузоподъемного варианта достигает 43,2 млн литров в 2027 году, тогда как для более тяжелой техники он не превышает 12,5 млн при сопоставимом объеме перемещаемой руды. Приведенные затраты на дизтопливо к концу расчетного периода могут составить 15,6 млрд тенге для самой затратной модели, в то время как наиболее энергоэффективный вариант демонстрирует почти в 3,5 раза меньшие расходы — около 4,5 млрд тенге. При этом уровень добычи в указанные годы возрастает, что подчеркивает необходимость выбора техники, способной справляться с возрастающими объемами без пропорционального роста эксплуатационных затрат.

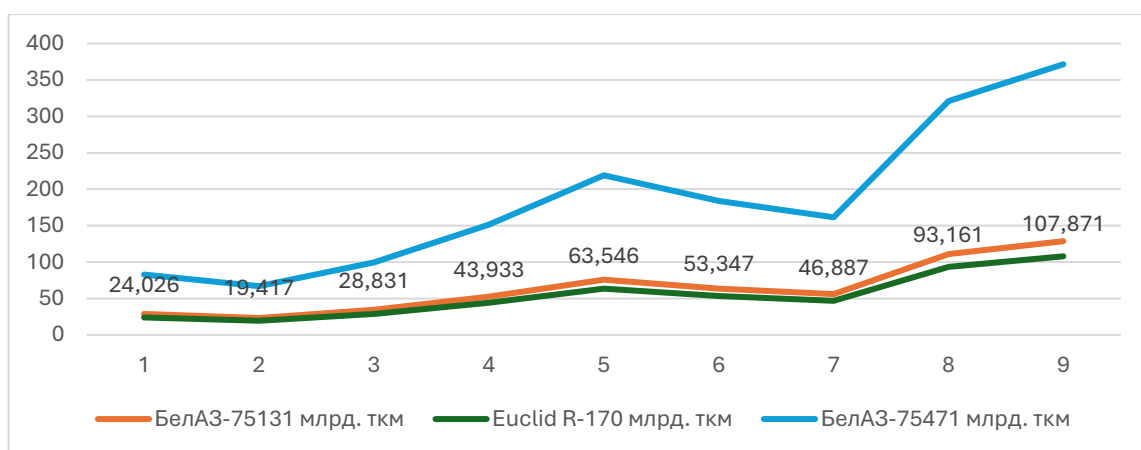


Рисунок 3.3 – Грузооборот автосамосвалов

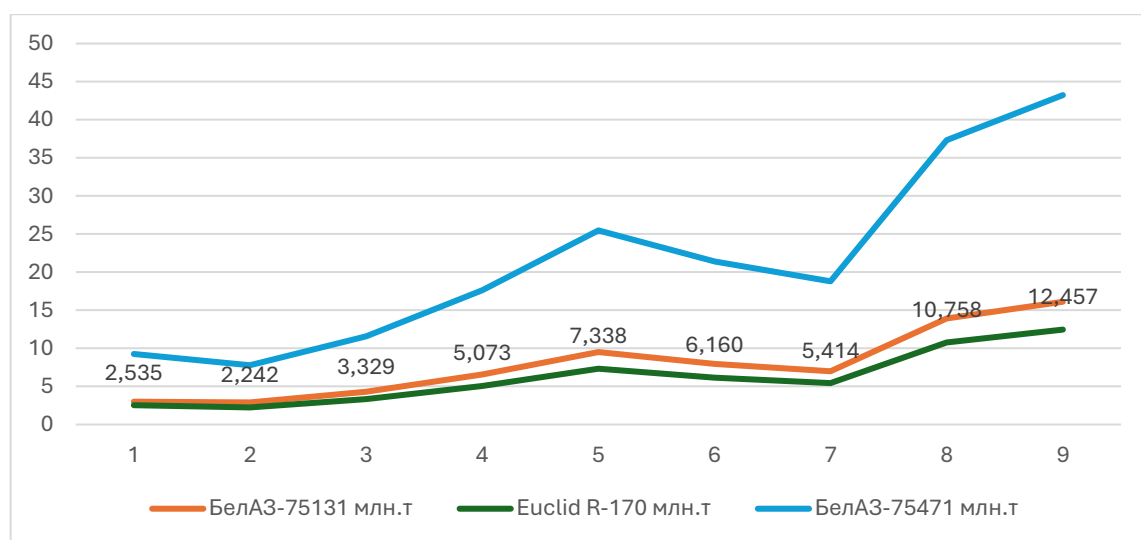


Рисунок 3.4 – Расход топлива с учетом увеличения высоты подъема и расстояния транспортных дорог

Сопоставив данные по расходу топлива, количеству рейсов и значению ЭТР, можно заключить, что наибольшую практическую эффективность демонстрирует самосвал R-170.

Несмотря на то что он не обладает наивысшим формальным значением показателя ЭТР, его эксплуатационные параметры позволяют значительно сократить пробег и общее топливопотребление. Это делает его более устойчивым к изменению горнотехнических условий и позволяет рассматривать его как приоритетный вариант в рамках оптимизации выемочно-погрузочного комплекса.

Сопоставительный анализ по обобщенным критериям в комплексе – транспортной работе и показателю эффективности транспортной работы - и затратам на дизельное топливо показывает, что в условиях карьеров Донского рудника экономичен самый большегрузный (155-тонный) автосамосвал Euclid R-170.

С учетом корректировки на условия их использования в основном на транспортировании пород скальной вскрыши, где-то на 10% менее экономичны 130 тонные автосамосвалы БелАЗ-75131. Но в отличие от R-170, БелАЗ-75131 тоже параллельно предпочтительны в стесненных условиях нижних горизонтов.

Учитывая габариты технологического транспорта и соответствующий угол наклона рабочего борта, в стесненных условиях глубинной части на вывозке руды предпочтительно использовать более маневренные автосамосвалы R-170 грузоподъемностью 155 т, а на перемещении до внутрикарьерных перегрузочных пунктов пород – менее производительные автосамосвалы БелАЗ-75131 грузоподъемностью 155 т. При перераспределении техники между участками возможно также более равномерное распределение транспортной работы и снижение простоев экскаваторов, вызванных несвоевременной подачей автотранспорта.

Оптимизация парка за счет перераспределения практически всех основных объемов погрузок на R-170 может рассматриваться как эффективный момент повышения устойчивости и гибкости системы выемочно-погрузочных работ, особенно в условиях наращивания объёмов добычи и увеличения транспортных плеч.

Выводы по третьей главе

Проведена комплексная оценка эффективности цифровых решений и технико-экономическое обоснование использования автосамосвала Volvo Euclid R-170 на Донском руднике. Сформирована предварительная цифровая модель выемочно-погрузочного комплекса, включающая телеметрию на базе CAN-интерфейса, GNSS-позиционирование и сетевую инфраструктуру передачи данных. Расчётная стоимость внедрения системы составила 356,2 млн тенге (CAPEX), включая оборудование, монтаж, серверную часть и лицензирование. Годовые эксплуатационные затраты (OPEX) — 30,61 млн тенге.

Прогнозируемые результаты внедрения цифровизации: рост средней загрузки автосамосвалов с 85% до 95%, сокращение доли простоев техники с 14,2% до 4,8% и увеличение коэффициента технической готовности с 0,85 до 0,93. Выигрыш по времени составил 62 минуты за смену на единицу техники, что эквивалентно приросту более 377 моточасов в год. По оценке совокупной экономии на топливе, ремонтах, снижении количества холостых рейсов и непроизводительного пробега, годовой экономический эффект составил от 88,2 до 93,69 млн тенге. С учётом ежегодных затрат, чистая экономия достигает 58–63,08 млн тенге, а срок окупаемости цифровизации — 5,6–6,1 лет. После точки безубыточности прогнозируемая экономия составляет не менее 40 млн тенге в год.

Выполнено обоснование использования Volvo Euclid R-170 на основе расчётов сменной производительности, коэффициента загрузки, времени рейса, количества рейсов, потребной мощности и других технико-

эксплуатационных характеристик. Построены графики зависимости: загрузки от плотности породы, времени рейса от маршрута, количества рейсов от производительности. Рассчитан интегральный показатель эффективности транспортной работы — ЭТР, равный $3,20 \cdot 10^9 \text{ т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$, что демонстрирует максимальную эффективность модели R-170 в условиях действующих маршрутов Донского рудника. По совокупности характеристик, включая высокую производительность, устойчивость к перегрузкам, минимальное количество циклов на тонну, совместимость с цифровыми системами и сбалансированную эксплуатационную стоимость, R-170 признан наиболее обоснованным вариантом базовой транспортной единицы в системе цифрового управления карьерной логистикой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе проведён анализ текущего состояния выемочно-погрузочных работ на Донском руднике, даны количественные оценки эффективности применяемых технических средств и разработаны предложения по их оптимизации. Изучены геолого-технические условия эксплуатации, структура автопарка, параметры действующих карьерных участков и система диспетчерского управления. Выявлены проблемы, связанные с низким коэффициентом использования оборудования, отсутствием централизованного цифрового контроля и перегрузкой отдельных участков.

В ходе технико-экономической оценки автосамосвала Volvo Euclid R-170 установлено, что его эксплуатационная сменная производительность составляет 5021 т/смену, что превышает аналогичный показатель у БелАЗ-75131 (3319,2 т/см) и БелАЗ-75471 (1574 т/см). Время одного рейса — 10,5–11,5 мин, коэффициент использования грузоподъёмности — 0,92, что позволяет минимизировать количество транспортных рейсов. Годовой грузооборот R-170 составляет 4 208 820 т·км, потребность в транспортной работе — 48 387 т·км, что ниже по сравнению с другими машинами аналогичного класса. Интегральный показатель ЭТР автосамосвала R-170 равен $3,20 \times 10^9 \text{ т}^2 \cdot \text{км}^4 / \text{ч}^4$, что близко к значению БелАЗ-75471 ($3,38 \times 10^9$), но при этом достигается снижение нагрузки на карьерную инфраструктуру за счёт меньшего количества циклов. Обосновано, что в условиях Донского рудника экономически рационально использовать R-170 на маршрутах с удлинённым плечом откатки и рудных блоках с высокими объёмами добычи.

Внедрение цифровой системы мониторинга техники, включающей GNSS-приёмники, CAN-интерфейсы и сетевые модули, обеспечивает прирост технической готовности оборудования с 0,85 до 0,93, снижение простоев с 94 до 32 минут в смену и увеличение средней загрузки кузова с 85% до 95%. За счёт этого высвобождается до 377 моточасов полезной работы на единицу в год. Общий годовой экономический эффект от цифровизации составляет от 88,2 до 93,69 млн тенге, чистая экономия с учётом эксплуатационных расходов — 58–63,08 млн тенге. Срок окупаемости проекта определён в пределах 5,64–6,14 лет, с последующим ежегодным эффектом более 40 млн тенге. Дополнительно, использование R-170 даёт экономию на уровне 3,4 млн тенге в год за счёт меньшего количества рейсов и снижения удельных затрат на транспортировку до 12,2%.

Результаты работы подтверждают обоснованность перехода к комплексной цифровизации и переменам автопарка с учётом реальных эксплуатационных и экономических условий. Приведённые расчёты и обоснования могут быть использованы для корректировки производственных планов, планирования закупок техники и разработки новых схем карьерной организации на аналогичных объектах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Технологическая инструкция по «Вскрышным работам» 8.5-03-3.30-2023, ТИ 30-02-2023 – АО «ТНК «Казхром», ДГОК.
- 2 Инструкции по организации и проведению экологической оценки АО «ТНК «Казхром» от 30 июля 2021 года № 280.
- 3 Технологическая инструкция ТИ 8.5-05-3.30-2023 по «Работе погрузочных средств, при отгрузке сырой и товарной продукции в вагоны, думпкары и автосамосвалы», ОАО «Донской рудник», 2023 г.
- 4 Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. пособие. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. — 267 с.
- 5 Галиев С.Ж., Галиев Д.А. Автоматизация процессов планирования и управления на предприятиях горнодобывающего комплекса // Вестник КазНУ. Серия технических наук. – 2014. – №3(59). – 104–110 с.
- 6 Проект промышленной разработки месторождений хромовых руд. Казгипроцветмет. Усть-Каменогорск. 2013 г.
- 7 Яковлев Ю.И., Жеребко Л.Н., Джангулова Г.К., Пивоварова Л.М. Перспективы отработки глубоких горизонтов месторождений Донского ГОКа системой с обрушением Научно-техническое обеспечение горного производства. Труды ИГД им. Д.А. Кунаева. - Алматы, - Т.69- 2005.-С.67-70
- 8 Журавлев А.Г., Глебов И.А., Черепанов В.А. К вопросу повышения производительности и технической готовности мощных отечественных экскаваторов // Проблемы недропользования. №4 2023 ж. – 76-88 с.
- 9 Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного воздействия подземных выработок на месторождениях черных металлов Уральска и Казахстана. Свердлов, 2013 г.
- 10 Дребенштедт К., Риттер Р., Супрун В.И., Агафонов Ю.Г. Мировой опыт эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением // Горный журнал, № 11, 2015. - 81-87 с. doi: 10.17580/gzh.2015.11.17.
- 11 Канагатова А.А., Сандибеков М.Н., Галиев Д.А. Оптимизация работы экскаваторно-автомобильного комплекса методом имитационного моделирования. Международная практическая конференция Абишевские чтения 2016 "Инновации в комплексной переработке минерального сырья. г. Алматы 131-137б.
- 12 Rakishev B.R. Optimization of the ore flow quality characteristics in the quarry in road-rail transport // Mining of Mineral Deposits. – 2015. – Vol. 9, №3. – 45–52 б.
- 13 Временное методическое пособие по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания рудников и - АО "ТНК" Казхром "- 2021 г.

14 Ракишев Б.Р., Галиев С.Ж., Галиев Д.А., Утешов Е.Т. Повышение эффективности внутрикарьерного управления качеством руды с использованием новых информационных технологий // Горный журнал. – 2015. – №6. – С. 38–43.

15 Кулешов А.А., Мариев П.Л., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб., 2004.

16 Коптев В.Ю. Обоснование выбора транспортных машин горных предприятий / Горная техника, Изд. Дом «Славутич», 2012, С. 58-61.

17 Сандибеков М.Н., Сержанов М.М. Интегрированный подход к оптимизации вскрыши и снижению потерь и разубоживания руды», №2 (278), 21 мая 2025 г. «Международный научный журнал АКАДЕМИК» - 72-75 с.

18 Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации / А.А. Емельянов, Д.А. Шибанов, Е.В. Пумпур, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. №10. С. 86-94.

19 Методика расчета нормативов запасов руды (песков) по степени подготовленности к добыче на предприятиях министерства цветной металлургии СССР, ВНИИЦветмет.

20 Ракишев Б.Р. «Системы и технологии открытой разработки». Алматы: НИЦ «Ғылым», 2003.

21 Джаксыбаев А.Х. Метод планирования горно-транспортных работ в карьерах на основе технологически стабильных периодов // Горный журнал. – 2013. – №3. – С. 22–27.

22 Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В. и др. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития // Монография. - Кривой Рог: Дионис (ФЛ-П Чернявский Д.А.), 2012. - 356 б.

23 Жусупов К.К. Технология корпоративного управления геотехнологическим комплексом на открытых разработках // Вестник КазНУ. Серия технических наук. – 2010. – №3(43). – 72–78 б.

24 Бояндинова А.А. Метод оперативного планирования и управления процессом воспроизводства мощностей горно-транспортных систем карьеров // Вестник КазНУ. Серия технических наук. – 2012. – №1(33). – 49–55 б.

25 Козлов С.В. Современные методы оптимизации горнотранспортной инфраструктуры // Горная наука и техника. — 2019. — Т. 7, № 1. — 15–22 б.

26 Кодекс РК от 27.12.2017 № 125-V1 «О недрах и недропользовании» (с изменениями и дополнениями от 24.05.2018).

27 Инструкция по составлению Плана торговых работ (приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 18 мая 2018

года № 351) Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 4 июня 2018 года № 16978).

28 Нормы технологического проектирования (методические рекомендации) горнодобывающих предприятий, освоенных подземным способом. Утверждены приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 04.12.2008 года, № 46.

29 Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих взрывные работы (приказ Министра по инвестициям и развитию РК от 30.12.2014 г. № 343).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчет затрат на дизтопливо при транспортировании руды самосвалами трех моделей на карьерах Донского рудника

Наименование показателей	Ед. изм.	По годам								
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Добыча руды	млн. т	1,4	1,2	1,4	1,6	1,8	1,6	1,5	2,0	2,0
Глубина карьеров	м	280	290	300	310	320	320	330	330	330
Средневзвешенная высота подъема руды с Участка А до горизонта перегрузки с эстакадой/ рудного склада	м	250	270	270	280	290	300	310	330	340
Расстояние транспортирования руды автотранспортом, в т.ч.										
	км	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,7	1,9	2,2
Количество рейсов автосамосвалов в год:										
БелАЗ-75131		10230,769	8769,231	10230,769	11692,308	13153,846	11692,308	10961,538	14615,385	14615,385
Euclid R-170		8580,645	7354,839	8580,645	9806,452	11032,258	9806,452	9193,548	12258,065	12258,065
БелАЗ-75471		29555,556	25333,333	29555,556	33777,778	38000,000	33777,778	31666,667	42222,222	42222,222
Годовой пробег автосамосвалов:										
БелАЗ-75131	тыс.км	20,462	19,292	24,554	32,738	42,092	39,754	37,269	55,538	64,308
Euclid R-170	тыс.км	17,161	16,181	20,594	27,458	35,303	33,342	31,258	46,581	53,935
БелАЗ-75471	тыс.км	59,111	55,733	70,933	94,578	121,600	114,844	107,667	160,444	185,778
Грузооборот										
БелАЗ-75131	млрд. ткм	28,646	23,151	34,375	52,382	75,766	63,606	55,904	111,077	128,615
Euclid R-170	млрд. ткм	24,026	19,417	28,831	43,933	63,546	53,347	46,887	93,161	107,871
БелАЗ-75471	млрд. ткм	82,756	66,880	99,307	151,324	218,880	183,751	161,500	320,889	371,556
Расход топлива с учетом увеличения высоты подъема										
БелАЗ-75131	млн.т	2,979	2,900	4,307	6,563	9,492	7,969	7,004	13,916	16,114
Euclid R-170	млн.т	2,535	2,242	3,329	5,073	7,338	6,160	5,414	10,758	12,457
БелАЗ-75471	млн.т	9,269	7,782	11,556	17,609	25,470	21,382	18,793	37,340	43,236
Год приведения		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Приведенные затраты на топливо:										
БелАЗ-75131	млрд. тенге	0,626	0,652	1,035	1,688	2,613	2,347	2,207	4,693	5,814
Euclid R-170	млрд. тенге	0,532	0,504	0,800	1,305	2,020	1,814	1,706	3,628	4,495
БелАЗ-75471	млрд. тенге	1,946	1,749	2,778	4,530	7,011	6,298	5,923	12,592	15,600
Приведенные затраты на топливо нарастающим итогом:										
БелАЗ-75131	млрд. тенге	0,626	1,277	2,313	4,001	6,614	8,961	11,169	15,861	21,676
Euclid R-170	млрд. тенге	0,532	1,036	1,837	3,142	5,162	6,976	8,682	12,310	16,805
БелАЗ-75471	млрд. тенге	1,946	3,695	6,473	11,003	18,014	24,312	30,235	42,826	58,426