

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева

УДК 622.271: 622.83

На правах рукописи

АХМЕТОВА МАДИНУР ИСМАИЛЖАНОВНА

**Комплексная оценка и способы повышения показателей качества
эксплуатации карьерных автосамосвалов**

6D070700 – Горное дело

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант
доктор технических наук
профессор
Столповских И.Н.

Зарубежный консультант
доктор технических наук,
профессор
Кольга А.Д. (Россия)

**Республика Казахстан
Алматы, 2019**

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	
ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	
1.1 Анализ состояния и развития карьерного автомобильного транспорта	12
1.2 Перспективы использования электрифицированных автосамосвалов в карьерах	16
1.3 Анализ существующих методов повышения эффективности карьерного автотранспорта	21
Выводы по первому разделу	26
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА	
2.1 Исследование влияния эксплуатационных факторов на производительность парка карьерного автомобильного транспорта	28
2.2 Определение простоев самосвалов и рекомендации по распределению разнотипных самосвалов к экскаватору	40
2.3 Рама автосамосвала как объект исследования	43
2.4 Основные направления дальнейшего повышения эффективности использования карьерного автомобильного транспорта	54
Выводы по второму разделу	58
3 ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ	
3.1 Пути совершенствования процесса погрузки	59
3.2 Усовершенствование парка автомобильного транспорта при перевозке горнорудной массы в карьерах	65
3.3 Возможности увеличения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах	73
3.4 Карьерные автопоезда на открытых горных работах	79
Выводы по третьему разделу	83
4 ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
4.1 Построение математической модели ударного воздействия при экскаваторной загрузке автосамосвалов	84
4.2 3D-моделирование рамы автосамосвала БелАЗ-7547, статический расчет	92
4.3 Оценка эффективности внедрения результатов исследования	108
Выводы по четвертому разделу	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А	123

ПРИЛОЖЕНИЕ Б	124
ПРИЛОЖЕНИЕ В	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	131
ПРИЛОЖЕНИЕ С	132

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.326-89 ГСИ – Метеорологическая аттестация средств измерения.

ГОСТ 7.32-2001- Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 7.12-93 – Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов русском языке. Общие требования и правила

СТ РК ГОСТ 15.011-2005 – Патентные исследования

ГОСТ 8.417-81 – Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применены следующие термины с соответствующими определениями

ЭАК – экскаваторно-автомобильный комплекс

СНГ - страны независимых государств

ГМТ – газомоторное топливо

КПД – коэффициент полезного действия

НДС – напряженно-деформированное состояние

ССГПО – Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное
производственное объединение

ЭПБ – Экспертиза промышленной безопасности

ОПО – Опасный производственный объект

ЭКГ – Экскаватор карьерный на гусеничном ходу

АТТ – Абсолютно твердое тело

ОКФ- Элемента – элемент Кельвина- Фойгта

САПР – Система автоматизированного проектирования

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технической проблемы

Горнодобывающая промышленность является основой промышленного потенциала многих стран и в значительной степени определяет экономические показатели других отраслей.

Транспортировка горнорудной массы в карьерах является важнейшим звеном единого технологического процесса добычи полезных ископаемых. Основным видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом является автомобильный транспорт.

В современных условиях одной из главных задач любого предприятия является повышение эффективности транспортного процесса при минимальных расходах.

Повышение эффективности автомобильного транспорта путем оптимизации количества автосамосвалов с учетом влияния множества эксплуатационных факторов и конструктивных усовершенствований возможно осуществить за счет интенсификации в различных условиях и рационального распределения автосамосвалов по маршрутам.

Решение этих задач позволит добиться улучшения технико-эксплуатационных показателей работы карьерного автотранспорта, уменьшить транспортные издержки, улучшить экологическую обстановку в карьере.

Основание и исходные данные для разработки темы

Основанием для разработки темы является потребность и необходимость повышения производительности карьерных автосамосвалов в сложных условиях Качарского карьера. В современных условиях производства одной из главных задач любого предприятия является повышение эффективности транспортного процесса при минимальных расходах.

В диссертации на основании анализа научно-технической литературы и полученных статистических данных на карьерерах приняты исходные данные для разработки темы диссертации.

Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы.

Тенденция постоянного увеличения грузоподъемности автотранспорта приводят к расширению области его эффективного применения. Вместе с тем, рост глубины карьеров усложняет условия эксплуатации автотранспорта и предъявляет повышенные требования к его надежности, определяемой, в частности, долговечностью металлоконструкций автосамосвалов.

Необходимость выполнения настоящей научно-исследовательской работы продиктована наличием возможностей и необходимостью повышения эффективности работы карьерных автосамосвалов, путем установления аналитических зависимостей влияния эксплуатационных факторов на производительность автосамосвалов и разработки комплекса погрузки

автосамосвалов, позволяющего значительно повысить долговечность металлоконструкций несущих узлов автосамосвалов.

В связи с изложенным, исследования, направленные на повышение эффективности карьерного автотранспорта являются необходимыми для проведения научно-исследовательской работы.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них

Проведен анализ научно-технической литературы по вопросам эффективной эксплуатации большегрузного карьерного автотранспорта, проводимых исследований в условиях АО «ССГПО» Качарского карьера и ТОО KazMinerals карьера Актогай по применению автомобильного транспорта.

При выполнении работы использовался комплексный метод исследований, включающий анализ и научное обобщение научно-технической информации, статистическую обработку эксплуатационных данных автосамосвалов, конечно-элементное моделирование, твердотельное моделирование, использование оцифрованных данных системы мониторинга состояния автосамосвала.

На основании анализа исследований рассмотрена эффективность использования новых технических решений направленных на повышение производительности карьерного автомобильного транспорта. В диссертации приведены результаты научного анализа современного состояния научно-технической проблемы и содержание полученных результатов по повышению производительности экскаваторно-автомобильных комплексов. По теме диссертации подана заявка на изобретение которая находится на стадии рецензирования.

В диссертационной работе планируется оптимизация качества эксплуатации автосамосвалов за счет уменьшения времени загрузки, ожидания под погрузку и сокращения времени простоя на ремонте металлоконструкции автосамосвалов.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.

Исследования по теме диссертации выполнены с применением отчетных данных бортовых компьютеров карьерных автосамосвалов АТЦ Качарского карьера АО «ССГПО» и карьера Актогай ТОО KazMinerals. Оборудование оснащалось измерительным и фиксирующим комплексом, основанном на GPS-навигации (Racelogic V-box VB2SX5 S/n 009697). Нормальная частота измерения 5Гц (5 раз в секунду). Такой комплекс с большой точностью дает возможность определять: скорость движения автосамосвалов, время, пройденное расстояние, высоту положения относительно уровня моря, траекторию движения, все виды ускорений и т.д. В карьере Актогай ТОО Kaz Minerals использовали программу Jigsaw которая отслеживает, ведет учет и составляет отчеты по информации высокочастотных компонентов через GPS-навигации. Напряжения в подвесках фиксировались через датчики, записи извлекались с помощью программного обеспечения VIMS.

Актуальность темы

Достижение максимальной эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) рассматривать как единой системы, связанной с горнотехническими, климатическими и организационными условиями конкретного горного предприятия.

В процессе эксплуатации автосамосвалов наиболее опасными, с точки зрения трещинообразования, являются динамические нагрузки, возникающие в процессе движения автомобиля по карьерным дорогам и при его экскаваторной загрузке.

Рассмотрение этих вопросов в комплексе позволит повысить производительность карьерного автотранспорта, уменьшить транспортные затраты, и как следствие, снизить себестоимость перевозки горнорудной массы и получить экономический эффект при минимальных капитальных вложениях. Несмотря на значительное число работ, посвященных рассматриваемым вопросам, некоторые задачи до настоящего времени оставались нерешенными. Это связано в основном с тем, что применяемые в настоящее время методы моделирования и управления автомобильными карьерными перевозками создавались на основе описания их как локального объекта, причем предпочтение отдавалось линейным моделям. Комплексный подход к данной проблеме расширяет возможности поиска альтернативных решения и путей повышения эффективности грузовых перевозок в карьерах, что предопределяет актуальность темы исследований.

Новизна темы заключается в установлении новых закономерностей влияния технико-эксплуатационных факторов на производительность карьерного автотранспорта и разработка прогнозных оценок напряженно-деформированного состояния долговечности и живучести металлоконструкций карьерных самосвалов.

Научная новизна исследований:

1. Установлен вектор оптимальных параметров рационального закрепления имеющегося количества автосамосвалов различных типов за экскаваторами, обеспечивающих минимальные потери времени.

2. Разработан новый комплекс для осуществления погрузки, содержащий шарнирно закрепленные на кузове автосамосвала телескопические гидродомкраты соответствующей грузоподъемности, которые позволяют повысить эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса с имеющимся транспортным автомобильным парком.

3. Установлены комплексные зависимости производительности автосамосвалов от расстояния транспортирования, скорости движения и времени, затрачиваемого на выполнение операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки.

4. На основании исследований предложена рациональная структура парка автосамосвалов, позволяющая оптимизировать в комплексе всю систему перевозки горной массы автомобильным транспортом, а также оптимизировать параметры экскаваторной загрузки автосамосвалов, что позволяет повысить

ресурс шин в 1,5-2 раза, а опорных металлоконструкций автосамосвала в 1,5-2,5 раза.

Связь работы с другими научно-исследовательскими работами

Работа выполнена в рамках лота №2 проекта «Обоснование целесообразности перехода на комбинированный автомобильно-конвейерно-железнодорожный вид транспорта и апробация безопасного интенсивного развития рабочих зон вдоль крутых бортов с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов на Качарском карьере АО «ССГПО» согласно договору №2432/17/20 от 19 октября 2017 года, заключенного с Акционерным обществом «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» в пределах сумм финансирования на 2017-2019 годы.

Цель исследований - повышение эффективности использования карьерного автомобильного транспорта путем повышения показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов

Объектом исследования является внутрикарьерный автомобильный транспорт.

Предметом исследования является процесс и условия эксплуатации парка технологического автотранспорта карьера.

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

-теоретическое исследование и обоснование влияния эксплуатационно-организационных условий работы карьера на производительность карьерных автосамосвалов;

-экспериментальное установление основных характеристик грузовых потоков карьеров, оценка теоретического и фактического времени рейса, выявление простоев автосамосвалов на разрезах Качарского карьера;

-развитие технологий определения параметров статического и динамического нагружения металлоконструкций карьерных автосамосвалов в процессе погрузки отгружаемой взорванной горной массы с помощью моделирования;

-разработка методики оптимизации перевозок горнорудной массы и состава парка автосамосвалов с учетом технологических параметров карьера, долговечности и живучести металлоконструкций автосамосвалов при погрузке горной массы.

Поставленные задачи последовательны и логичны, определяют внутреннее единство научно-исследовательской работы в целом.

Методологическая база научных исследований

К числу основных методов исследования и анализа, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- метод регрессионного и корреляционного анализа;
- статистический анализ эксплуатационных данных;
- построение графических зависимостей в программе Microsoft Excel;

- моделирование напряженного деформированного состояния рамы карьерного автосамосвала с использованием программы Autodesk Inventor Professional 2018;

- исследования динамики процесса погрузки автосамосвала в программе Universal Mechanism.

Положения, выносимые на защиту:

- повышение эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса карьера возможно путем комплексного учета влияния различных технико-эксплуатационных факторов и долговечности несущих конструкций автосамосвалов;

- установлено впервые, что производительность экскаваторно-автомобильного комплекса возможно повысить на 15-20% при кусковатости грузов от 0,6 до 0,8 м о оптимизации процессов загрузки автосамосвалов малой грузоподъемности с выдвижными опорами при работе совместно с экскаваторами большой вместимостью ковша;

- закономерности изменения динамических и статических нагрузок отрицательно влияющих на долговечность металлоконструкций автосамосвалов, целесообразно устанавливать на основе результатов моделирования процессов погрузки горной массы в автосамосвалы экскаваторами с различной вместимостью ковша с использованием программного продукта Universal Mechanism;

- в реальных условиях действующих карьеров напряжения металлоконструкций в процессе погрузки автосамосвалов превышает допустимые на 30-40%, а их размах выше предела выносливости в 2-2,5 раза.

Практическая значимость работы

Использование разработанных методик и установленных закономерностей по повышению эффективности парка карьерных автосамосвалов с учетом структуры грузопотоков, позволяют повысить производительность карьерных автосамосвалов, транспортирующих взорванную горную массу, за счет сокращения времени простоев, и обосновании инженерно-технических решений по предотвращению разрушений рам автосамосвалов.

Публикации и апробация работы

По результатам диссертационной работы опубликованы 11 печатных работ, в том числе:

- 2 статьи в журналах, входящих в базу данных Scopus (Transport Problems Польша, Gliwice 2016, ISSN 1896-0596 IF 0,265; «International Journal of Engineering and Technology» United Arab Emirates, 2017, ISSN 2227-524X IF 0,08);

- 4 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерство образования и науки Республики Казахстан;

Основные положения и результаты исследований по диссертации докладывались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях:

-Международная научно-практическая конференция «Геологоразведочное нефтегазовое дело в XXI – веке: технологии, наука, образование», КазНИТУ имени К.И. Сатпаева г. Алматы 2016 г.;

-Международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика» -2016», Россия, Пермь, 2016 г.;

- Международная научно-практическая конференция «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня» -2017г, Россия, Магнитогорск;

-«VII International symposium of younger searchers» Transport problems Katowice, Poland 2017г.;

- «IX International conference» Transport problems Katowice, Poland 2017г.

По результатам исследований подана заявка на изобретение РК на тему «Способ загрузки горной массы в автосамосвалы и комплекс устройств для осуществления погрузки» №2018/0090.1 от 08.02.2018 г, подтвержденная положительным результатом формальной экспертизы.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 131 страниц машинописного текста, 10 таблиц, 60 рисунков, списка литературы включающих 104 наименований и 5 приложений.

1. Современное состояние карьерного автотранспорта и проблемы его совершенствования

1.1 Анализ состояния и развития карьерного автомобильного транспорта

Основной поток перевозок (до 70%), работающий с промышленным автомобильным транспортом, приходится на карьерные автосамосвалы. Существенное развитие автомобильный транспорт получил благодаря критериям и преимуществам по сравнению с железнодорожными и конвейерными видами транспорта. Значительное изменение горнотехнических условий при добыче полезных ископаемых вызывает необходимость дальнейшего развития конструкции карьерных автосамосвалов [1].

В таблице 1.1 приведена структура парка карьерных автосамосвалов в странах СНГ [2].

На открытых горных работах в странах СНГ эксплуатируются в основном автосамосвалы производства ПО «БелАЗ» - все выпускаемые им модели и их модификации. В ограниченном количестве на ряде карьеров эксплуатируется также горнотранспортная техника производства зарубежных фирм.

Таблица 1.1 Структурный состав парка автосамосвалов БелАЗ по регионам СНГ на 01. 08. 2016 г.

Регион СНГ	Грузоподъемность									
	30	42	45	55	80	110	120	130	180	200
Россия	3840	2749	316	323	64	42	548	320	83	77
Украина	1247	774	32	1	-	26	166	18	-	-
Казахстан	242	459	33	25	34	22	56	2	-	-
Узбекистан	139	157	10	-	34	22	56	2	-	-
Грузия	31	65	-	-	-	-	-	-	-	-
Армения	42	113	10	6	-	5	-	-	-	-
Азербайджан	23	45	-	-	-	8	-	-	-	-
Таджикистан	18	7	3	-	-	-	-	-	-	-
Белоруссия	87	84	2	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	5669	4453	406	355	129	107	775	344	83	77

На сегодняшний день на рынке имеется множество горнотранспортной автомобильной техники как по грузоподъемности, так и по другим эксплуатационным характеристикам. Соответственно для любого предприятия по добыче полезных ископаемых можно выбрать рациональную модель автосамосвала, во всех отношениях соответствующую условиям эксплуатации.

Карьерные самосвалы из типоразмерных рядов, освоенных ведущими мировыми фирмами. Выпускаемые автосамосвалы всех мировых фирм имеют пару принципиально не похожих компоновочных схем: первая классическая схема- когда все узлы системы самосвала встраиваются в раму самосвала и вторая схема с шарнирно-сочлененной рамой (таблица 1.2).

Как видно из таблицы 1.2 только 4 мировые фирмы - БелАЗ, Komatsu, Caterpillar, Euclid-Hitachi - производят полный ряд карьерных автосамосвалов, охватывающий диапазон грузоподъемности от 30 до 320 т.

Все карьерные автосамосвалы, выпускаемые различными мировыми фирмами, имеют две принципиально различные компоновочные схемы: первая - классическая схема- когда все узлы и системы самосвала монтируются на жесткой раме, и вторая - схема с шарнирно-сочлененной рамой. В мире больше 70% карьерных автосамосвалов выполнено по первой схеме, с колесной формулой 4x2.

Таблица 1.2 Группировка по грузоподъемности автосамосвалов ведущих мировых фирм

Фирма производитель	Грузоподъемность, т								
	30-50	51-70	75-113	120-136	140-170	170-197	200-238	270-290	300 и более
БелАЗ	7528 7540 7548 75473	7555A	7549	7512 7514 75131		75215	75303	75501	75600
Komatsu	HD325-6 HD405-	210M HD465-5 HD605-5	330M HD785-5 HD985-	HD1200-1 HD1200-ID HD1200M	530M HD1600M	63 0E 685E 730E	830E	930E	-
Caterpillar	769D 771D	773D 775D	777D	785B		789B	793C	-	797
Euclid	R32, R36 R40,R50	R65	R85	R130	R150	R170, R190, R220	R260	-	-
Unit Rig	-	-	MT 3000	MT 3300	MT 3600B	MT 3700B	MT 4400	MT 4800	MT 5500
Liebherr		-	-	-	-	T252	T262	T272	T262

Плюсом классической компоновочной схемы 4x2 являются упрощение конструкции, надежность, меньший радиус поворота; недостатком - неравномерное распределение нагрузки по осям. По второй схеме выпускаются самосвалы либо небольшой грузоподъемности (до 40-50 т), либо очень большой (до 300-400 т). Колесная формула 4x2 имеет шарнирно-сочлененную раму самосвала. Эти машины являются полноприводные машины. И они могут выполняться и с колесной формулой 4x2, 6x2, 6x4.

У шарнирно-сочлененной схемы являются более высокая маневренность автотранспортных средств по сравнению с классической схемой и является ее достоинством (радиус поворота может быть уменьшен до 6-7 м). Большая конструктивная сложность и вследствие этого большие затраты на обслуживание. Шарнирное сочленение с двумя степенями свободы увеличивает не только проходимость, но и маневренность машин. При движении кузов надежно удерживает металл и даже по без дорожью.

В сегодняшний день самосвалы оснащаются бескамерными шинами, применение которых позволяет повысить безопасность эксплуатации самосвалов. При работе на камерных шинах возможна аварийная ситуация в случае прокола камера может разрушиться сразу на большом участке и происходит практически сразу падение давления воздуха. То же случается при образовании трещины сварного шва, которая незаметно развивается до разрушения колеса при движении. Особенно опасная ситуация может возникнуть, если это происходит на переднем колесе при значительной скорости движения. При бескамерном варианте в обоих случаях воздух выходит из шины постепенно, давление падает медленно и аварийная ситуация не возникает. Улучшаются условия работы шин в связи со значительным снижением выделяемого тепла, что обеспечивает увеличение их ходимости на 8-10 %.

Совсем недавно считалось, что основным фактором, ограничивающим применение современных автосамосвалов с дизель-электрическим приводом в глубоких карьерах, является перегрев тяговых генераторов и электродвигателей мотор-колес [4]. Благодаря значительному прогрессу в совершенствовании тягового привода карьерных самосвалов в последние годы эта проблема полностью решена. Автосамосвалы БелАЗ последних моделей могут работать без перегрева тяговых электродвигателей при высоте подъема горной массы 400 м и более.

Как правило, на современном этапе развития карьерного автотранспорта в качестве силовых установок применяются дизельные двигатели мощностью до 1120 кВт в сочетании с ГМТ – на автосамосвалах грузоподъемностью до 130–160 т, большей мощности – на самосвалах с ЭМТ грузоподъемностью свыше 180 т. Учитывая общие тенденции повышения производительности, можно ожидать некоторое увеличение мощности силовых установок карьерных самосвалов с целью повышения технической скорости большинства машин на подъемах до 18 км/ч.

В настоящее время автомобильный транспорт, при грузоподъемности 220 т и более, может обеспечить практически любую производительность карьера по горной массе – до 200 млн т в год и более [3].

Тем не менее автомобильный транспорт, как транспорт рабочей зоны карьера, в наибольшей степени подвержен воздействию усложняющихся с глубиной горно-технических условий разработки. С ростом глубины карьеров возрастает трудоемкость выемки и транспортирования горной массы с глубоких горизонтов, наблюдается закономерное снижение

производительности горно-транспортного оборудования и увеличение себестоимости добычи руд, несмотря на технический прогресс.

Кроме того, карьерный автомобильный транспорт является источником негативного антропогенного воздействия на окружающую среду в глубоких горизонтах карьера открытых. Как известно, карьерный автомобильный транспорт является основным источником загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, расчеты показывают, что размеры потерь от загрязнения окружающей среды, рассчитанные с использованием уже существующих критериев, не могут оказать существенного влияния на принятие решений по вариантам инвестиционных проектов. С целью повышения инвестиционной привлекательности мероприятий по экологизации открытых горных работ представляется правильным использовать в качестве критерия оценки потерь от загрязнения расчетное значение «потерь годовых доходов» из-за простоев горно-транспортного оборудования. Особенно это актуально для алмазодобывающих карьеров, имеющих большую глубину (500 м и более) и относительно небольшие размеры в плане, где простои оборудования составляют до 1500 часов в год.

Области применения автотранспорта с целью его расширения в глубоких карьерах, и повышения его эффективности, поиски новых технологических схем также не прекращаются, а также путей его улучшения и развития. Электрификация считается одним из основных направлений карьерного автотранспорта. Дизель-троллейвозный транспорт обеспечивает повышение производительности при перевозке горной массы на 10–12% при увеличении скорости движения на подъеме на 20–30%, уменьшение расхода дизельного топлива на 50–70%, сокращение энергозатрат общей стоимости, улучшение санитарно-гигиенических условий работы в глубоких карьерах, уменьшение эксплуатационных расходов на 15–20%.

Проблемой является одной из самых распространённых в производство транспортных средств с конструктивными параметрами, и определенными условиям эксплуатации.

Повышение несущей способности базовых элементов самосвала. Российским ЦНИИ с БелАЗом совместно черной металлургии и рядом российских металлургических комбинатов проведен комплекс научно-исследовательских работ по изучению производства высокопрочных и износостойчивых низколегированных сталей, которые предназначены для изготовления рам, силовых элементов корпусов задних мостов и передних осей, деталей направляющего аппарата передней и задней подвески, а также элементов грузовых платформ, подвергающихся в процессе эксплуатации интенсивному истиранию. От внедрения данных сталей ожидается существенное повышение показателей надежности самосвалов при снижении собственной массы [5, 6].

Все это позволяет утверждать, что критериальная база оценки инвестиционных проектов долгосрочного формирования транспортных систем

глубоких карьеров нуждается в дальнейшем совершенствовании и развитии последующим основным направлениям:

- совершенствование конструкций транспортного оборудования с постоянным повышением его единичной мощности и улучшением рабочих параметров с целью снижения себестоимости добычи полезных ископаемых;
- развитие компьютерных методов оценки напряжений в узлах и возможного ресурса наработки, а также ускоренных методов испытаний в стендовых и полигонных условиях, что способствует существенному снижению затрат при освоении и модернизации выпускаемого оборудования;
- совершенствование и организация производства новых материалов триботехнического назначения с целью повышения общего КПД машин и снижения трудоемкости технического обслуживания;
- развитие производства транспортной электроники (процессоров, команда контроллеров), в том числе и для работы при низких температурах;
- развитие производства современных уплотнительных и шумоизолирующих материалов, а также материалов для отделки внутреннего интерьера кабин с целью создания комфортных условий на рабочем месте оператора;
- внедрение новых разработок в области охраны природной среды, фирмы постоянно повышают экологическое и эргономическое качества автосамосвалов;
- построение единой интегрированной информационной среды, обеспечивающей единообразные способы информационного взаимодействия всех участников жизненного цикла продукции.

1.2 Перспективы использования электрифицированных автосамосвалов в карьерах

На горно-обогатительных предприятиях потребление дизельного топлива автотранспортом составляет около 70-80% от общего использования ГСМ при добыче полезных ископаемых. Обычные (организационные) методики снижения потребления топлива, которые не требуют технического обеспечения и затрат, они не могут повлиять кардинально на уменьшение расхода дизельного топлива. Достигнуть эту цель можно путем капиталовложений, технологических и технических изменений в процессе добычи и транспортировки полезных ископаемых [7].

При нынешнем развитии открытых горных работ увеличивается глубина карьера (более 300 м). В связи с этим понижается эффективность автотранспорта, увеличивается загазованность карьеров, повышаются энергозатраты на транспортировку добываемого сырья. Учитывая данные проблемы, появляются вопросы о снижении расхода топлива и повышения производительности добычи полезных ископаемых.

XXI век - это век начала ускорения прогресса. С каждым новым годом создаются десятки разнообразных инноваций. Как и в любой другой сфере

деятельности, в горном производстве начинают проектировать и проводить эксперименты различных разработок. Одной из них является дизель-троллейвоз. Это большегрузный автотранспорт (автосамосвал или автопоезд в виде тягача и полуприцепа), на который установлены дизель-генераторная установка, тяговые электродвигатели и токоприёмные устройства для получения электропитания от троллейной сети [8]. Данные машины называются иногда «дуозы».

Родоначальник «дуоза» был троллейбус, а точнее электромобиль, который был сконструирован и продемонстрирован в 1882 году компанией «Siemens» в Берлине. 29 апреля 1882 года первый электромобиль уже ездил по 540-метровому испытательному участку в районе Халензее близ Берлина. Питание для этого электромобиля подавалось по двум проводам на напряжении 550 В постоянного тока, а ток, получаемый с помощью мачты, прикрепленной к тележке, питал электродвигатель мощностью 2,2 кВт.

Впервые электрифицированные горные автосамосвалы были предложены в СССР в 1949 году А.С. Фиделевым, а создан с мотор-колесами и грузоподъемностью 75 т в США в 1959 году. В СССР первый дуоз был сконструирован и собран Белорусским автомобильным заводом в 1967 году. Это был БелАЗ-524-792 с колесной формулой 6х4и грузоподъемностью в 65 т. Мощность двигателя была 520 л.с. (383 кВт), работал от сети с напряжением 1200В [9].

Во второй половине XX века и по сегодняшний день на различных карьерах мира используются дизель-троллейвозы, а также автосамосвалы без двигателя внутреннего сгорания.

В «Riverside Cement» с 1956 по 1971 годы использовались автосамосвалы на электрической тяге без ДВС, на электродвигателе ГЕ-762, 350 л.с., а подъезжая под погрузку использовали кабель (рисунке 1.1).

А уже с 1970 по 1977 год на карьере Quebec Cartier Mine запускают первый успешный троллейвоз Unit Rig M100. Экономическая оценка показала, что дуоз увеличит производительность транспортировки ископаемого. В результате, за семь лет эксплуатации машины на 23% повысилась производительность труда и на 87 % снижен расход топлива [10].

В дальнейшем применялись дуозы в разнообразных карьерах мира с 1980 по 2001 года на Palabora Mining в Южной Африке. Были использованы 2 провода троллейной системы питания, по одному для каждого положительного и отрицательного токоприемника. Вся система питания дуоза была смонтирована по образцу современной железной дороги: пантографы, используемый постоянный ток мощностью 5000 кВт на напряжении 1200 В. Компания ISCOR Mining в Южной Африке с 1982 по 2001 года использовала электрифицированные автосамосвалы с пантографами, отличающимися от предыдущих. Системы Sishen, введя пантографы иного образца, добились, что грузовик может покинуть дорогу под высоковольтной линией без каких-либо потерь для объезда препятствия и снова заехать под контактную сеть для продолжения движения от питания троллеи в любой момент. На рисунке 1.2

показана одна из машин. Это Marathon-LeToumeau 2200s. Компания ISCOR постоянно разрабатывала инновации в воздушных линиях, подстанциях и пантографах, применяя данные разработки и на других своих карьерах.



Рисунок 1.1- Автосамосвал на электрической тяге Kenworth, 30 т

В свою очередь, в Замбии Nchanga Mine были разработаны более интересные пантографы. С ростом цен на дизельное топливо уже в 1983 году ввели в эксплуатацию дизель-троллейвозы с замысловатой передачей системой питания от провода до машины. Из-за своего неудобства присоединения и отсоединения от контактного провода эта система не прижилась и через некоторое время вышла из эксплуатации. В 1994 на месторождении Barrick Goldstrike штат Невада при технико-экономическом обосновании ввели в эксплуатацию дуозы. Подстанции и ВЛ были поставлены компанией Siemens. Пантографы были позаимствованы из TransTech. Их дизайн «половинные ножницы» отличался от «полных ножницеобразных», используемых в Palabora [11].

В 1986 году инженеры завода БелАЗ снова начали проектировать дизель-троллейвоз. В этом же году был создан дуоз БелАЗ- 75195 грузоподъемностью 110 т и выпущены две машины. Испытания, которые проводились на Куржункульском руднике Соколово-Сарбайского ГОКа, показали положительные стороны при введении в эксплуатацию дизель-троллейвозов по топливно- энергетическим показателям. Руководством завода БелАЗ было принято решение о создании дизель-троллейвозов для разработки открытых месторождений. Но так как произошел развал СССР, эти планы не осуществились.

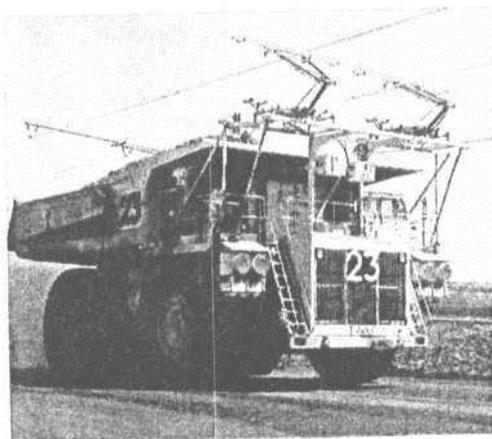


Рисунок 1.2– Автосамосвал Marathon-Le Toumeau 2200s

Суть вышеизложенных разработок была основана на системе «Trolley Assistat Barrick Goldstrike». Добавление пантографа на переднюю часть машины, а также дополнительное оборудование для правильной работы дуоза. При применении этой инновации происходит экономия энергии, дизель-топлива, увеличение скорости загруженного автосамосвала. При подъеме 8% загруженной машины 190 т на дизельном топливе достигается скорость 8, миль в час, а при работе от троллейной сети - до 14,7 миль в час, что представляет собой 80% увеличение скорости. При таких цифрах возможно уменьшить количество автосамосвалов в работе, что приводит к огромной экономии затрат на закуп машин.

При росте цен на дизельное топливо на сегодняшний день идея о конструировании дизель-троллейвоза вновь о себе напоминает. Компания ОАО «БелАЗ» поднимает вопросы о работе в этом направлении и показывает схему общего вида (рисунок 3):

- создание дуоза грузоподъемностью 220-240 и 320-360 т;
- разработка систем электроснабжения;
- проектирование дорожного покрытия высокого качества.



Рисунок 1.3- Общий вид троллейвоза «БелАЗ»

Главная задача при конструировании карьеров с троллейными системами

- сокращение дизельного топлива в экономическом эквиваленте по отношению к электроэнергии и повышении производительности машин за счет тягово-динамических характеристик при питании от троллейной сети на подъеме загруженного транспорта.

Машина представляет собой большегрузный автосамосвал с электромеханической трансмиссией, на которую устанавливается токоприемник, электрооборудование для управления подаваемым питанием на приводные двигатели машинистом машины. Работа автосамосвала, при питании от контактной сети, происходит на близких холостых оборотах, с повышением на 100-120 об/мин для нормальной работоспособности гидравлических систем самосвала. Работа токоприемника происходит при помощи гидравлических цилиндров, запитка - от бортовой системы самосвалов. Переключение на питание от троллейной системы на ДВС и обратно происходит автоматически, без остановки самосвала.

Положительные стороны применения дуозов:

- понижение потребляемости топлива на 70-80%;
- понижение стоимости обслуживания дизельного двигателя;
- увеличение скорости машины на подъём;
- увеличение производительности транспорта на 10-20%;
- уменьшение вредных факторов в окружающую среду.

Основные минусы этих систем:

- необходимость улучшить качество дорожного покрытия;
- дополнительные траты на обслуживание троллейной сети;
- повышение стоимости дуоза на 5-10%;
- увеличение массы автомашины.

Так как работа в дизель-троллейвозном режиме примерно 65% [6], то есть возможность сократить расходы, запустив дуоз на спуске в рекуперативном режиме, а также отключив ДВС при работе автосамосвала от контактной сети.

Компания Siemens приводит сравнения на примере электрифицированного автосамосвала грузоподъемностью 190 т при его работе от троллейной системы и двигателя внутреннего сгорания [12].

С точки зрения безопасности, для работы от контактной сети возможно зарезервировать автоматическое включение дизельного двигателя двумя реле. А также оснастить самосвал системой электроподогрева двигателя, дополнительным электродвигателем и муфтой с ременной передачей на гидросистемы.

Обычно автосамосвал на карьере работает около 22 ч в сутки, из них в 55% в троллейном режиме, при потреблении дизельного топлива 37,4 л в час. При этом конструктивным изменением примерная экономия топлива - 452,54 л с одной машины, 165177,1 л в год с одного дизель-троллейвоза. Сократив расход ГСМ при работе от контактной сети, стоимостью 20000 тенге на начало 2017 года, выйдет экономия около 33035420 тенге в год.

Завершая рассматривать пути модернизации автосамосвала, можно сказать, что дизель-троллейвоз становится актуальным разрабатываемым

транспортным средством для перевозки ископаемых на карьерах. Помимо экономии топлива, замещая обычные автосамосвалы дуозами, увеличивается производительность перевозки груза, улучшаются экологические факторы на карьере. При работе автосамосвала от троллейной сети, заглушив ДВС, еще больше увеличатся экологические показатели на карьерах, уменьшится частота капитального ремонта определенных узлов машины, а также улучшатся экономические показатели [13].

1.3 Анализ существующих методов повышения эффективности карьерного автотранспорта

Большие объемы добычи, высокая трудоемкость и стоимость транспортирования горной массы на предприятиях, с открытым способом добычи полезных ископаемых обуславливает регулярное проведение работ по повышению эффективности карьерных автосамосвалов.

Основными показателями качества перевозок большинство авторов принимают производительность и себестоимость транспортировки. Карьерные автосамосвалы с особо большой грузоподъемности эксплуатируются в тяжелых условиях и обычно не достигают установленного заводом-изготовителем ресурса (при 450 тыс. км проектных фактический пробег составляет 250-350 тыс. км) [82].

В научно-технической литературе по вопросам эффективной эксплуатации большегрузного карьерного автотранспорта уделяется большое внимание. Диссертационная работа Кривды В.В. направлена на установление взаимосвязи параметров систем разработки и эксплуатационно-технических параметров автомобильного транспорта, используемого при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров. Установленные зависимости послужили основой для разработки нового технического решения, позволяющего взаимно адаптировать параметры систем разработки карьеров и эксплуатационно-техническим параметрам карьерных автосамосвалов на глубоких горизонтах. В конечном итоге это позволило обосновать рациональные параметры систем разработки глубоких карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции, обеспечивающие повышение эффективности систем разработки [95].

В современных условиях наблюдается преимущественное применение большегрузных автосамосвалов в карьерах для вывоза горной массы. Поэтому необходимо исследовать режимы работы самосвалов, закономерности изменения технико-эксплуатационных показателей машин в зависимости от уклонов и качества карьерных дорог и типа трансмиссии, совершенствовать методики оценки эффективного применения автосамосвалов различной грузоподъемности и т.д [80].

К работам по исследованиям эффективного использования карьерного транспорта за последние тридцать лет следует отнести диссертационные

работы А.А. Кулешова, П.В. Артманова, И.В. Зырянова, В.П. Смирнова, М.В. Дадонова, А.В. Буянкина [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Докторская диссертация И.В. Зырянова [16] направлена на решение проблем по обеспечению устойчивой, эффективной работы систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. К недостатку данной работы можно отнести недостаточное внимание к технологической эксплуатации автомобильного транспорта.

В работе Кузнецова И.В. выполнен комплекс аналитических и экспериментальных исследований, содержится решение оперативной оценки ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при их эксплуатации посредством установления взаимосвязи энергоемкости процесса транспортирования горной массы и долговечности подвески их ходовой части, что имеет значение для горнодобывающей отрасли Кузбасса. Выявлена степень влияния основных условий эксплуатации на величину удельных затрат энергии и математического ожидания амплитуд напряжений. Рекомендованы рациональные условия эксплуатации карьерных автосамосвалов различной грузоподъемности по критерию снижения энергозатрат и повышения их ресурса [20].

В работе А.В. Буянкина [19] рассмотрена комплексная оценка, прогнозирования и планирования показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов, позволяющее повысить эффективность их использования, что имеет существенное значение для развития теории и практики управления качеством эксплуатации горных транспортных машин. Методика разработанная автором учитывает только функциональный критерий, и не уделяется внимание другим показателям оценки качества эксплуатации карьерных автосамосвалов.

В диссертации Артманова П.В. выполнен комплекс аналитических и экспериментальных исследований в результате которых установлены взаимосвязи прочности и долговечности несущих металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов с учетом горнотехнических характеристик отгружаемой взорванной горной массы, качества карьерных дорог. Выявлены степени влияния эксплуатационных факторов на долговечность металлоконструкций автосамосвалов. Рекомендованы технические решения по повышению эффективности использования карьерных автосамосвалов, имеющие существенное значение для эксплуатации и совершенствования горных машин. В работе автор, использовал расчетную модель металлоконструкций автосамосвала в программе T-Flex Cad для моделирования процесса погрузки. Сравнение результатов конечно-элементного и динамического моделирования с результатами натурных и теоретических исследований показало, что созданные модели позволяют с достаточной степенью точности рассчитать напряжения в несущих металлоконструкциях карьерных автосамосвалов [15].

Одной из основных проблем, возникающих при перевозке руды в карьерах, является наличие простоев транспорта при ожидании погрузки и

разгрузки, и, как следствие, недостаточная эффективность использования погрузочных средств и самосвалов. Это связано, в том числе, и с планированием перевозок без учета некоторых параметров, влияющих на эффективность (базовых параметров). Построенные теоретические модели не в полной мере описывают процесс перевозок. Пути решения этих вопросов рассматривал в своей диссертационной работе Осипов О. В. [21].

Он отметил, что для повышения эффективности и системной устойчивости на рынке транспортных услуг при доставке грузов должна быть обеспечена максимальная координация и интеграция всех звеньев транспортного процесса, участвующих в формировании и управлении основными и вспомогательными материальными и связанными с ними потоками.

В данной работе Осипов В.В. проанализировал процесс перевозки руды в целом и его составных частей, обнаружив значительную взаимосвязь параметров транспортно-технологической схемы процесса перевозок. На базе анализа эффективности перевозок руды большегрузными карьерными автосамосвалами была выявлена их неэффективность вследствие нерационально спланированных графиков перевозок [21].

В работах зарубежных авторов рассматриваются такие вопросы, как улучшение условий эксплуатации карьерных самосвалов, совершенствование их конструкции, выбор оптимальной грузоподъемности самосвалов. Уделяется внимание проблемам, связанных со строительством и эксплуатацией карьерных дорог. Однако, большинство публикаций носят общий характер, что не дает возможности судить о мероприятиях повышения эффективности использования карьерного автомобильного транспорта [22].

Большая доля отказов (до 50%) приходится на несущие конструкции (рама, задний мост, платформа, ходовая часть, шины и т.д.). Показатели надежности данных узлов определяются динамическими нагрузками, действующими на них в процессе эксплуатации [18]. Поэтому достоверная оценка нагрузочных режимов, действующих на опорные узлы и конструкции, позволит определить степень влияния отдельных эксплуатационных факторов на нагруженность исследуемых узлов и создать информационную базу, необходимую для расчета несущих конструкций [20].

Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов показывает, что на их надежность, кроме качества самой конструкции машины, определяющее воздействие оказывают горнотехнические и особенно дорожные условия.

Для того, чтобы повысить ресурс автосамосвалов за счет оптимизации дорожных условий, необходимо исследовать и получить численные характеристики их влияния на безотказность и долговечность узлов и систем автосамосвалов при различных скоростях движения и на этой основе рекомендовать рациональные режимы движения машин [23, 24].

По определению степени воздействия качества дорог на автомобили общего назначения проведены многочисленные исследования [25,26]. Рассматривалось в первую очередь воздействие неровностей дорожной

поверхности на работу демпфирующих систем (амортизаторы, рессоры) и на интенсивность колебаний автомобиля [27, 28]. Однако в этих работах не приводятся данные о связях численных характеристик работы демпферов и показателей колебательных процессов с повреждающим воздействием на конструкции автомобиля. Предложен ряд методик для получения описательной характеристики микропрофиля дороги, позволяющих использовать его для теоретического анализа процесса движения автомобиля [29, 30]. Для практического использования эти методики достаточно сложны, и для оперативной оценки дорожных неровностей не совсем удобны, так как микропрофиль карьерных дорог может изменяться в течение сравнительно небольшого промежутка времени. Специальные устройства (толчкомеры), измеряющие дорожные неровности, позволяют получать аналоговые характеристики микропрофиля, однако толчкомеры обычно изготавливаются поштучно, имеют различную конструкцию, и для каждого из них необходимо устанавливать его характеристику и увязывать ее либо с динамикой автомобиля, либо с аналитическим описанием микропрофиля.

Классификация дорожных условий по критерию надежности отдельных узлов автомобиля выполнена в работах, где за критерий приняты укрупненные показатели долговечности отдельных узлов ряда моделей автомобилей общего назначения, что не совсем применимо для карьерных автосамосвалов ввиду большой разнице в конструкции и массе машин [31, 32].

Рамные конструкции карьерных автосамосвалов при расчетах на прочность и жесткость согласно классическим методам расчета, рассматриваются как плоские стержневые системы. Адаптации этих методов к конструктивным формам рам автосамосвалов посвящена значительная доля исследований [33].

Несущие металлоконструкции автосамосвала в процессе работы испытывает как статические, так и динамические нагрузки. К статическим нагрузкам относят: собственный вес, вес отгружаемой взорванной горной массы и полезного ископаемого, а также реакции амортизаторов. При движении автосамосвала по карьерным дорогам, а также при его загрузке экскаватором взорванной горной массой, несущие металлоконструкции подвергаются динамическим нагрузкам. Существенные динамические напряжения в раме автосамосвала возникают в поперечинах, лонжеронах, и местах их соединения. Движение по колеям с различным микропрофилем приводит к скручиванию рамной конструкции [34].

Вопросам конструирования; исследования нагруженности и расчета на прочность пространственных несущих конструкций посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов в различных областях техники. Исследованию прочности автомобильных несущих систем посвящены работы Н.Ф. Бочарова, Д.Б. Гельфмана, Б.В. Гольда, В.А. Ошнокова, М.Б.Школьникова, Н.Н. Яценко, Л.И. Добрыха, А.В. Зотова и др. Полученные результаты позволили установить, что наиболее опасными для несущих металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов, с точки зрения

прочности являются режим загрузки и режим движения. В режиме загрузки металлоконструкции подвергаются воздействию динамической нагрузки, возникающей в результате удара высыпаемой из ковша экскаватора горной массы. При движении автосамосвала по карьерной дороге наиболее нагруженными являются средняя и консольная части кузова, вследствие изгибных колебаний конструкции, а также рама, испытывающая изгибно крутильные колебания. Кузов карьерного автосамосвала на сегодняшний день является одним, из наиболее металлоемких узлов. Надежность кузова существенным образом влияет на работоспособность всего карьерного автосамосвала: Существует необходимость постоянно поддерживать прочность кузова во время эксплуатации. Разрушение сварных элементов несущих конструкций кузовов, обрывы кронштейнов шарнирной, опоры, абразивный износ, а также выпучивание бортов листовой обшивки между ребрами жесткости являются основными причинами выхода из строя кузовов карьерных автосамосвалов [15].

В режиме загрузки взорванной горной массой кузов подвергается действию динамической нагрузки. Местные напряжения, возникающие в днище кузова от воздействия порции сыпучего груза в 3-5 раз превышают напряжения от статического давления этого груза, а напряжения возникающие от удара отдельного куска (при равном весе с порцией сыпучего груза), в 2-4 раза превышают напряжения возникающие от порции сыпучего груза.

В работе [16] проведены значительные, исследования влияния динамических процессов в карьерных автосамосвалах на ресурс их опорных конструкций с применением численного моделирования на ЭВМ процесса движения. В работе разработана математическая модель, оценивающая степень влияния дорожных условий на долговечность базовых металлоконструкций, карьерных автосамосвалов. В исследовании [35] рассматривается, вопрос по оценке ресурса рам при движении, а также оценке повреждающего воздействия при загрузке экскаватором. С последующими рекомендациями по формированию экскаваторно-автомобильных комплексов. Анализ выполненных исследований показал что задача о нагруженности несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов остается актуальной и на сегодняшний день.

Проведённый анализ показывает, что для комплексной оценки эффективности карьерного автотранспорта должен быть разработан оригинальный вариант функционального критерия, и выбран специфический набор показателей, определяющих техническое совершенство конструкции карьерных автосамосвалов, выявления закономерностей влияния горнотехнических факторов на его производительность и их практического применения для оптимизации парка самосвалов. При этом основным объектом исследования являются несущие рамные конструкции, как базовые конструкции, повреждения и разрушения которых недопустимы из соображений обеспечения безопасности и экономической эффективности.

Выводы по первому разделу

Анализ выполненных исследований показал, что, не смотря на перспективность развития карьерного автомобильного транспорта существуют проблемы касающиеся повышения эффективности системы карьерного автотранспорта.

Использования электрифицированных автосамосвалов в карьерах помимо экономии топлива, замещая обычные автосамосвалы дуозами, возможно увеличивать производительность перевозки груза, улучшить экологические факторы на карьере.

Комплексный анализ по существующим методам повышения эффективности карьерного автосамосвала выявляет недостаточную изученность ряда проблем, которые требуют оптимизации и усовершенствования системы автомобильного транспорта.

Научные исследования, направленные на дальнейшее повышение эффективности использования автомобильного транспорта в карьерах, группируются по трем основным проблемам:

- 1) совершенствование технологии работы автомобильного транспорта;
- 2) улучшение организации работы автомобильного транспорта и управления им на карьерах;
- 3) создание, освоение и повышение использования новых технических средств автомобильного транспорта.

На основе анализа проблематики была сформулирована **цель исследования:** повышение эффективности использования карьерного автомобильного транспорта путем выявления закономерностей влияния технико-эксплуатационных факторов на его производительность и их практического применения для оптимизации парка самосвалов.

Постановка задач диссертационной работы. Исходя из представленного в 1 разделе анализа литературно-технических источников, а также из актуальности, практической ценности темы диссертационного исследования и в соответствии с общепринятыми методиками были выделены следующие основные задачи исследования:

- проведено теоретическое исследование и обоснования влияния на производительности карьерных машин эксплуатационных, тяговых и организационных условий работы карьера;
- разработана методика обоснования основных характеристик грузовых потоков карьеров, для оценки теоретического и фактического времени рейса и выявления простоев транспортных средств;
- разработана методика оптимизации перевозок горнорудной массы и состава парка с учетом технологических параметров карьера;
- изучении возможности по установлению целесообразности увеличения продольных уклонов автомобильных дорог в карьерах;
- разработаны математические модели по установлению параметров статического и динамического нагружения металлоконструкций карьерных автосамосвалов в процессе погрузки отгружаемой взорванной горной массы;

- разработаны математические модели динамических процессов при загрузке карьерных автосамосвалов и выполнена оценка их влияния на ресурс машин, установлены закономерности, связывающие ресурс автосамосвалов с параметрами нагружения его несущих конструкций для обеспечения устойчивого функционирования систем карьерного автотранспорта;

- составлены рекомендации о возможности повышения эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов путем оценки динамического и повреждающего воздействия горной массы при погрузке автосамосвалов.

2. Исследование способов повышения эффективности карьерного автотранспорта

2.1 Исследование влияние эксплуатационных факторов на производительность парка автомобильного транспорта карьеров

Методические основы исследований влияния эксплуатационных факторов на производительность автосамосвалов

Результаты обработки статистических данных Качарского карьера [35], карьеров компании АО KazMinerals Актогай и Бозымчак [Приложение В, Д, С], позволили выделить основные факторы, влияющие на работу автотранспорта:

- расстояние транспортирования горной массы;
- грузоподъемность самосвала;
- скорость движения;
- время выполнения погрузочно-разгрузочных операций.

Для исследования зависимости производительности от вышеперечисленных факторов использовались методы корреляционного и регрессионного анализов [36].

В результате исследований установлены зависимости производительности автосамосвалов от расстояния транспортирования, скорости движения и времени, затрачиваемого на выполнение операций загрузки-разгрузки автосамосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки (время на операции).

Исследования в области эксплуатации автотранспорта носят, как правило, комплексный характер, при котором изучается не одна характеристика обследуемого объекта, а целая совокупность показателей. В ряде случаев между исследуемыми показателями обнаруживается взаимосвязь. Существует два вида взаимосвязи – функциональная и статистическая.

Функциональной называется взаимосвязь, при которой каждому значению одного показателя соответствует строго определенное значение другого.

Статистической взаимосвязью называется взаимосвязь, при которой одному значению первого показателя может соответствовать несколько значений второго показателя.

Корреляционная зависимость заключается в том, что средняя величина одного показателя (Y) изменяется в зависимости от значения другого (X).

Для изучения взаимосвязей использовался корреляционный и регрессионный анализ.

Корреляционный анализ состоит в определении степени связи между двумя случайными величинами (Y и X). Основной задачей корреляционного анализа является определение формы, направленности и тесноты взаимосвязи. При исследовании корреляции используются графический и аналитический подходы.

Графический анализ начинается с построения корреляционного поля. Корреляционное поле (или диаграмма рассеяния) является графической зависимостью между результатами измерений двух признаков. Для ее построения исходные данные наносят на график, отображая каждую пару значений (x_i, y_i) в виде точки с координатами x_i и y_i в прямоугольной системе координат.

Визуальный анализ корреляционного поля позволяет сделать предположение о форме взаимосвязи двух исследуемых показателей. По форме взаимосвязи корреляционные зависимости принято разделять на линейные и нелинейные [36].

При линейной зависимости, огибающая корреляционного поля близка к эллипсу. Линейная взаимосвязь двух случайных величин состоит в том, что при увеличении одной случайной величины другая случайная величина имеет тенденцию возрастать (или убывать) по линейному закону.

Основной задачей регрессионного анализа является установление формы и изучение зависимости между переменными. Исследование регрессии по экспериментальным данным производилось методами, основанными на принципах средней квадратической регрессии.

С использованием регрессионного анализа решаются следующие основные задачи:

- 1) выбор модели регрессии, что включает в себе предположения о зависимости функций регрессии от x и b ;
- 2) оценка параметра b в выбранной модели методом наименьших квадратов;
- 3) проверка статистических гипотез о регрессии.

Метод наименьших квадратов (МНК) [37] позволяет найти коэффициенты уравнения регрессии, которые дают минимальную сумму квадратов отклонений расчетных значений y^* от фактических y :

$$y = f(b_0 b_1 b_2 \dots b_m, x_1 x_2 \dots x_m), \quad (2.1)$$

Коэффициенты регрессии для любого вида уравнения (2.1) найти математически сложно. Поэтому практически МНК применяется в основном для частного вида уравнений

$$y^* = b_0 + b_1 f(x_1) + b_2 f(x_2) + \dots + b_m f(x_m), \quad (2.2)$$

где $f(x)$ – показывает возможность различных функциональных преобразований над аргументом при условии, что коэффициенты регрессии b остаются линейными.

Поочередно находят и приравнивают к нулю первые производные функции по параметрам $b_0, b_1, b_2 \dots b_m$. В результате дифференцирования получается система из $m+1$ уравнений с $m+1$ неизвестными, решением которых находят искомые значения коэффициентов. Ниже приведена готовая

система нормальных уравнений для линейной модели, которую нужно решать относительно $b_0, b_1, b_2 \dots b_m$:

$$\begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + \dots + b_m \sum x_m; \\ \sum yx_1 &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_2 x_1 + \dots + b_m \sum x_m x_1; \\ \sum yx_2 &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 + \dots + b_m \sum x_m x_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \sum yx_m &= b_0 \sum x_m + b_1 \sum x_1 x_m + b_2 \sum x_2 x_m + \dots + b_m \sum x_m^2. \end{aligned} \quad (2.3)$$

При парной зависимости вида $y=b_0+b_1x$ коэффициенты по условию наименьших квадратов определяем по формулам:

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{n \sum xy - \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2} \quad \text{или} \quad b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \\ b_0 &= \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad \text{или} \quad b_0 = \frac{\sum x^2 \sum y_i - \sum x \sum yx}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Если важно, чтобы прямая проходила через особую точку с координатами x^* и y^* , то

$$b_1 = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - 2y^* \sum y_i + ny^{*2}}{\sum x_i^2 - 2x^* \sum x_i + nx^{*2}}}, \quad (2.5)$$

и

$$b_0 = y^* - b_1 x^*.$$

Остаточная дисперсия при этом, как правило, выше, чем при расчете по формуле (2.4).

Для полинома второй степени

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2, \quad (2.6)$$

коэффициенты находим решением системы уравнений (2.3), полагая $x_1=x$ и $x_2=x^2$, или по следующим формулам:

$$\begin{aligned} b_0 &= \bar{y} - A_1 \bar{x} + A_2 \bar{x}^2 - A_2 B; \\ b_1 &= A_1 - 2A_2 \bar{x}; \quad b_2 = A_2; \\ A_1 &= \frac{\sum (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum (x_i - \bar{x})^2}; \quad B = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}; \\ A_2 &= \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 y_i - n B \bar{y}}{\sum (x_i - \bar{x})^4 - n B^2}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Если график экспериментальной зависимости $y=f(x)$ в системе координат $y-x$ криволинеен, то экспериментальные значения y и x подвергают различным функциональным преобразованиям и наносят на график с теми же преобразованиями координат. Те преобразования, которые на графике дадут прямую линию, будут соответствовать искомому виду зависимости. Для $y=f(x)$ по формуле (2.4) или (2.7) определяют коэффициенты, используя преобразованные значения x и y .

Определение уравнения регрессии переменных для двух факторов, которые связаны уравнением $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$, коэффициентов b_0 , b_1 и b_2 МНК можно определить по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{\sum (\delta_1 - \bar{\delta}_1) \cdot (y - \bar{y}) \cdot \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2 - \sum (x_2 - \bar{x}_2) \cdot (y - \bar{y}) \cdot \sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (x_2 - \bar{x}_2)}{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 \cdot \sum (x_2 - \bar{x}_2) - (\sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (x_2 - \bar{x}_2))^2} \\
 b_2 &= \frac{\sum (\delta_2 - \bar{\delta}_2) \cdot (y - \bar{y}) \cdot \sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 - \sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (y - \bar{y}) \cdot \sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (x_2 - \bar{x}_2)}{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 \cdot \sum (x_2 - \bar{x}_2) - (\sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (x_2 - \bar{x}_2))^2} \\
 b_0 &= \bar{y} - b_1 \cdot \bar{x}_1 - b_2 \cdot \bar{x}_2 .
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Использование метода наименьших квадратов позволит определить параметры регрессионных моделей и разработать однофакторные зависимости производительности от расстояния транспортирования, скорости движения самосвала и времени, затрачиваемого на погрузочно-разгрузочные операции, а также двухфакторные зависимости совместного влияния этих факторов на производительность самосвала.

Однофакторные зависимости влияния расстояния транспортирования на производительность автосамосвалов

В результате обработки статистических данных [Приложение С], полученных непосредственно с мест эксплуатации автомобильного карьерного транспорта, были построены графические зависимости изменения производительности за смену от расстояния транспортирования горнорудной массы для различных типов автосамосвалов. Графические изображения зависимостей были построены с помощью программы Microsoft Excel и представлены на рисунках 2.1.

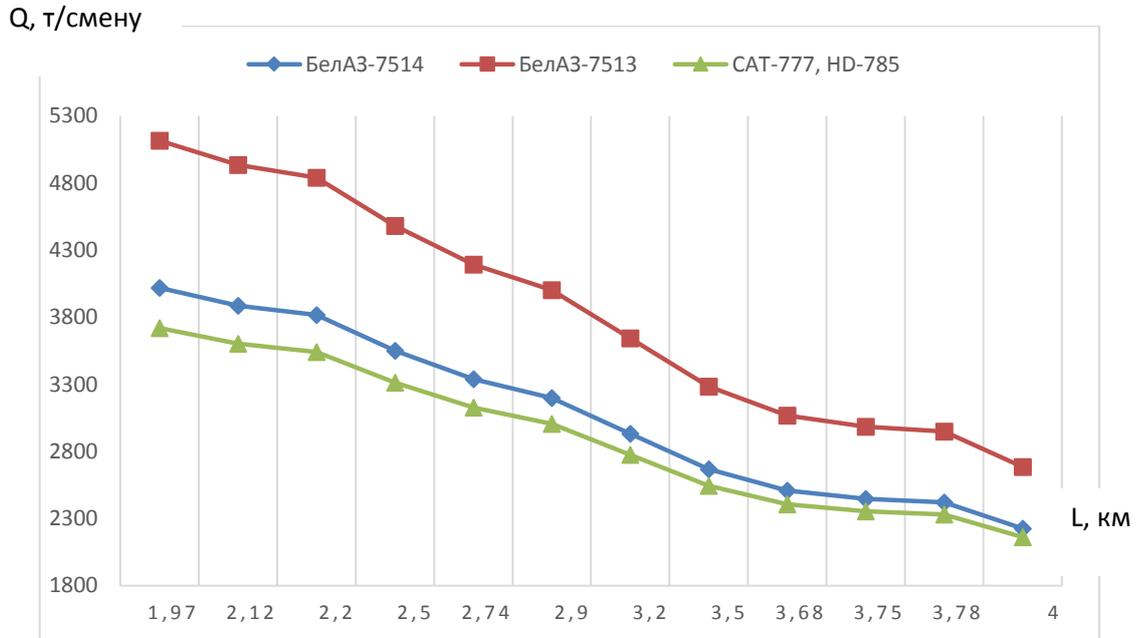


Рисунок 2.1 График зависимости производительность автосамосвалов от расстояния транспортирования

Анализ графических зависимостей показал линейность корреляционной связи производительности самосвала и расстояния транспортирования.

По методу наименьших квадратов [38] были определены параметры регрессионных моделей. Регрессионные модели зависимости производительности самосвалов от расстояния транспортирования представлены формулами 2.9 – 2.12:

$$Q_{\text{БелАЗ-7514}} = -883,78L + 5760,821, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{БелАЗ-7513}} = -1198,9L + 7476,78, \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{CAT-777}} = -767,223L + 5230,259, \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{HD-785}} = -767,223L + 5230,259, \quad (2.12)$$

где Q – производительность самосвала, т/смену;

L – расстояние транспортировки, км.

Как видно из уравнений 2.9 – 2.12, с увеличением расстояния транспортирования уменьшается производительность самосвала. Полученные регрессионные модели позволяют определить производительность определенной марки самосвала при любом значении расстояния перевозки горнорудной массы.

Однофакторные зависимости влияния скорости движения на производительность автосамосвалов

Данные для построения графических зависимостей влияния скорости движения карьерных самосвалов на производительность получены также в

результате обработки статистических данных с мест эксплуатации. После обработки данных [Приложение Д] были построены графические изображения зависимости изменения производительности от скорости движения, представленные на рисунке 2.2.

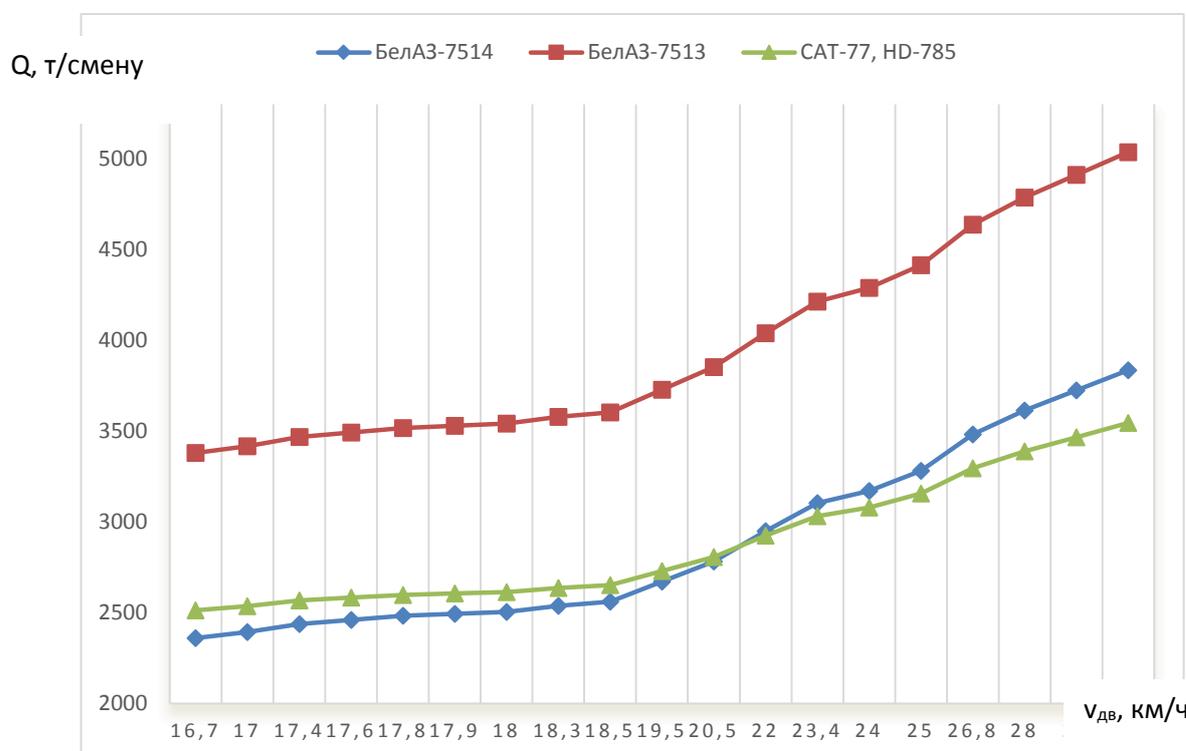


Рисунок 2.2. График зависимости производительности автосамосвалов от скорости движения

Анализ графических зависимостей показал линейность корреляционной зависимости производительности самосвала от скорости движения.

По методу наименьших квадратов были определены параметры регрессионных моделей. Регрессионные модели зависимости производительности самосвалов от скорости движения представлены формулами 2.13 – 2.16:

$$Q_{\text{БелАЗ-7514}} = 110,84v + 507,85, \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{БелАЗ-7513}} = 124,48v + 1301,64, \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{CAT-777}} = 77,66v + 1217,978, \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{HD-785}} = 77,66v + 1217,978, \quad (2.16)$$

где Q – производительность самосвала, т/смену;
v – скорость движения самосвала, км/ч.

Полученные регрессионные модели позволяют оценить влияния скорости на производительность самосвалов – с увеличением скорости движения

производительность также увеличивается. Используя эти зависимости, можно определить производительность при различных скоростях самосвалов.

Однофакторные зависимости влияния времени погрузочно-разгрузочных операций на производительность автосамосвалов

В результате обработки статистических данных [Приложение С], полученных непосредственно с мест эксплуатации автомобильного карьерного транспорта, были построены графические зависимости изменения сменной производительности от времени погрузочно-разгрузочных операций для различных типов самосвалов. Графический вид зависимостей представлен на рисунке 2.3.

Анализ графических зависимостей показал линейность корреляционной зависимости производительности самосвала от времени погрузочно-разгрузочных операций.

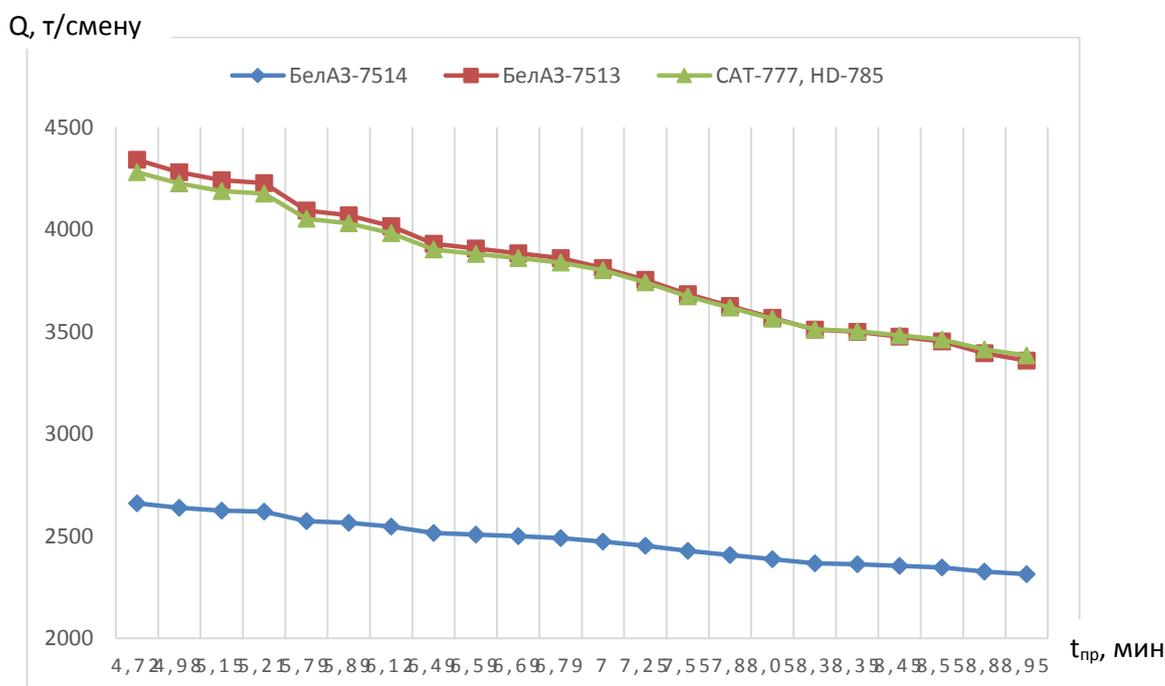


Рисунок 2.3. График зависимости производительности автосамосвалов от времени погрузочно-разгрузочных операций

Применение метода наименьших квадратов позволило определить параметры регрессионных моделей. Регрессионные модели зависимости производительности самосвалов от времени погрузочно-разгрузочных операций представлены формулами 2.17 – 2.20:

$$Q_{\text{БелАЗ-7514}} = -81,96t_{\text{опер}} + 3048,485 \quad (2.17)$$

$$Q_{\text{БелАЗ-7513}} = -233t_{\text{опер}} + 5436,8 \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{CAT-777}} = -213,56t_{\text{опер}} + 5289,82 \quad (2.19)$$

$$Q^{HD-785} = -213,56t_{опер} + 5289,82 \quad (2.20)$$

где Q – производительность самосвала, т/смену;

$t_{опер}$ – время, затрачиваемого на выполнение операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки, мин.

Анализ полученных регрессионных моделей показал, что при увеличении времени, затрачиваемого на выполнение операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки, производительность падает. Изменение времени на погрузочно-разгрузочные операции позволяет определить производительность самосвала при определенном значении данного фактора [104].

Двухфакторные зависимости совместного влияния расстояния транспортирования горнорудной массы и скорости движения автосамосвала на производительность

Графический вид зависимостей совместного влияния расстояния транспортирования горнорудной массы и скорости движения автосамосвала на производительность представлен на рисунках 2.4 – 2.7.

Методом наименьших квадратов были определены параметры регрессионных моделей. После подстановки численных значений двухфакторные модели приняли вид, выраженный уравнениями 2.21–2.24.

$$Q^{БелА3-7514} = 2705,789 - 715L + 138v \quad (2.21)$$

$$Q^{БелА3-7513} = 9828,6 - 1056L + 77v \quad (2.22)$$

$$Q^{CAT777} = 2783,8 - 664,4L + 73v \quad (2.23)$$

$$Q^{HD-785} = 2783,8 - 664,4L + 73v \quad (2.24)$$

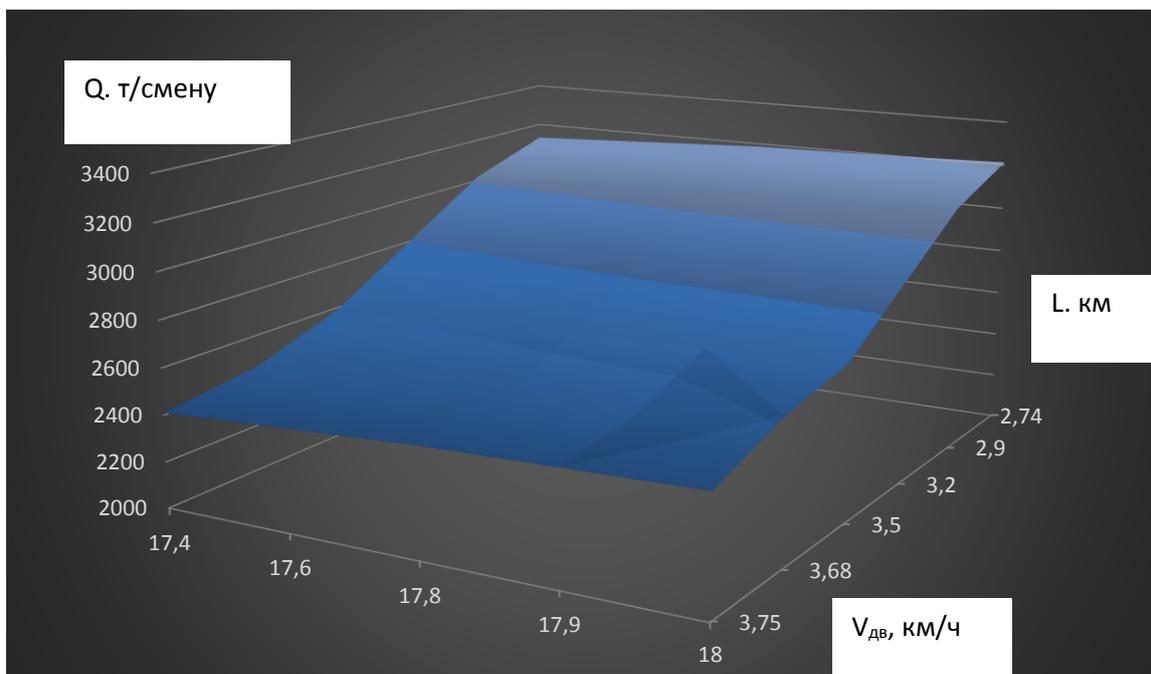


Рисунок 2.4. Графический вид зависимости производительности самосвала БелАЗ–75145 от расстояния транспортирования и скорости движения

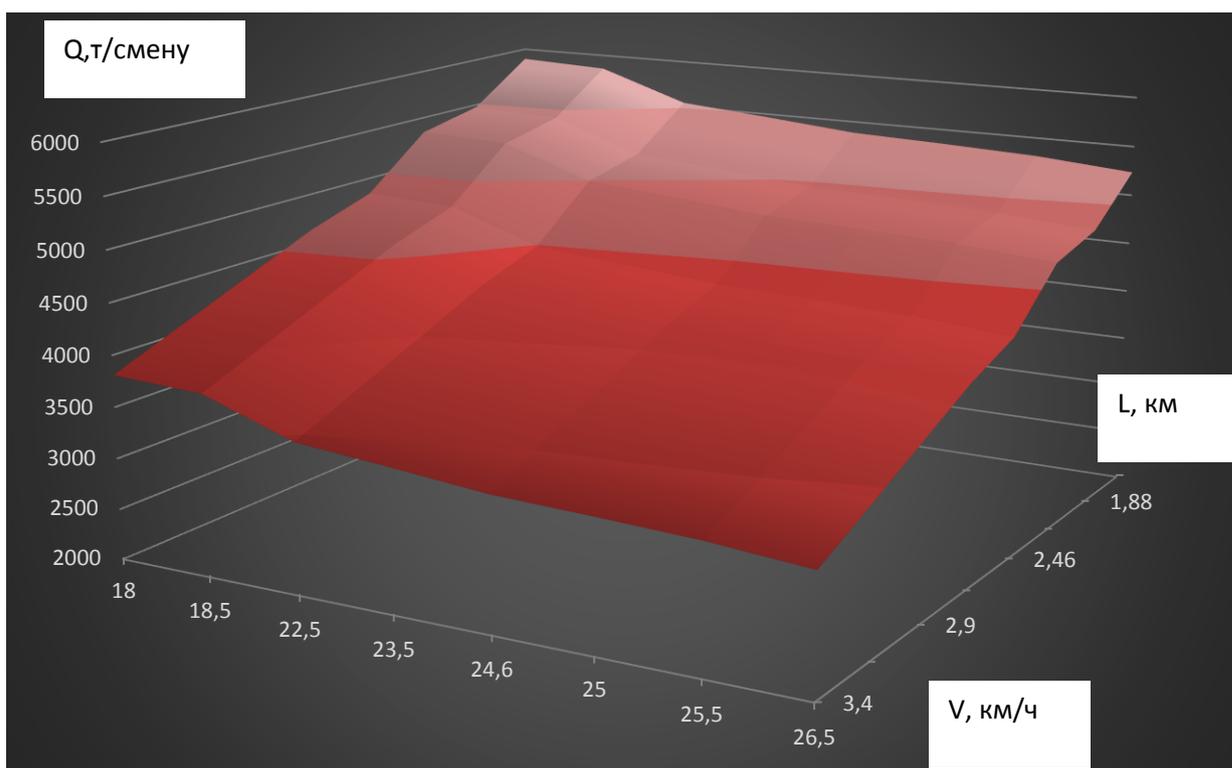


Рисунок 2.5. Графический вид зависимости производительности самосвала БелАЗ–75131 от расстояния транспортирования и скорости движения

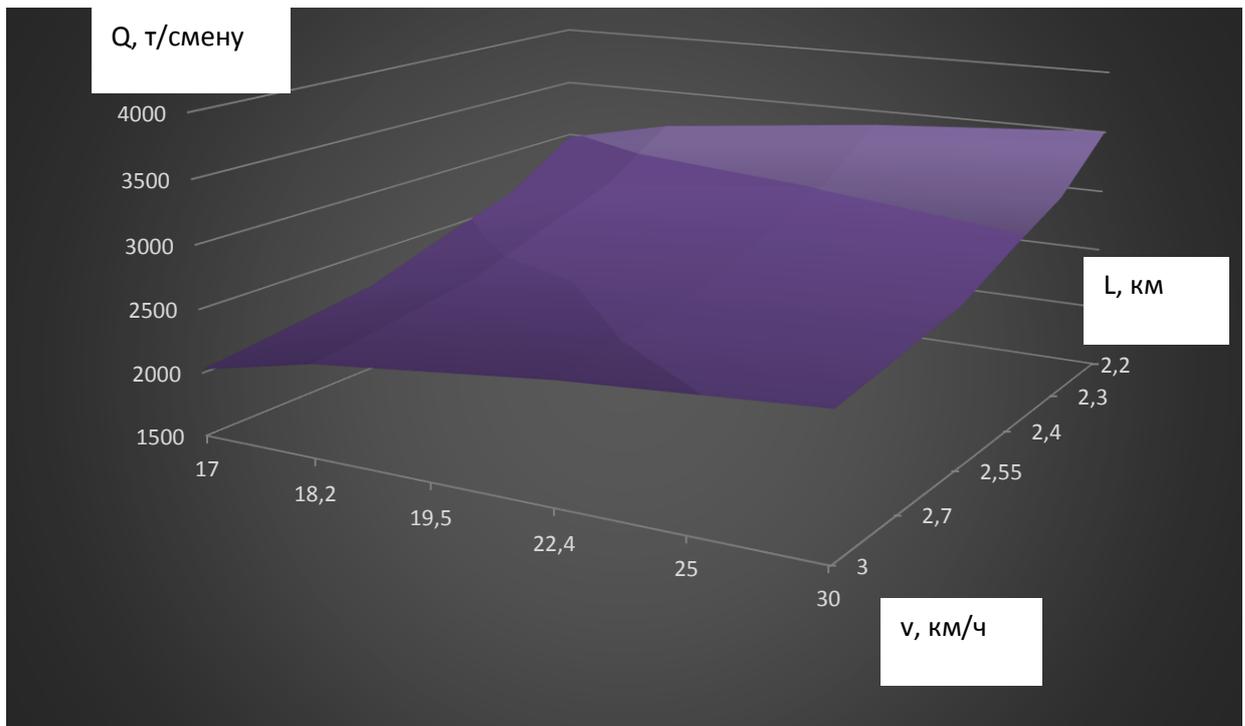


Рисунок 2.6. Графический вид зависимости производительности самосвалов САТ–777, НД–785 от расстояния транспортирования и скорости движения

Исследование полученных зависимостей показали рост производительности при уменьшении расстояния транспортирования и повышении скорости движения самосвала.

Двухфакторные зависимости совместного влияния расстояния транспортирования горнорудной массы и времени на операции на производительность автосамосвала

Графический вид зависимостей совместного влияния расстояния транспортирования горнорудной массы и времени на погрузочно-разгрузочные операции на производительность автосамосвала представлен на рисунках 2.7 – 2.9.

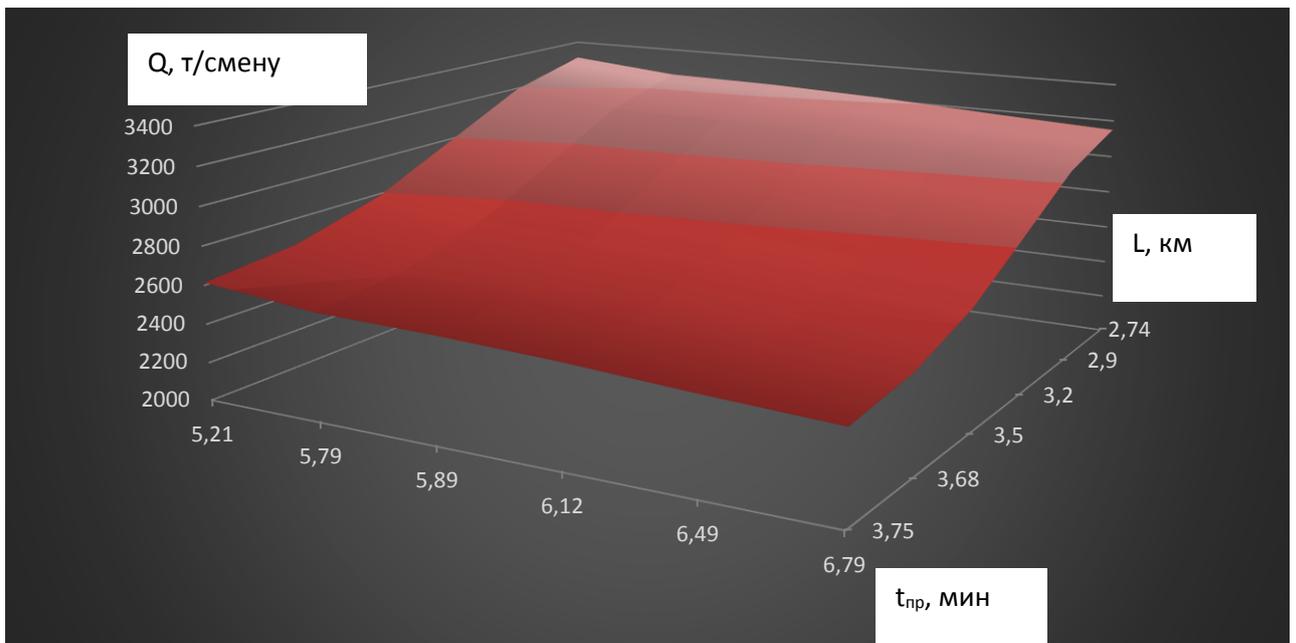


Рисунок 2.7. Графический вид зависимости производительности самосвала БелАЗ–75145 от расстояния транспортирования и времени погрузочно-разгрузочных операций

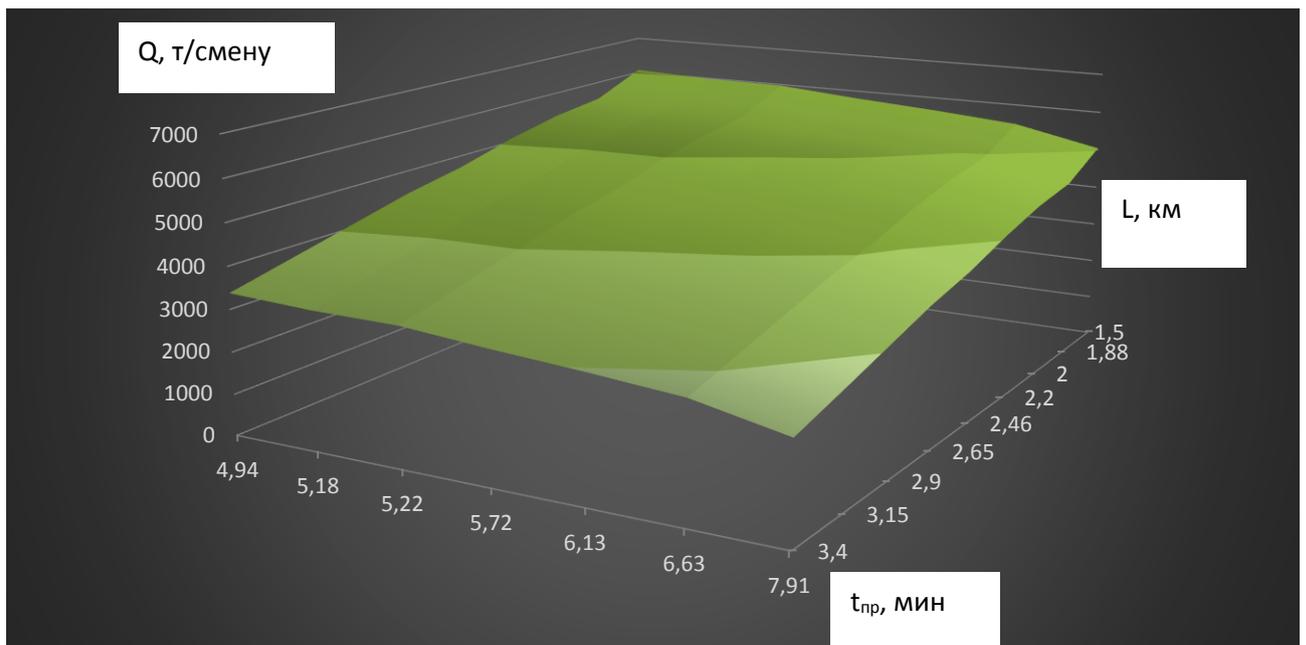


Рисунок 2.8. Графический вид зависимости производительности самосвала БелАЗ–75131 от расстояния транспортирования и времени погрузочно-разгрузочных операций

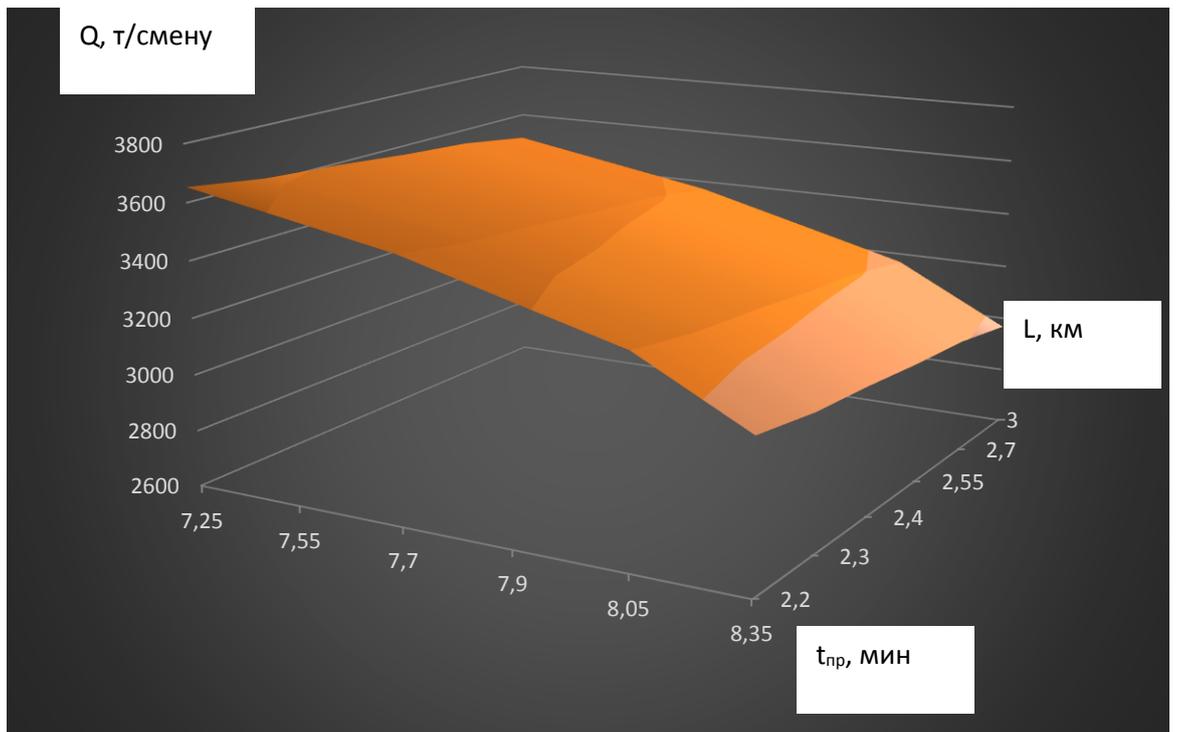


Рисунок 2.9. Графический вид зависимости производительности самосвалов САТ–777, НД–785 от расстояния транспортирования и времени погрузочно-разгрузочных операций

После определения и подстановки параметров регрессионного уравнения математические модели совместного влияния расстояния транспортирования и времени на операции на производительность самосвала приняли вид (2.25–2.28):

$$Q_{\text{БелАз-7514}} = 5676,712 - 682L - 97t_{on}, \quad (2.25)$$

$$Q_{\text{БелАз-7513}} = 9888 - 1415L - 344t_{on}, \quad (2.26)$$

$$Q_{\text{САТ-777}} = 6115,74 - 671L - 136t_{on}, \quad (2.27)$$

$$Q_{\text{НД-785}} = 6115,74 - 671L - 136t_{on}. \quad (2.28)$$

Исследование полученных моделей показало обратную зависимость производительности самосвала от расстояния транспортирования и времени, затрачиваемого на погрузочно-разгрузочные операции: при повышении рассматриваемых факторов наблюдается снижение производительности самосвалов [103].

2.2 Определение простоев самосвалов и рекомендации по распределению разнотипных самосвалов к экскаватору

В карьере в качестве транспорта для перевозки медных руд и пород вскрыши принимается автомобильный транспорт, основными преимуществами которого являются: независимость от внешних источников питания энергии, упрощение процесса отвалообразования, сокращение длины транспортных коммуникаций, благодаря возможности преодоления относительно крутых подъемов автодорог, мобильность.

Вывоз руды и вскрышных пород из карьера осуществляется по внутрикарьерным транспортным бермам (полутраншеям). Уклоны транспортных берм приняты равными 8 %.

При выборе типа транспорта по его грузоподъемности учитывались параметры выемочно-погрузочного оборудования и проектная производительность карьера по горной массе. В качестве основного технологического транспорта в проекте приняты автосамосвалы Cat 783 грузоподъемностью 140 т. Парковка, текущий ремонт и обслуживание технологического транспорта осуществляется на территории промплощадки карьера.

Транспортировка руды и вскрыши из рабочих забоев карьера на дробление руды (рисунок 2.10), рудные склады (рисунок 11) и в отвалы производится автосамосвалами (рисунок 2.12). Выбор типа автотранспорта обусловлен рациональным соотношением объема кузова самосвала и вместимостью ковша экскаваторов с вместимостью ковша 22 м³ для вскрыши и для руды, работающих в составе единого погрузочно-транспортного комплекса.

Режим работы автотранспорта, задействованного на транспортировке горной массы, принят круглогодичный двухсменный. Продолжительность смены 11 ч.

При использовании в карьере автосамосвалов большой единичной мощности возникает неточность оперативного регулирования обеспеченности экскаватора транспортными средствами в соответствии с оптимальной потребностью. При плавном изменении расстояния доставки горной массы от экскаватора его обеспеченность транспортом может изменяться скачкообразно. Вышесказанное свидетельствует о том, что добиться оптимального экономически выгодного состояния экскаваторно-автомобильных комплексов даже в пределах одного карьера весьма непросто, и это является еще одним серьезным недостатком в использовании карьерного автотранспорта.

Одним из показателей интенсивности эксплуатации транспортных машин выступают внутрисменные простои и простои в течение рейса, вызванные совокупностью причин, главными из которых считаются организационно-технические. Для снижения простоев и связанных с ними потерь в объемах перевозок, то есть более полного использования календарного фонда времени погрузочных и транспортных машин в современных условиях, применяются системы мониторинга эксплуатации карьерной техники.

В мировой практике широко распространены системы диспетчерского управления и контроля транспортных средств, которые обеспечивают оперативный контроль и управление транспортным парком предприятия и надежность перевозок особо опасных грузов, ценностей и пассажиров. Эти системы используются на наземных подвижных объектах автомобильного и железнодорожного транспорта, воздушных и морских судах. Внедрение систем позволяет дисциплинировать работу персонала, снизить потери, связанные с вынужденными простоями техники, оптимизировать проведение плановых ремонтов и технического обслуживания. Одной из таких систем в карьере Kaz Minerals Актогай является система диспетчеризации «Jigsaw (Leica)».

Автоматический подсчет объемов вскрыши, вывезенной с карьера, осуществляется при помощи системы управления автопарком на руднике, называемой Jigsaw и разработанной компанией Leica. Система управления автопарком, которая управляется диспетчерами рудника, используется для составления и ведения отчетов по учету рабочих часов, часов обучения, обслуживания, производственных часов, что, в итоге, помогает оптимизировать количество горного оборудования с целью максимального увеличения отработанных объемов, одновременно снижая общие производственные расходы. Jigsaw состоит из нескольких компьютерных программ (модулей), которые работают 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году. Данные программы установлены и работают на компьютерах, установленных на оборудовании, с использованием GPS и беспроводной радиосвязи для отслеживания и мониторинга производственных операций, обслуживания техники, техники безопасности на руднике. Jigsaw предоставляет диспетчерам рудника и операторам оперативную информацию в реальном времени, а также дает возможность осуществлять контроль за оборудованием с возможностью использования большого количества опций по составлению отчетов таким образом, чтобы руководство могло оптимизировать ежедневные горные работы в процессе принятия решения по улучшению рабочих процессов.

Начиная с процедуры залогинивания (log-in procedure) каждый сотрудник должен работать с компьютером, встроенным на борту оборудования, и ввести свой табельный номер. Программная система проверяет, имеет ли данный оператор полную и необходимую подготовку для управления данной единицей техники. В этот момент также обновляется информация по работнику для отображения даты, времени и задания, которое на данный момент он выполняет. Данная информация сохраняется с целью обеспечения безопасности, обучения и учета времени. Фактические часы оборудования также отслеживаются и используются отделом планирования ремонтов и ТО.

Jigsaw отслеживает, ведет учет и составляет отчеты по информации высокочастотных компонентов, которая отслеживается всеми производителями (CAT VIMS и т.д.), чтобы работники производственного отдела и отдела ТО могли отслеживать в реальном времени количество

задействованных операторов и производительность оборудования во избежание преждевременного выхода из строя компонентов оборудования.

Jigsaw использует установки GPS, которые постоянно работают на каждой единице техники. В любое время можно узнать точное местонахождение всего автопарка, что улучшает безопасность всего персонала на руднике, визуально указывая оператору на опасности, находящиеся поблизости, а также ведя мониторинг и управляя скоростным режимом транспортных средств. Данная система подтверждает все производственные данные для обеспечения правильности загрузки материала, его соответствующей сортировки на руду и породу и, затем, отвал материала в соответствующем месте с целью максимального увеличения производства металла.



Рисунок 2.10 Схема движения автосамосвала с 370 горизонта в дробилку L=2.5 км на карьере Актогай

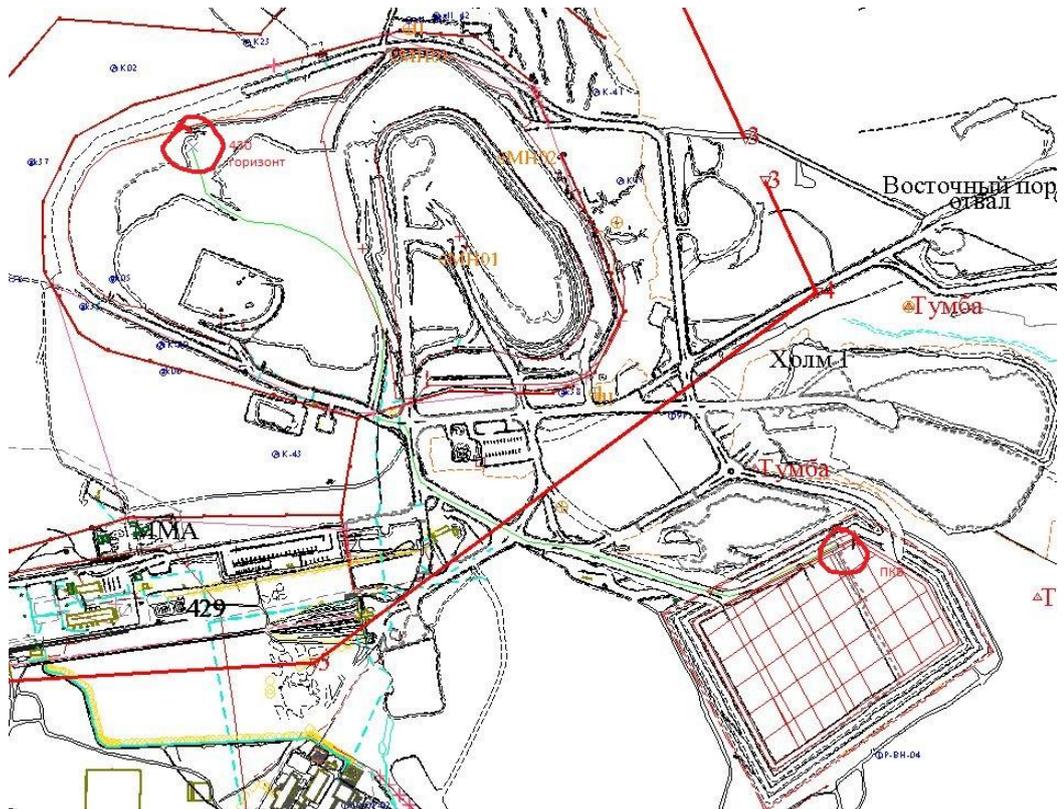


Рисунок 2.11 Схема движения автосамосвала с 430 горизонта в ПКВ L=3.5 км на карьере Актогай



Рисунок 2.12 Схема движения автосамосвала до рудного складирования L=3 км на карьере Актогай

По результатам исследования статических данных с бортовых датчиков с помощью программы VIMS составлены отчеты по информации высокочастотных компонентов. Возможность отслеживать в реальном времени технологические операции в цикле работы автосамосвала определило время загрузки, ожидание погрузки, холостого и груженого движения, ожидания разгрузки за определенный период.

На рисунке 2.13 приведены результаты циклов автосамосвала за 24 часа, где можно заметить 31% времени уходит на ожидание загрузки.

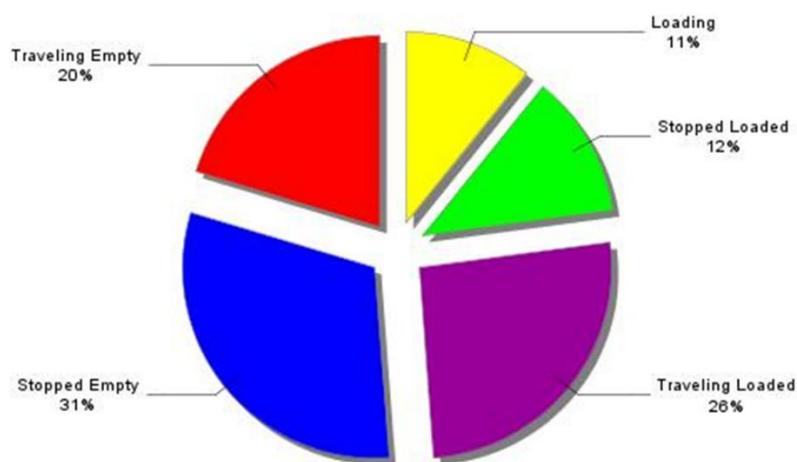


Рисунок 2.13 Диаграмма времени цикла автосамосвала за сутки на карьере Актогай

На рисунке 2.14 приведены результаты циклов автосамосвала за одну смену, где можно заметить 38% времени уходит на ожидание загрузки.

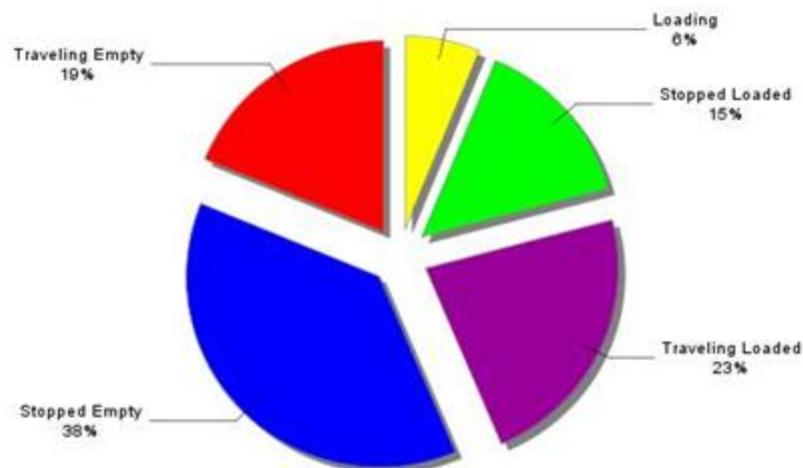


Рисунок 2.14 Диаграмма времени цикла автосамосвала за одну смену на карьере Актогай

Также исходными материалами для исследования простоев послужили данные бортовых контроллеров карьерных автосамосвалов АТЦ Качарского карьера АО «ССГПО». Оборудованием являлось измерительным и фиксирующим комплексом, основанном на GPS-навигации (RacelogicV-boxVB2SX5 S/n009697). Нормальная частота измерения 5Гц (5 раз в секунду). Комплекс с высокой точностью позволяет определять: скорость движения, время, пройденное расстояние, высоту положения относительно уровня моря, траекторию движения, все виды ускорений и т.д. Контролеры, установленные на автосамосвале, фиксировали также потерю времени при ожидании погрузки, которую можно заметить на рисунке 2.15 (на рисунке зеленая линия – график времени). Зоны простоя показаны на рисунке участками 1, 2 и 3. При этом простой самосвала в первой зоне составил 258 с, во второй зоне – 88 с и в третьей зоне – 60 с. Наличие большого простоя в первой зоне объясняется создавшейся очередью на пункте загрузки. Потери времени на пункте разгрузки незначительны, так как там сформирована разгрузочная площадка оптимальной ширины. Простои на пункте загрузки можно объяснить следующими причинами. При определении парка самосвалов достаточно часто количество машин составляет не целое число, а дробное. При этом, приходится округлять количество машин в большую сторону, что приводит к образованию очереди и простоя самосвалов, или в меньшую, при этом простаивает экскаватор [36].

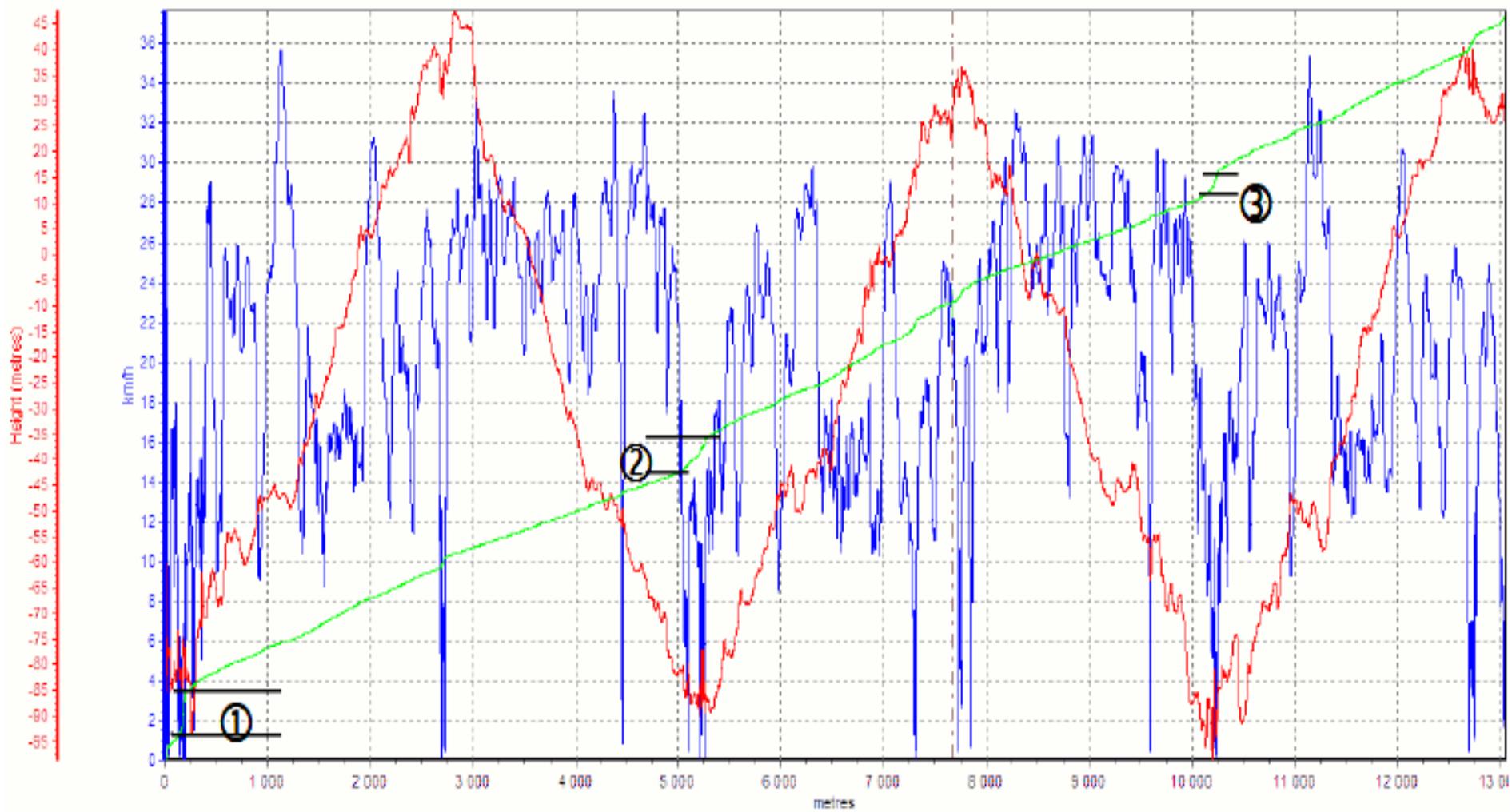


Рисунок 2.15 Зависимость скорости, высотных отметок и времени при движении на Качарском карьере

2.3 Рама автосамосвала как объект исследования

Карьерный автосамосвал, в отличие от грузовых автомобилей общего назначения, работает на конечных пунктах маршрута - в забое, на отвале, у приемного бункера и др. в совершенно другом режиме: даже когда он не движется, все его опорные конструкции испытывают большие динамические нагрузки.

За весь жизненный цикл автосамосвала (примерно, 10 лет) число динамических воздействий на его конструкции составляет при загрузке свыше 200 тыс., а при разгрузке - около 50 тыс. Естественно, в результате применения многоцикловых знакопеременных нагрузок в металлических конструкциях машины развиваются усталостные процессы, а затем - трещины, деформации, поломки. Наиболее сильные динамические нагрузки испытывает рама автосамосвала. Поэтому исследование характера динамических процессов при загрузке автосамосвала и их влияние на ресурс базовых конструкций является одной из важнейших задач на современном этапе проектирования и эксплуатации большегрузных карьерных автосамосвалов [93].

Воздействие на движущийся автосамосвал носит случайный характер, поэтому расчеты конструкций необходимо базировать на статистической динамике. Она позволяет определить статистические характеристики процессов, протекающих в сложных динамических системах, по статистическим характеристикам воздействия [96].

Рама сварная, состоит из двух лонжеронов 4 и 7 (рисунок 2.16), соединенных силовыми поперечинами при помощи сварки. Лонжероны имеют коробчатое сечение переменной высоты по длине рамы.

Первая поперечина 1 изготовлена из трубы диаметром 245x45мм, служит для крепления кронштейна центрального рычага переднего моста. Вторая поперечина 2 представляет собой замкнутый контур, состоящий из нижней поперечины, соединяющей лонжероны рамы, левой и правой стоек, к которым крепятся кронштейны передней подвески, и верхней съемной поперечины, соединяющей стойки. К нижней поперечине крепится поперечная штанга передней подвески.

Третья поперечина 3, приваренная к лонжеронам, усиливает среднюю часть рамы. К ней крепится центральный рычаг заднего моста. В торцы третьей поперечины вварены кронштейны нижних опор цилиндров опрокидывающего механизма. Состоит из двух литых опор, соединенных трубой диаметром 325x36мм.

В задней части лонжероны соединены поперечиной 6, к которой приварен кронштейн крепления поперечной штанги заднего моста, кронштейны задней подвески и кронштейны задней опоры платформы.

Между третьей и задней поперечинами лонжероны связаны четвертой поперечиной 5, увеличивающей жесткость рамы.

Лонжероны и поперечины коробчатого сечения изготовлены из низколегированной стали 10ХСНД ГОСТ19281-89.

Рама изготовлена из высокопрочной низколегированной стали 10ХСНД со следующими механическими свойствами: предел прочности $\sigma_B = 540$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 400$ МПа, ударная вязкость при минус 70 °С не менее $a_H = 30$ Н.м/см². Платформа изготовлена из высокопрочной, износостойкой легированной стали 18ХГНМФР со следующими механическими свойствами: предел прочности $\sigma_B = 1100$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 1000$ МПа, ударная вязкость при минус 40 °С не менее $a_H = 30$ Н.м/см² [39].

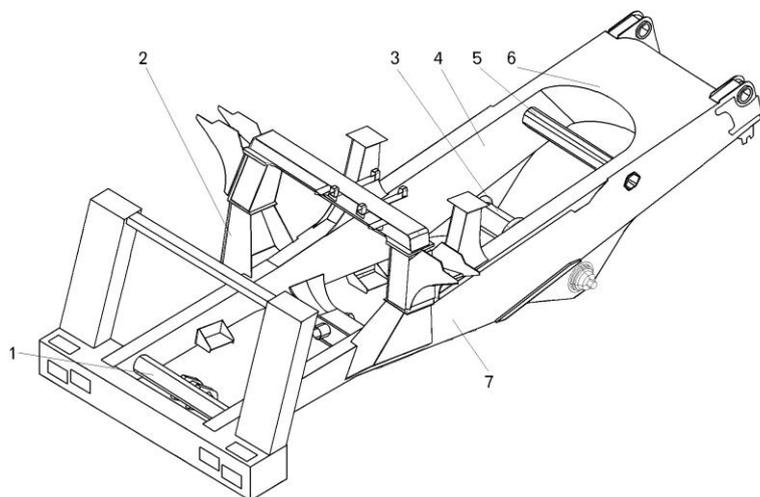


Рисунок 2.16 – Рама автосамосвала БЕЛАЗ 75131:

1 – первая поперечина; 2 – вторая поперечина; 3 – третья поперечина; 4, 7 – лонжероны; 5 – четвертая поперечина; 6 – задняя поперечина

При эксплуатации самосвалов периодически подвергают осмотру сварные соединения на наличие трещин в наиболее нагруженных местах рамы:

- в местах приварки второй поперечины в зоне передней подвески;
- в местах приварки задней поперечины к лонжеронам;
- в местах приварки стоек второй поперечины и ее элементов к лонжеронам;
- в местах приварки кронштейнов центрального шарнира и поперечной штанги.

В период эксплуатации самосвалов на Качарском карьере значительное количество отказов приходится на несущие конструкции, в силу нарушения правил технической эксплуатации, т.е. не соблюдения требований паспорта погрузки, скоростного режима и неудовлетворительного состояния дорожных покрытий в карьере. Основной неисправностью несущей конструкции являются трещины на продольных лонжеронах рамы. Характерные дефекты металлоконструкций автосамосвалов приведены на рисунке 2.17 а, б.

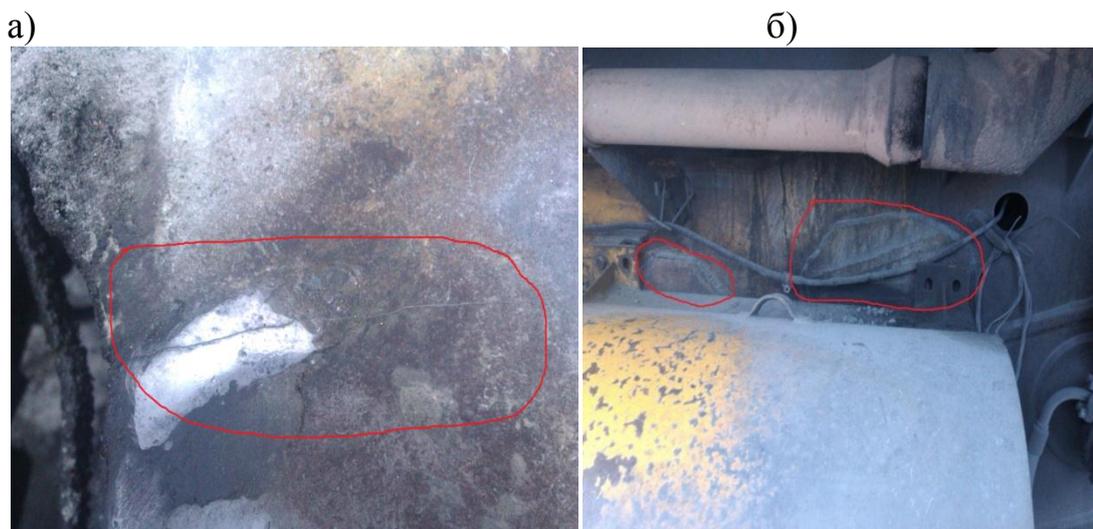


Рисунок 2.17. Примеры дефектов рамы.

Анализ ведомостей дефектов и актов расследования отказов автосамосвалов показал, что значительное количество отказов приходится на несущие конструкции в силу нарушения правил технической эксплуатации и неудовлетворительного состояния дорожных покрытий в карьерах (разрезах). Характерные дефекты металлоконструкций автосамосвалов приведены на рисунке 2.18 а, б.

Анализ показателей системы технического обслуживания и ремонта горной техники (по Л.И. Андреевой), в частности карьерного автотранспорта, показал, что для большинства горнодобывающих предприятий характерным является сохранение роста текущих ремонтов, связанных с аварийными остановками, при сокращении объемов профилактических работ до 10-15 % [40].



Рисунок 2.18 Примеры дефектов выявленных в процессе эксплуатации автосамосвалов Cat 785 в карьере Актогай ТОО KazMinerals: а) трещина рамы после сварки б) дефект верхнего кронштейна передней подвески

Наличие подобных дефектов рамы со временем приводит к её полной непригодности. На рисунке 2.19 приведен пример поломки лонжеронов рамы.



Рисунок 2.19 Последствия поломки продольных лонжеронов рамы.

Анализ структуры простоев парка карьерных автосамосвалов, эксплуатирующийся на карьере Качарский, показал, что значительная часть времени ремонтов приходится на ремонт металлоконструкций.

На рисунке 2.20 представлена структура простоев парка автосамосвалов включающая в себя 24 машины марки БелАЗ-75131 и 21 машину марок БелАЗ-7555 и БелАЗ-75450, эксплуатировавшийся на карьере за 2018 год. Структура простоев парка получена по результатам обработки данных специализированной программой учета работы горно-транспортного оборудования, разработанной на разрезе. Как видно из рисунка, 18,57 % времени ремонтов приходится на ходовую часть, кроме того, в структуре прочих ремонтов до четверти времени приходится на осуществление сварочных работ. В целом на ремонт металлоконструкций приходится до 25% времени от всех ремонтных работ.

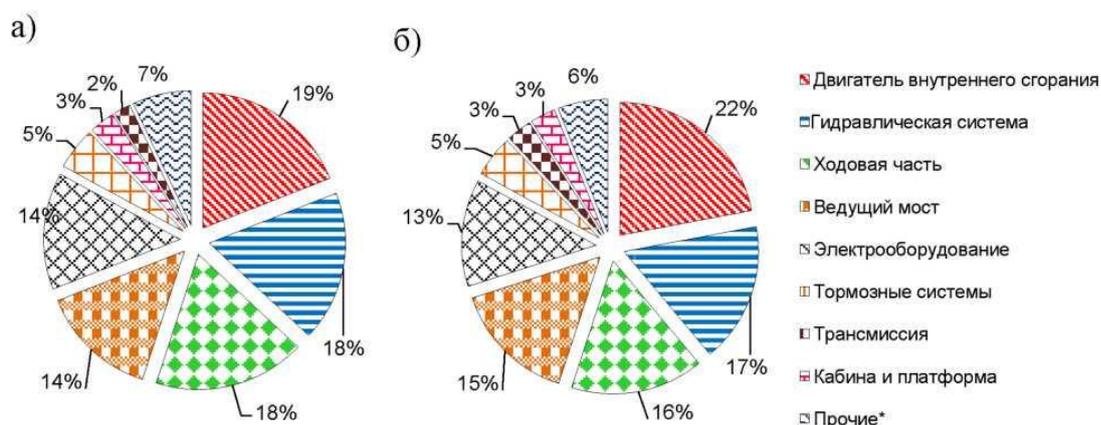


Рисунок 2.20 - Структура простоев парка автосамосвалов на карьере Качарский за 2017 год

Основной причиной отказов металлоконструкций карьерных автосамосвалов являются трещины, образующиеся в наиболее нагруженных местах несущих конструкций.

Также причины появления трещин в металлоконструкциях автосамосвала может является периодические перегрузы в процессе загрузки. Это может быть связано с изменением плотности и кусковатости горной массы или руды. На рисунке 2.21 приведены результаты исследования, исходные данные были получены от датчиков установленных в самосвалах. Гистограмма нагрузки автосамосвала Cat 785 грузоподъемность 136 т, показывает что перегруз автосамосвала сверх нормы повторилось 13 раз за неделю.

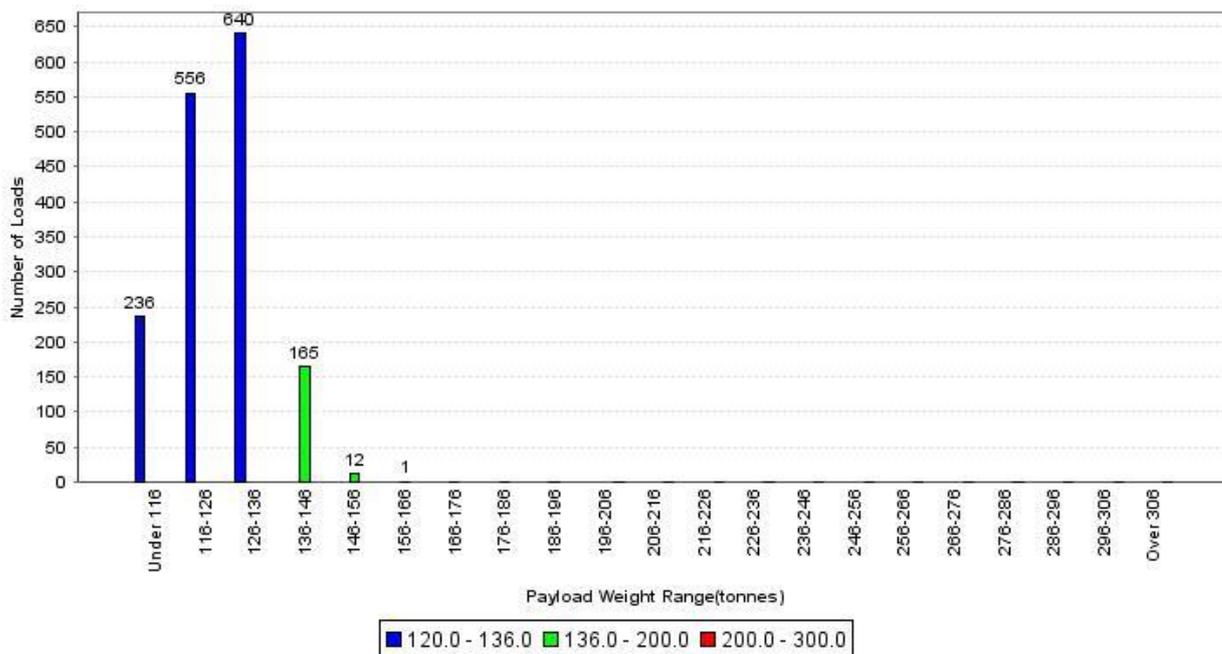


Рисунок 2.21 Гистограмма нагрузки веса автосамосвала Cat 785 за неделю

На рисунке 2.22 приведены результаты нагрузок на автосамосвал за три месяца, где показано что перегруз увеличивается до 46 раз.

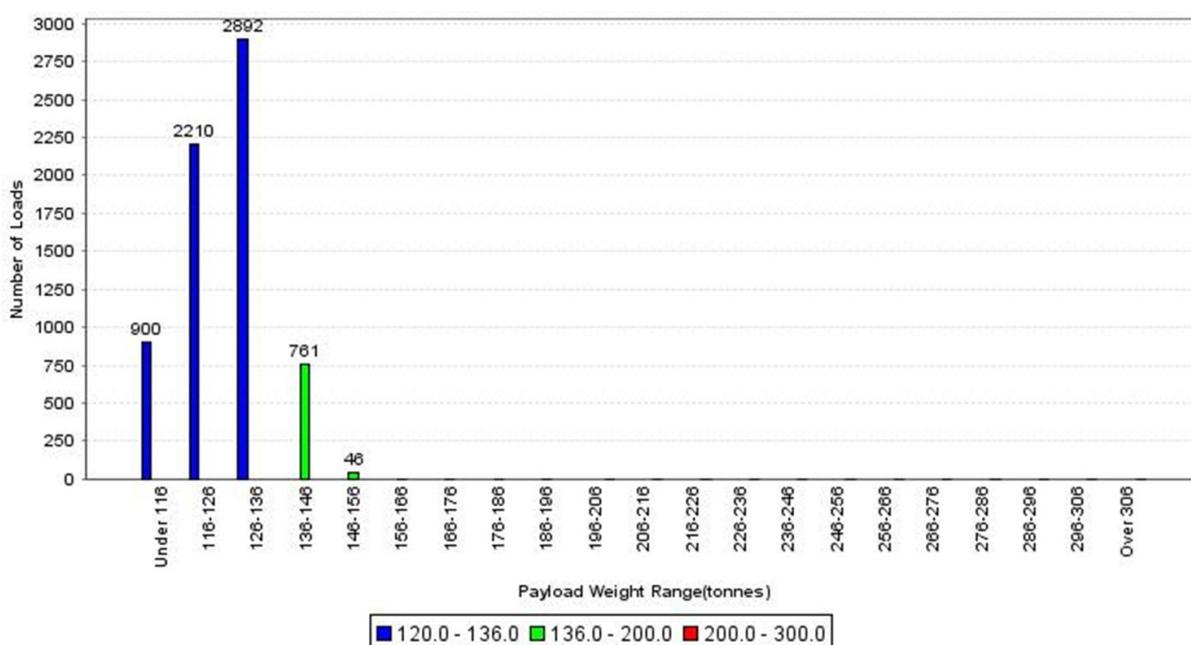


Рисунок 2.22 Гистограмма нагрузок веса автосамосвала Cat 785 за три месяца

Специалистами в области Промышленной безопасности в рамках экспертизы промышленной безопасности (далее – ЭПБ) опасных производственных объектов (далее – ОПО) в период с 2011 г. по 2017 г. были обследованы карьерные самосвалы с истекшим нормативным сроком эксплуатации. В объеме ЭПБ проводилось техническое диагностирование самосвалов с применением методов неразрушающего контроля. Техническое диагностирование самосвалов производилось ежегодно, что позволило отслеживать динамику и повторяемость дефектов. Особое внимание уделялось состоянию рам самосвалов, как к наиболее ответственным элементам конструкции самосвала. За период с 2011 по 2017 г.г. ЭПБ прошли более 35 карьерных самосвалов следующих моделей:

1. самосвалы EUCLID R170 производства фирмы Euclid, Hitachi Heavy Equipmentinc, Япония конец 2016г;

2. самосвалы Caterpillar 785C производства фирмы Caterpillar, США 2011÷2017 г.в.;

3. самосвалы БелАЗ 75131 производства ПО «БелАЗ», Беларусь 2011÷2017 г.в.

Обнаруженные в ходе проведения ЭПБ самосвалов дефекты рам анализировались и систематизировались, что позволило определить участки рам самосвалов с наиболее часто повторяющимися дефектами (рисунки 2.23, 2.24, 2.25) [41].

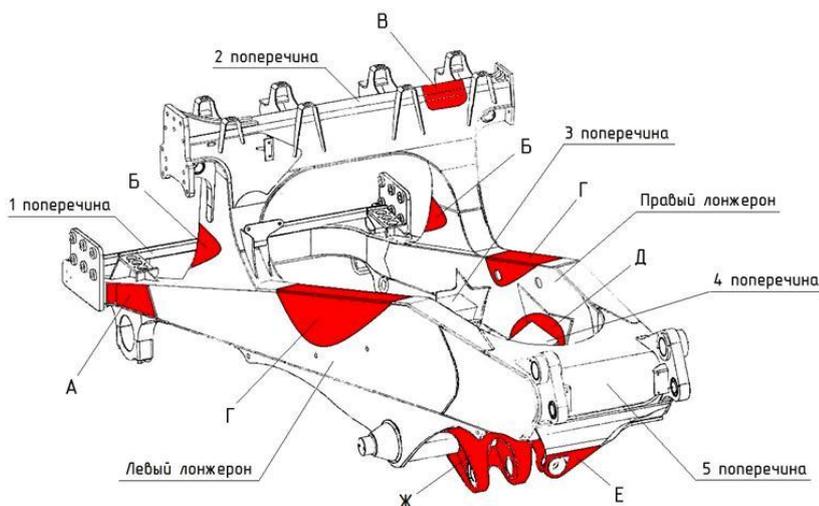


Рисунок 2.23 Рама автосамосвала Юклид Р-170. Зоны металлоконструкции с наиболее часто повторяющимися дефектами

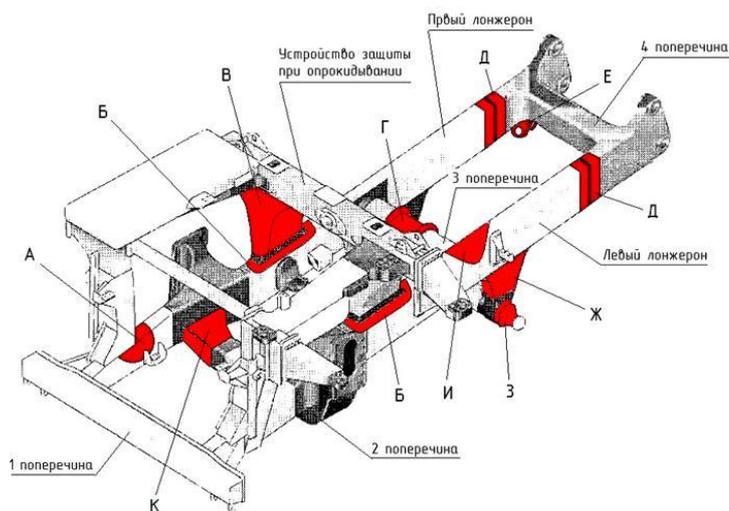


Рисунок 2.24 Рама автосамосвала Caterpillar 785. Зоны металлоконструкции с наиболее часто повторяющимися дефектами

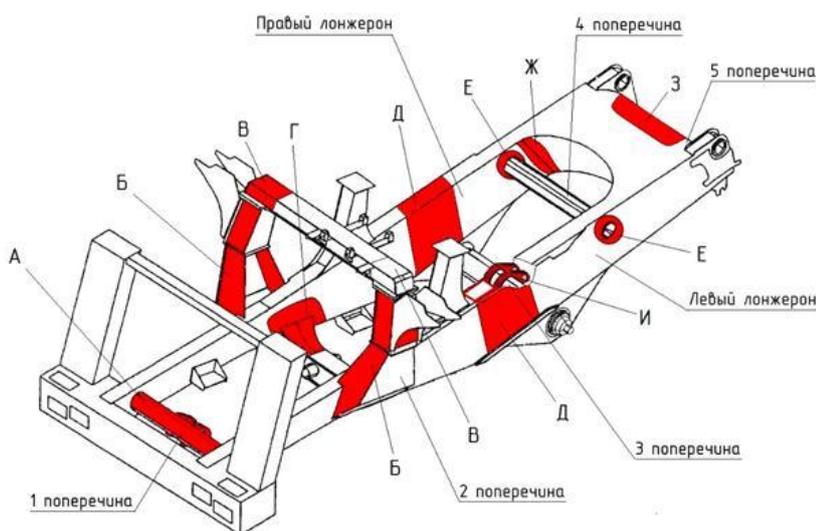


Рисунок 2.25 Рама автосамосвала БелАЗ 75131. Зоны металлоконструкции с наиболее часто повторяющимися дефектами

В настоящее время карьерные автосамосвалы вырабатывают свой ресурс на 80÷90%. При этом автосамосвалы БелАЗ 75131, будучи сравнимыми с EUCLID R170 и Caterpillar 785C по грузоподъемности и производительности, несколько уступают им по надежности. Как показывают эксплуатационные наблюдения первые трещины на рамах самосвалов БелАЗ 75131 обычно наблюдаются после пробега 100÷200 тысяч километров в зависимости от условий эксплуатации. Трещины на рамах самосвалов Caterpillar 785C образуются после 200÷300 тыс. км., а на рамах самосвалов EUCLID после 300÷400 тыс. км.

Количество дефектов рам карьерных самосвалов и их повторяемость закономерно уменьшаются с увеличением срока эксплуатации техники.

2.4 Основные направления дальнейшего повышения эффективности использования автомобильного транспорта

Увеличение грузоподъемности и маневрово-скоростных качеств автомобилей, безусловно, будет способствовать повышению эффективности их применения, однако для значительного повышения производительности и снижения стоимости автомобильных перевозок необходима коренная реконструкция всей системы организации и эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах.

Рассмотрим основные факторы [87, 88, 90], способствующие повышению эффективности работы автомобильного транспорта на карьерах:

1.Соответствие параметров совместно используемых выемочно-погрузочных, разгрузочных, приемных, различных вспомогательных и других устройств. Число автомобилей, обслуживающих экскаватор и погрузчик, должно соответствовать их производительности. Для полного использования грузоподъемности автомобилей необходимо кратное соотношение не только между емкостью кузова автомобиля и емкостью ковша экскаватора, но и между их грузоподъемностью. Если такого соотношения достигнуть трудно, используют сменные ковши экскаваторов, сменные кузова автомобилей, производят наращивание их бортов. Наряду с этим важное значение имеет наполнение ковша при погрузке скальных пород. При большом количестве плохо взорванного негабаритного материала принятого числа ковшей, потребных для загрузки автомобиля, оказывается недостаточно, и, как правило, требуется дополнительные черпания, что удлиняет время погрузки и снижает производительность как экскаватора, так и автомобиля. Приемные устройства должны иметь необходимый фронт и резервные емкости для разгрузки автомобилей.

2.Своевременность выполнения подготовительных работ для обеспечения производительной работы автомобильного транспорта подготовительным работам относятся устройство линию автодорог и качественное их содержание и ремонт, устройство подъездов в забоях и на отвалах, временных съездов в карьере, содержание в исправности погрузочных машин и подготовка приемных устройств к приему горной массы и т. д.

3.Комплексная механизация основных и вспомогательных работ транспортного процесса в карьере. Совместно работающие экскаваторы, погрузчики с автомобилями должны быть обеспечены досточным числом дорожно-строительных и дорожно-ремонтных машин, бульдозеров, скреперов, автокранов, передвижных мастерских, механизированных заправочных устройств и т. д., что позволяет сократить количество обслуживающего персонала в карьере и снизить трудоемкость работ.

4.Уменьшение влияния сложных горнотехнических, климатических, погодных и других условий, отражающихся на работе автомобильного транспорта. Для улучшения условий работы на карьерах проводится целый ряд мероприятий, которые включают в себя борьбу с обледенением и снежными

заносами, а также пылеобразованием на автодорогах, устройство пунктов для подогрева двигателей и теплых стоянок для автомобилей, утепление кабин и их обогрев в зимнее время, установку кондиционеров, использование специальных сортов масел в зимнее время, применение устройств против налипания и намерзания пород на кузовы автомобилей и т. д.

5. Рациональная организация работы автомобилей в карьере, обеспечивающая достижение максимально допустимых скоростей их движения и кратчайшие сроки выполнения операций погрузки и разгрузки. Для этого организуют поточное движение автомобилей в карьере, устраивают петлевые и кольцевые заезды и подъезды, однополосные дороги с отдельными грузовым и порожняковым направлениями, обеспечивают рациональную установку автомобилей в забоях под погрузку на бункерах фабрики и отвалах на разгрузку.

Для достижения высоких скоростей движения важны надлежащая транспортировка дорог, наличие на них твердых покрытий и поддержание их в исправном и ровном состоянии, систематическая очистка подъездов и дорог от просыпающегося материала и т. д. К организации работ относятся также меры по обеспечению безопасности движения автомобилей, включающие установку необходимых дорожных знаков, освещение трасс, разработку специальных местных инструкций и правил движения автотранспорта в карьере.

6. Совершенствование режима эксплуатации автомобилей, заключающееся прежде всего в правильном выборе сменности их работы. На многих карьерах наиболее рациональным признается двухсменный режим работы. В некоторых случаях при совершенной организации автохозяйств и в первый период эксплуатации автомобилей бывает целесообразным устанавливать трехсменный режим. Время работы водителей автомобилей должно быть согласовано с работой экскаваторных бригад. Для упорядочения выхода автомобилей на линию применяют ступенчатый график, большое значение имеют своевременная выдача путевой документации и совершенствование распределения автосамосвалов для работы с экскаваторами. При использовании автомобилей в карьере наиболее рациональной признается работа по открытому циклу. Однако такая организация оправдывает себя лишь при достаточно четком диспетчерском управлении и хорошо поставленной службе информации и связи. Большое значение имеют своевременное выявление неисправностей автомобилей, быстрая замена выбывших машин, для чего следует иметь необходимый резерв.

7. Хорошо поставленное обслуживание автомобилей в процессе эксплуатации. При этом предусматривается надлежащая организация заправочного хозяйства, размещение заправочных пунктов в карьерах, наличие заправочных автоцистерн, оснащение пунктов заправки современной аппаратурой, позволяющей в наикратчайшие сроки обслуживать автомобили. В автохозяйствах должны иметься аварийные автомобили, которые высылаются для выполнения мелкого ремонта и замены отдельных деталей (в том числе и шин) в полевых условиях.

8. Улучшение организации и качества ремонта и технического обслуживания автомобилей. Для этого необходимо соблюдать периодичность и объем положенных работ при техническом обслуживании и ремонте, контролировать качество этих работ, применять наиболее рациональные методы технического обслуживания и ремонта, в частности наиболее прогрессивный агрегатно-участковый метод, правильно использовать ремонтных рабочих и т. д.

9. Наличие автомобильных баз, обеспечивающих нормальные условия эксплуатации автомобильного транспорта в карьерах. Карьерные автомобильные базы должны состоять из комплекса зданий и сооружений, рассчитанных на обслуживание и ремонт всех автомобилей, находящихся в ведении предприятия (обычно включая грузовые машины хозяйственного назначения и различные автомобили специального типа), и должны быть оснащены современным оборудованием, стендами, приспособлениями, приборами, средствами диагностики и контроля и т. д. Большое внимание при этом уделяется комплексной механизации, внедрению вспомогательных, в частности различных подъемных и транспортных, механизмов для перемещения тяжестей внутри цехов и т. д. Автохозяйства должны быть укомплектованы квалифицированными кадрами ремонтных рабочих.

10. Четко налаженное материально-техническое снабжение. В автохозяйства должно своевременно доставляться достаточное количество запасных сменных агрегатов, запасных частей, шин, инструмента, топлива, смазочных материалов и т. д., обеспечивающих бесперебойную работу автомобилей на производстве и своевременное, полное и качественное проведение ремонта и технического обслуживания. Большое значение при этом приобретают четко организованная выдача материалов, контроль за их расходом, своевременное составление заявок и их реализация и т. д.

11. Прогрессивные методы организации и оплаты труда водителей и ремонтных рабочих. Одной из наиболее удачных форм является поэкипажная сдельно-премиальная оплата труда водителей по отработанным часам. При такой форме оплаты, как правило, больше внимания уделяется сохранности автомобиля, благодаря чему увеличивается срок его службы. Этой же цели служит получивший распространение на некоторых рудных карьерах звеньевой метод закрепления водителей за автомобилями. Применяющееся местами увеличение экипажей автомобилей на время выходных дней, отпуска и т. д. до четырех при трехсменном режиме и трех при двухсменном также вполне себя оправдывает.

12. Введение автоматизированного управления экскаваторно-автомобильными комплексами в карьерах. Это один из наиболее результативных методов упорядочения горнотранспортного процесса и повышения его производительности. Пока преимущественное применение получили системы частичной автоматизации с использованием для управления автомобилями средств радиосвязи и телевидения для передачи команд (в виде световых и звуковых сигналов) от электронно-вычислительных машин на

контрольные пункты, а также на отдельные транспортные машины. В дальнейшем возможно внедрение системы полного автоматизированного управления движением автомобилей при помощи индуктивных токов, поступающих от управляющих устройств по подземным кабелям, проложенным под покрытием дороги. При этом один оператор управляет несколькими автомобилями в забое, а другой на отвале.

Выводы по второму разделу

Таким образом, во второй главе проведен анализ технико-эксплуатационных факторов, влияющих на производительность карьерных самосвалов, для выполнения основной цели диссертационной работы – повышения эффективности карьерного автосамосвала. К факторам, оказывающим существенное влияние на производительность, относятся расстояние транспортирования горнорудной массы, скорость движения самосвала и время, затрачиваемое на выполнение операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки. Получены однофакторные модели влияния эксплуатационных факторов на производительность для каждого типа карьерных самосвалов. Исследование данных моделей показало, что у различных моделей самосвалов время, затрачиваемое на погрузочные и разгрузочные операции, а так же скорость движения существенно отличаются. Это приводит к тому, что использовании для транспортировки горнорудной массы от одного экскаватора самосвалов с разными техническими характеристиками, возникают простои.

Простои самосвалов возникают, как правило, в пунктах погрузки. Величина простоев зависит от структуры парка самосвалов и от количества машин под один экскаватор. При подборе самосвалов различных моделей к одному экскаватору следует учитывать, во-первых, грузоподъемность машины, которая будет определять время загрузки, и, во-вторых, скорость движения, как груженого, так и в порожнего самосвала.

Анализ опыта эксплуатации показал, что задача о нагруженности несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов остается актуальной и на сегодняшний день. В результате анализа характерных дефектов, выявленных в процессе технического диагностирования рам карьерных самосвалов, можно сделать следующие выводы. Зависимость количества и вида дефектов рамы самосвала от величины его наработки (пробега) показывает, что на образование дефектов имеет влияние не только наработка, а и ряд других факторов, таких как условия и жесткость эксплуатации, целесообразность и качество проведения ремонтов или замены узлов и агрегатов и др. Для снижения нагрузок на рамную конструкцию самосвала рекомендуется применить выносные опоры для снижения динамических и статических нагрузок в процессе погрузки.

Для повышения эффективности автомобильного карьерного транспорта нужно оптимизировать процесс эксплуатации карьерных автосамосвалов и усовершенствования существующего парка автомобильного транспорта.

3 Оптимизация качества эксплуатации карьерных автосамосвалов на открытых горных работах

3.1 Пути совершенствования процесса погрузки

Современное состояние открытых разработок и проектных решений по крупнейшим карьерам требует совершенствования методов проектирования и эксплуатации для большей отдачи от применения дорогостоящего оборудования. Для этого необходима всесторонняя оценка качества экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК), характеризующихся системой показателей (параметров).

Качество ЭАК определяются в первую очередь качествами машин, составляющими простой или сложный комплекс и в целом функциональную погрузочно-транспортную систему карьера. В то же время при совместной работе машин различного назначения проявляется новое качество, обусловленное взаимным воздействием параметров машин, горнотехнических, климатических и других условий. Машин большой производительности (экскаваторы и автосамосвалы) могут дать комплекс низкого качества, если неправильно подобраны их сопряженные параметры для заданных условий эксплуатации.

На современном этапе развития экскаватора строения наблюдается тенденция к увеличению удельной мощности экскаваторов до 100-125 кВт на 1 м³ вместимости ковша, что вдвое превышает, например, удельную мощность ЭКГ-4,6, при этом сокращается до минимума время рабочего цикла и обеспечивается надежная работа экскаватора при разработке тяжелых грунтов, особенно в зимнее время, когда взорванная масса может смерзаться.

В таблице 3.1. приведены основные частные показатели (параметры) карьерных автосамосвалов, характеризующие в значительной степени их конструктивное совершенство.

Таблица 3.1 Конструктивные показатели отечественных действующих и перспективных автосамосвалов

Грузоподъемность автосамосвала, т	Мощность двигателя на 1 т общей массы,	Материалоемкость на 1 т
27	5,75	0,78
30	6,05	0,70
40	5,40	0,70
45	5,55	0,62
80	5,60	0,91
120	5,00	0,76
180	5,52	0,78
250	4,63	0,78
300	4,57	0,77
500	4,78	0,76

Эксплуатационный показатель машин комплекса объективно отражает снижение их качества в процессе эксплуатации, в связи с чем снижается

производительность машин, увеличиваются издержки на техническое обслуживание. По степени физического износа машины ЭАК целесообразно подразделять на 4 группы: износ до 25, 50,75 и до 100%.

Снижение эксплуатационных качеств машин по мере их износа должно учитываться также при установлении производственной программы заводам-изготовителям исходя из реальных потребностей горнодобывающей промышленности и строительной индустрии. При этом должно выпускаться некоторое дополнительное число автосамосвалов, компенсирующее снижение производительности действующих машин из-за физического износа.

Затраты на приобретение отдельных машин комплекса, особенно автосамосвалов, в связи с резким ростом цен на новое оборудование увеличиваются. Данное обстоятельство требует от проектировщиков и эксплуатационников существенного улучшения как методов выбора оптимального типажа машин для конкретных горнотехнических условий, так и методов их эксплуатации, иначе может произойти удорожание добычных работ.

Технологические показатели ЭАК в значительной мере зависят от правильного их формирования на стадии проектирования карьера и в процессе его эксплуатации. Известно, что эффективность работы комплекса во многом определяется правильным сочетанием рабочих параметров погрузочного и транспортного оборудования [42].

Маневренность экскаваторно-автомобильных комплексов в технологическом ее понимании означает степень приспособленности их к регулированию погрузочно-транспортного процесса с учетом обеспечения требуемого усреднения руды по качеству, гранулометрическому составу, возможности выполнения вспомогательных технологических процессов погрузки и вывозки из забоев заснеженной руды и снега, а также возможности быстрой замены одного экскаватора другим, если требуется. На карьере заданной производительности можно обеспечить выполнение производственной программы разным числом экскаваторов различной мощности.

Эксплуатационная надежность комплекса ниже эксплуатационной надежности отдельных машин, входящих в комплекс. При увеличении мощности машин надежность работы комплексов в целом возрастает, так как при этом в результате снижения интенсивности движения автосамосвалов и, следовательно, уменьшения взаимных помех возрастает надежность транспортных коммуникаций и приемных пунктов. Исследования показали, что эксплуатационная надежность простых экскаваторно-автомобильных комплексов колеблется в интервале 0,7-0,9, а сложных - несколько выше. При определении производительности комплекса необходимо вносить коррективы на ненадежность комплекса.

Экономические показатели ЭАК характеризуются, во-первых, ростом соотношения стоимостей автосамосвалов и экскаваторов: при использовании в комплексе экскаватора ЭКГ-10 и автосамосвала БелАЗ-7548 это соотношение

равно 0,16, а при использовании с этим же экскаватором БелАЗ-75131 оно составляет уже 0,48. В отдельных перспективных комплексах с использованием автосамосвалов грузоподъемностью 180 т и более эта величина приближается к единице или превышает ее, соответственно растет стоимость 1 маш.ч простоя машин. В связи с этим целесообразно приблизить режим работы автосамосвалов к режиму работы экскаваторов, т.е. сделать его круглосуточным.

В вопросе организации погрузочно-транспортных работ экскаваторов с самосвалами наиважнейший фактор эффективности - время обмена самосвала под экскаватор. Это время измеряется от того момента, когда последний ковш при погрузке одного самосвала опорожнился и до момента, когда первый ковш начал грузиться в следующий самосвал. Обычно принимается эффективным время от 30 до 45 секунд для этого цикла. Сократить время обмена самосвала можно с помощью так называемой двойной погрузки, т.е. когда второй самосвал уже находится в погрузочном положении во время погрузки первого (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1-Двойная погрузка самосвалов

Двусторонняя погрузка сильно сокращает цикл погрузки. Самый меньший цикл при этом может совпадать с циклом копания экскаватора. Обычно двухсторонняя погрузка применяется у экскаваторов с обратной лопатой. Экскаватор с обратной лопатой при работе в открытых разработках как правило находится в возвышенном положении (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 -Обычная схема погрузки самосвала экскаватором с обратной лопатой

Как и при обычном режиме односторонней погрузки а также и при двухсторонней погрузке очень важно, чтобы водители самосвалов строго согласовывали свои действия, во избежание столкновений их машин (рисунок 3.3).

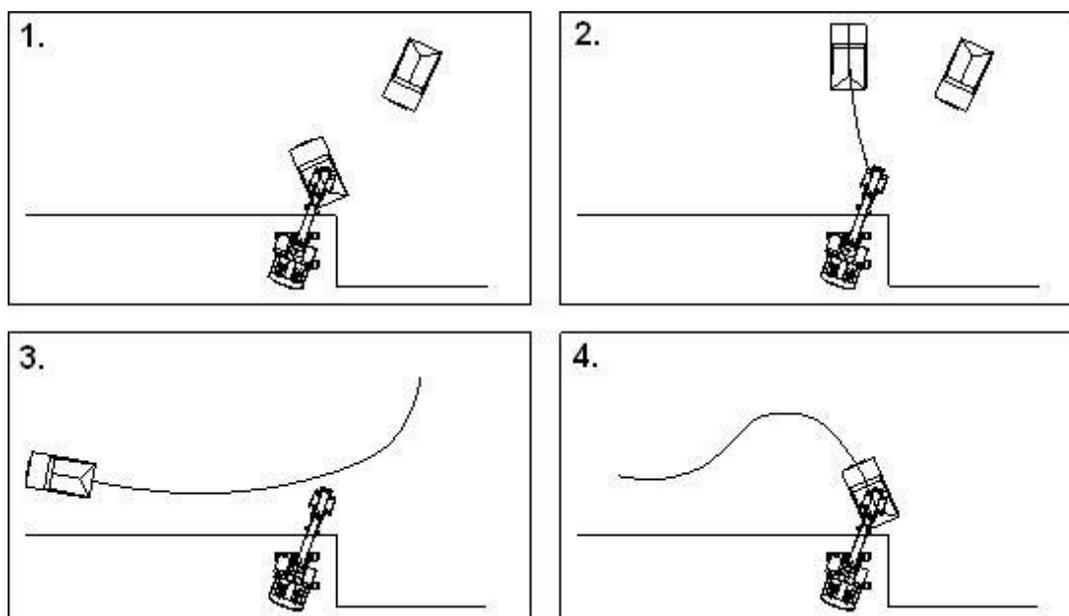


Рисунок 3.3 -Стандартные схема установки самосвалов при погрузке

Рациональный процесс погрузки самосвалов: ожидающий самосвал во время погрузки другого самосвала находится уже в таком положении, что ему нужно всего лишь двигаться назад после того, как погрузка первого самосвала завершена (рисунок 3.4).

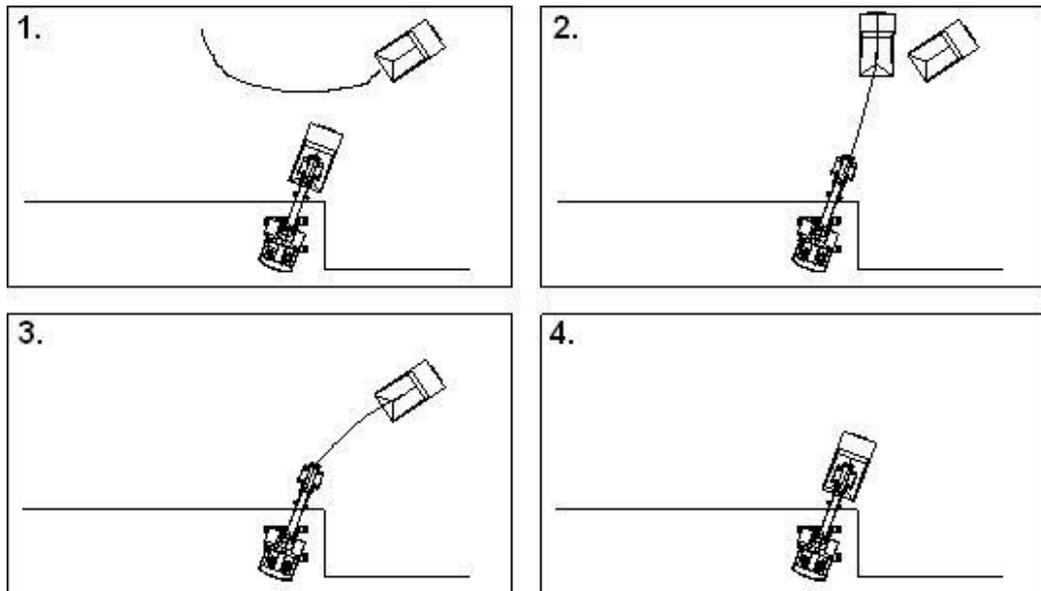


Рисунок 3.4-Оптимальный процесс погрузки самосвалов

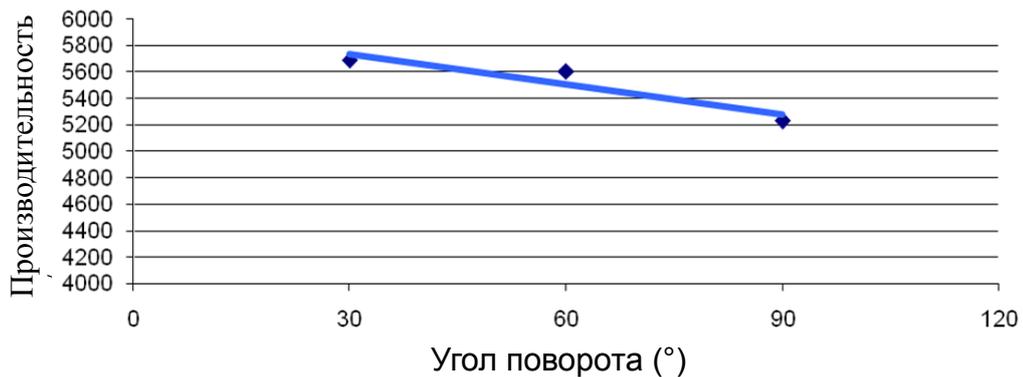


Рисунок 3.5- Производительность (т/час) в зависимости от угла поворота экскаватора при погрузке самосвалов

Очевидно, что при увеличении времени обмена самосвалов уменьшается их производительность. Следовательно, и падает производительность экскаваторов. Кривые показывают совместную производительность экскаваторов и самосвалов при различных полезных грузах. Полный рабочий цикл погрузки в этом случае - 32 секунды и объем ковша - 30 м² (60 тонн). Полный рабочий цикл – это время, затраченное на погрузку самосвала (рисунок 3.6 и таблица 3.2).

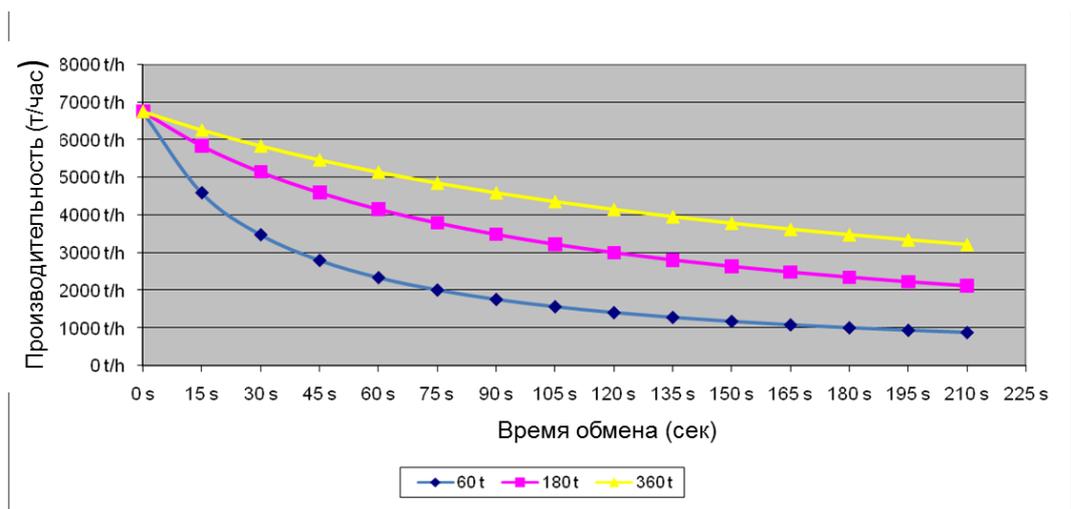


Рисунок 3.6 -Влияние времени обмена самосвалов на производительность различных типоразмеров самосвалов

Если по внутризаводским причинам в карьере нельзя улучшить время обмена самосвалов, нужно увеличить их грузоподъемность. Это позволяет увеличить производительность при неизменном времени обмена.

Смысл этого мероприятия в том, что доля погрузочных работ повышается потому, что нужно меньше самосвалов для такого же объема вскрыши и породы. В такой же сфере обсуждается и вопрос о том, должен ли самосвал уже стоять перед забоем в ожидании погрузки, когда предыдущий самосвал еще грузится или нет.

Таблица 3.2 Производительность экскаватора в зависимости от времени обмена и грузоподъемности самосвалов

Времяобме ... s	Типоразмер					
	60 t	120 t	180 t	240 t	300 t	360 t
0 s	6750 t/h	6750 t/h	6750 t/h	6750 t/h	6750 t/h	6750 t/h
15 s	4596 t/h	5468 t/h	5838 t/h	6042 t/h	6171 t/h	6261 t/h
30 s	3484 t/h	4596 t/h	5143 t/h	5468 t/h	5684 t/h	5838 t/h
45 s	2805 t/h	3963 t/h	4596 t/h	4994 t/h	5268 t/h	5468 t/h
60 s	2348 t/h	3484 t/h	4154 t/h	4596 t/h	4909 t/h	5143 t/h
75 s	2019 t/h	3108 t/h	3789 t/h	4256 t/h	4596 t/h	4854 t/h
90 s	1770 t/h	2805 t/h	3484 t/h	3963 t/h	4320 t/h	4596 t/h
105 s	1577 t/h	2556 t/h	3224 t/h	3708 t/h	4075 t/h	4364 t/h
120 s	1421 t/h	2348 t/h	3000 t/h	3484 t/h	3857 t/h	4154 t/h
135 s	1293 t/h	2171 t/h	2805 t/h	3285 t/h	3661 t/h	3963 t/h
150 s	1187 t/h	2019 t/h	2634 t/h	3108 t/h	3484 t/h	3789 t/h
165 s	1096 t/h	1886 t/h	2483 t/h	2949 t/h	3323 t/h	3630 t/h
180 s	1019 t/h	1770 t/h	2348 t/h	2805 t/h	3176 t/h	3484 t/h
195 s	952 t/h	1668 t/h	2227 t/h	2675 t/h	3042 t/h	3349 t/h
210 s	893 t/h	1577 t/h	2118 t/h	2556 t/h	2919 t/h	3224 t/h

В случае стоянки самосвала, когда предыдущий самосвал еще грузится, он конечно потеряет эффективное производственное время. В оптимальном случае он должен приехать в тот момент, когда погруженный самосвал уезжает.

Следующий фактор - соответствие грузоподъемности самосвалов и вместимости ковша экскаватора. При делении вместимости самосвала на

емкость ковша важно получить целое число. При дробном числе случается, что надо грузить незаполненные ковши, чтобы не превышать грузоподъемность самосвалов. Тем самым понижается производительность комплекса экскаватор - самосвал. В этом комплексе по опыту число ковшей на погрузку самосвала должно колебаться от 4 до 6.

Более низкое число ковшей означает, что самосвалы излишне маленькие для данного типоразмера экскаватора. А наоборот, более высокое число показывает, что экскаватор слишком маленький.

Для облегчения работы экскаваторщика применяют погрузчики или бульдозеры для расчистки и выравнивания полотна забоя. Это позволяет экскаваторщику сосредоточиться всем своим вниманием на погрузочную работу. Пример такой процедуры приведен на рисунок 3.7



Рисунок 3.7- Расчистка и выравнивание полотна забоя

Расчистка и выравнивание полотна забоя, как и всех карьерных дорог - важное мероприятие для сохранения работоспособности и долговечности самосвалов.

Таким образом, учет факторов существенно влияющих на производительность экскаваторов в зависимости от конкретных условия эксплуатации позволит оптимально использовать все резервы конструкции базовых моделей гидравлических экскаваторов. Исходя из сказанного, основной задачей на первом этапе является установление зависимостей между влияющими факторами и показателями надежности исследуемого объекта.

На последующих этапах исследования предусматривается разработка методов активного и целенаправленного воздействия на влияющие факторы как с целью их нейтрализации в определенном диапазоне, так и создания качественно новых, более надежных транспортных средств, эффективных методов их эксплуатации в условиях глубоких карьерах [46].

3.2 Усовершенствование парка автомобильного транспорта при перевозке горнорудной массы в карьерах

Транспортировка горнорудной массы в карьерах – важнейшее звено единого технологического процесса добычи полезных ископаемых. Основным

видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом является автомобильный транспорт [47].

Однако применяемые в настоящее время методы моделирования и планирования работы карьерных автосамосвалов созданы на основе описания этого процесса как локального объекта и не в полной мере учитывают особенности формирования структуры парка автотранспортных средств на современных карьерах. Это приводит к потерям рабочего времени как автосамосвалов, так и экскаваторов и имеет ряд недостатков. Комплексный подход к данной проблеме расширяет возможности поиска альтернативных решений и путей по повышению эффективности транспортировки горнорудной массы в карьерах. Поэтому задача совершенствования работы автосамосвалов с учетом и в комплексе с работой экскаваторов, как единого автомобильно-экскаваторного комплекса, весьма актуальна и имеет важное научное и хозяйственное значение [48].

Совершенствование работы карьерных автосамосвалов путем их рационального распределения по экскаваторам с учетом влияния различных технико-эксплуатационных факторов и структуры парка позволит увеличить производительность карьерного автотранспорта, уменьшить простои автомобильно-экскаваторного комплекса, повысить объемы перевозимой горнорудной массы и, как следствие, снизить себестоимость ее перевозки.

Результаты анализа статистических данных и проведенных исследований показывают, что потери времени одного автосамосвала $t_{ож}^a$ в ожидании погрузки экскаватором за одну езду могут варьироваться в широком диапазоне и достигать 10 минут на одну погрузку, а за год в среднем составляют 498 часов. В результате простоев машин снижаются общие объемы вывезенной горнорудной массы, что, как следствие, приводит к значительным экономическим потерям горнодобывающего предприятия в целом. В таблице 3.3 приведены данные о годовых экономических потерях, связанных с простоем одного самосвала в ожидании погрузочных работ на карьерах АО ССГПО.

Таблица 3.3 Экономические потери от простоя одного самосвала в ожидании погрузки

Параметр	Значение параметра
Недовыполненные объемы перевозок за год, тыс. т	184,76
Годовые потери от простоя в ожидании погрузки, тыс. тг.	1917,5
Экономические потери от неотгруженной руды, тыс. тг.	186677

Приведенные потери обусловлены в основном различиями режимов движения автосамосвалов различных типов в конкретных условиях эксплуатации. Они не учитываются при планировании работы автомобильно-экскаваторных комплексов, при закреплении и определении необходимого количества автосамосвалов различных типов за конкретным экскаватором для обеспечения бесперебойной его работы [49]. Это приводит к отклонениям

интервалов движения, нарушению ритма работы экскаватора, к простоям автосамосвалов и экскаваторов в ожидании начала погрузочных операций.

Современные тенденции развития горной техники и технологии заключаются в увеличении грузоподъемности карьерных автосамосвалов и их производительности. Структура парка подвижного состава горнодобывающего предприятия представлена несколькими типами автосамосвалов с различными техническими параметрами при грузоподъемности в диапазоне от 91 т до 180 т. Для загрузки автосамосвалов также используются экскаваторы различных типов с объемом ковша от 6,3 м³ до 27 м³ [50].

Организация движения автотранспорта в карьерах предприятия осуществляют по замкнутому циклу, когда группа, как правило, различных типов автосамосвалов закрепляется за определенным экскаватором. С учетом технической готовности парка производится ежедневная корректировка закрепления автосамосвалов за экскаваторами. При перераспределении автосамосвалов между экскаваторами не учитываются различия технико-эксплуатационных показателей работы различных типов автосамосвалов. Упрощенное представление о физических закономерностях протекания погрузочного и транспортного процессов в сложных транспортно-технологических системах приводит к существенным отклонениям фактических показателей работы от плановых значений и непроизводительным потерям в системе.

Планирование работы автомобильно-экскаваторных комплексов по усредненным параметрам, без учета существенных различий в технико-эксплуатационных показателях работы автосамосвалов и экскаваторов, взаимодействующих как единый автомобильно-экскаваторного комплекс, отличается простотой расчета плановых параметров, однако не обеспечивает высокой точности планирования параметров работы автомобильно-экскаваторного комплексов и не учитывает возможного влияния структуры парка на образование непроизводительных простоев автомобильно-экскаваторного комплекса. Использование при планировании дополнительных параметров, характеризующих горно-технологические условия работы карьерного транспорта и структуру его парка, обеспечивает повышение качества планирования работы автомобильно-экскаваторного комплексов и сведение к минимуму непроизводительных простоев в системе.

Существенное влияние на производительность автосамосвалов различных типов и их технико-эксплуатационные показатели оказывают расстояние транспортировки горнорудной массы, скорость движения груженого самосвала и время, затрачиваемое на выполнение погрузочно-разгрузочных операций автосамосвала (подъезд под погрузку, разгрузку, ожидание погрузки) [51].

При обслуживании экскаватора однотипными автосамосвалами характерны относительно незначительные простои времени ожидания погрузки, которые обусловлены влиянием факторов случайной природы на отклонение фактических значений параметров работы автосамосвалов от плановых значений. Влияние однотипной структуре парка автосамосвалов на

время ожидания $t_{ож}^a$ не выявлено. При разнотипной структуре парка автосамосвалов потери на ожидание погрузки $t_{ож}^a$, во-первых, достигают значительных значений, во-вторых, такие потери обусловлены отклонениями фактических от плановых значений параметров работы разнотипных автосамосвалов, у которых существенно отличаются технико-эксплуатационные показатели, в-третьих, данные потери имеют четко выраженную нелинейную зависимость от структуры парка закрепленных за экскаватором автосамосвалов.

В теории организации грузовых перевозок одной из основных причин возникновения простоев автосамосвалов в ожидание погрузки является несоответствие ритма работы экскаватора R интервалам движения автомобилей I , вследствие чего возникают простои либо подвижного состава в ожидании погрузки, либо экскаваторов. Организация ритмичной работы автомобильно-экскаваторного комплекса предполагает обеспечение равномерной загруженности экскаватора, отсутствие задержек в процессе маневрирования автомобилей при въезде на погрузочные площадки и съезде с них, стабильную продолжительность погрузки.

Плановый интервал движения автосамосвалов по маршрутам I определяется по формуле:

$$I = \frac{t_{об}}{A_m} = \frac{t_n + t_{zp} + t_p + t_{nop}}{A_m}, \quad (3.1)$$

где $t_{об}$ – время оборота автосамосвала по маршруту, мин; A_m – количество автосамосвалов на маршруте, ед.; t_n – время погрузки автосамосвала экскаватором, мин; t_{zp} – время движения с грузом автосамосвала по маршруту, мин; t_p – время разгрузки автосамосвала, мин; t_{nop} – время движения порожнего (без груза) автосамосвала по маршруту, мин.

При этом показатели $t_{об}$, t_n , $t_{zp}t_{nop}$ для каждого маршрута движения находятся в функциональной зависимости от совокупности перечисленных выше факторов, влияющих на технико-эксплуатационные показатели различных типов автосамосвалов, а если их планировать по среднему значению, то неизбежны отклонения в работе системы.

Для обеспечения бесперебойной работы экскаватора интервалы движения автосамосвалов по маршруту I должны соответствовать ритму работы экскаватора R :

$$R = I. \quad (3.2)$$

При этом следует отметить, что ритм работы R , который фактически задается величиной времени погрузки автосамосвала t_n , для различных i -х типов автосамосвалов A_{mi} , имеющих разную грузоподъемность q_i , будет различаться.

Чтобы выполнить условие (3.2) при планировании работы самосвалов следует на маршрут выпустить следующее количество машин A_m :

$$A_m = \frac{t_{об}}{I} = \frac{t_{об}}{R}. \quad (3.3)$$

Если происходит отклонения фактического интервала движения самосвалов $I_{ф}$ от планового значения $I_{пл}$, то возникают простои, как самосвала, так и экскаватора:

- 1) при $I_{ф} < I_{пл}$ – экскаватор находится в ожидании самосвала: $t_{ож}^э > 0$;
- 2) при $I_{ф} > I_{пл}$ – самосвал находится в ожидании под погрузкой $t_{ож}^а > 0$.

Оптимизация работы автомобильно-экскаваторного комплекса должна быть направлена на снижение совокупных непроизводительных простоев системы, связанных с ожиданием погрузки $T_{ож}^{АЭК}$, для всего задействованного на карьере количества A_{mi} автосамосвалов i -го типа ($i= 1, 2 \dots n$) и количества $A_{эj}$ экскаваторов j -го типа $A_{эj}$ ($j= 1, 2 \dots m$):

$$T_{ож}^{АЭК} = \sum_{i=1}^n t_{ожi}^а + \sum_{j=1}^m t_{ожj}^э \longrightarrow \min, \quad (3.4)$$

где $\sum_{i=1}^n t_{ожi}^а$ – суммарное время ожидания погрузки автосамосвалами, мин;

$\sum_{j=1}^m t_{ожj}^э$ – суммарное время простоя экскаваторов в ожидании погрузки,

мин.

При этом приоритетным является снижение потерь время простоя экскаваторов в ожидании погрузки, так как только при непрерывной их работе может быть получена максимальная прибыль горнодобывающим предприятием в результате наибольшего вывоза, переработки и реализации горнорудной массы.

При однотипной структуре парка самосвалов время их загрузки t_n одинаково для всех машин и соответствует ритму работы экскаватора и интервалу их движения:

$$t_n = R = I. \quad (3.5)$$

При разнотипной структуре парка самосвалы A_{mi} имеют разную грузоподъемность q_i и, соответственно, различное время загрузки t_{ni} . В этом случае ритм работы j -го экскаватора, чтобы обеспечить непрерывность его работы, должен назначаться по наименьшему значению времени погрузки t_{nij}^{\min} , из возможных значений для всех эксплуатируемых с данным экскаватором типов автосамосвалов:

$$R_{\min j} = t_{nij}^{\min} = \min_i (\{t_{nij}\}). \quad (3.6)$$

Однако чтобы обеспечить ритм работы j -го экскаватора по (3.6), необходимо также запланировать наименьший интервал движения:

$$R_{nlj} = I_{nlj} = R_{\min j} = I_{\min j} = t_{nij}^{\min}, \quad (3.7)$$

и, как следствие, согласно (3.3) на маршрут к j -у экскаватору должно быть выпущено наибольшее количество машин:

$$A_{mj}(R_{\min}) = \frac{t_{об}}{I_{\min j}} = \frac{t_{об}}{R_{\min j}}. \quad (3.8)$$

При разнотипной структуре парка автосамосвалов A_{mi} для каждого i -го типа машин время оборота $t_{оби}$ также будет отличаться. Поэтому, чтобы определить плановое количество машин, которое обеспечит выполнение условия (3.6) с учетом (3.8) при расчете $A_{mj}(R_{\min})$ следует использовать наибольшее из возможных значений времени оборота $t_{обij}^{\max}$ автосамосвалов на j -м маршруте, определяемых для всех эксплуатируемых с данным экскаватором типов автосамосвалов:

$$t_{обij}^{\max} = \arg \max(\{t_{обij}\}) \quad (3.9)$$

Тогда выражение (3.8) запишем следующим образом:

$$A_{mj}(R_{\min}) = \frac{t_{обij}^{\max}}{R_{\min j}} = \frac{t_{обij}^{\max}}{t_{nij}^{\min}}. \quad (3.10)$$

Соотношение структуры парка характеризуется показателем η_m , который отражает долю большегрузных самосвалов A_{mi}^{\max} в общем количестве машин:

$$\eta_m = \frac{A_{mi}^{\max}}{\sum_{i=1}^n A_{mi}}. \quad (3.11)$$

Принимая во внимание, что при планировании к работе на маршруте различных типов самосвалов в количестве $A_{mi}(R_{\min})$, имеющих разное время оборота, неизбежны отклонения в их работе и образование простоев автосамосвалов, и возможно, простоев экскаваторов в ожидании погрузки.

Так как время погрузки большегрузного самосвала t_{ni}^{\max} будет больше используемого для расчета ритма работы экскаватора времени погрузки:

$t_{ni}^{\max} > t_{ni}^{\min}$, то значит следующий за ним автосамосвал, прибывающий через интервал I_{nl} , будет ожидать в очереди время $t_{ожi}^a$, которое рассчитывается:

$$t_{ожi}^a = |t_{ni}^{\max} - I_{nl}| = |t_{ni}^{\max} - t_{ni}^{\min}|. \quad (3.12)$$

Суммарное время простоя самосвалов за смену составит:

$$T_{ожс}^a = \sum_{i=1}^n A_{мi} t_{ожi}^a n_{ei}, \quad (3.13)$$

где n_{ei} – число ездов i -го типа автосамосвалов за смену, ед.

Для исследования зависимости потерь времени автомобильно-экскаваторных комплексов на ожидание погрузки от структуры парка проведено имитационное моделирование работы комплекса, в результате которого установлены закономерности формирования потерь времени на ожидания погрузки при разнотипной структуре парка самосвалов. Результаты имитационного моделирования согласуются с фактическими данными простоев самосвалов.

На основе результатов имитационного моделирования построен график простоя самосвалов для различных типов машин, направляемых к одному экскаватору, а так же график суммарного простоя для разнотипной структуры парка самосвалов $t_{ожс}^a$ для различных значений доли большегрузных самосвалов η_m (рисунок 3.8).

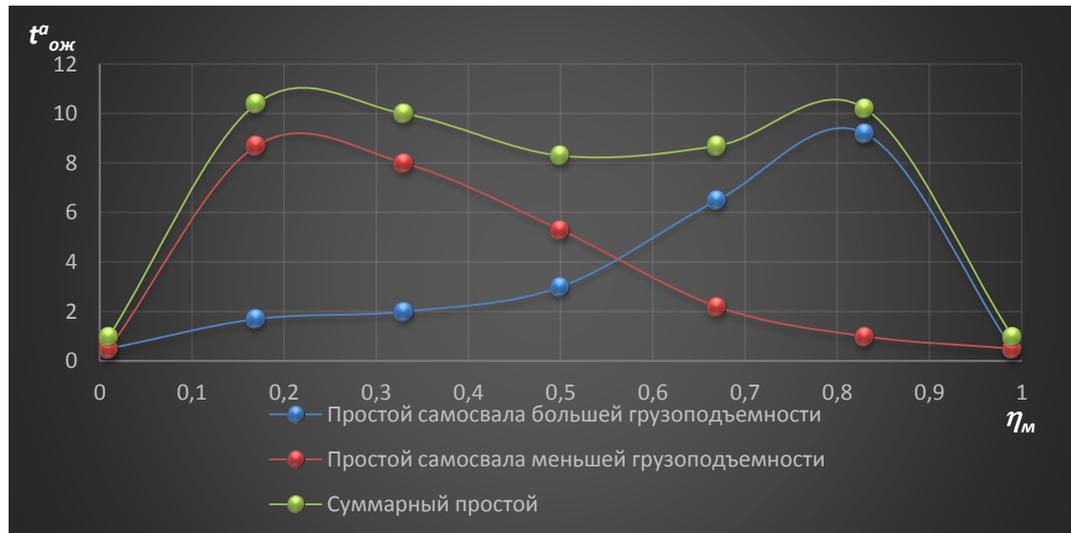


Рисунок 3.8- Зависимость суммарного простоя самосвалов $t_{ожс}^a$ от коэффициента соотношения структуры парка η_m .

Анализируя данные графиков на рисунок 1 можно сделать следующие выводы: во-первых, потери самосвалов на ожидание погрузки $t_{ожс}^a$ стремятся к

нулю при $\eta_m = 0$ и $\eta_m = 1$, то есть однотипной структуре парка; во-вторых, в области действительных значений показателя η_m от 0 до 1 существует такое рациональное соотношение количества автосамосвалов различных типов, при котором их работа с конкретным типом экскаватора характеризуется минимальными совокупными потерями всех автосамосвалов $t_{ож}^a$ в ожидание погрузки.

Запишем в общем виде модель формирования оптимального закрепления автосамосвалов различной грузоподъемности за экскаватором:

$$s(t_{ож}^a) = \{A_m, \eta_m\} \longrightarrow Opt, \quad (3.14)$$

где $s(t_{ож}^a)$ – вектор оптимальных параметров закрепления автосамосвалов за экскаватором, обеспечивающих минимальные потери времени $t_{ож}^a$.

Однако оптимальное решение по (3.14) не всегда достижимо на практике, так как необходимого количества самосвалов каждого типа может не быть в наличии у предприятия. Поэтому задача (3.14) может иметь ограничения на структуру парка и сводится к поиску рационального закрепления самосвалов к экскаваторам с целью минимизации $T_{ож}^a$.

Задача рационального закрепления имеющегося количества A_{mij} автосамосвалов различных i -х типов за j -и экскаваторами формулируется следующим образом: необходимо найти такой вектор s^* из множества соотношений структуры парка самосвалов S , чтобы величина совокупных потерь времени на ожидания погрузки всех автосамосвалов к экскаватору $T_{ож}^{*a} = F(s^*, t_{ож}^a(s^*))$ была меньше, чем $T_{ож}^a = F(s, t_{ож}^a(s))$ для любого другого $s \in S$:

$$T_{ож}^{*a} = F(s^*, t_{ож}^a(s^*)) \longrightarrow \min, \quad \text{при } \sum_{j=1}^m A_{mij} \leq A_{mi}. \quad (3.15)$$

Было произведено перераспределение автосамосвалов для Качарского карьера АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение»: в карьере с автотранспортом работают 8 экскаваторов различных типов (ЭКГ-8, САТ-993К, Hitachi 3600, Hitachi 5500); парк самосвалов состоит из 35 машин различных типов (БелАЗ-7513, БелАЗ-7514, САТ-777 и Hitachi EH 3500), которые перевозят руду на два перегрузочных склада с разной дальностью перевозки. Плановый интервал движения I_n установлен по величине t_n для САТ-777. Были рассчитаны все необходимые показатели и найдено решение рационального закрепления самосвалов за экскаваторами. Полученное решение является рациональным из допустимых, но его реализация связана с возможными совокупными простоями самосвалов в количестве 11,1 мин за один цикл оборота всех машин. Также установлено, что полученное решение при существующей структуре парка

самосвалов допускает периодическое возникновение простоев экскаваторов по причине нехватки машин. Для исключения простоев экскаваторов рекомендовано увеличить количество самосвалов в карьере САТ–777 на 15 единиц. Согласно выполненным оценкам общий экономический эффект за счет сокращения времени простоев в ожидании погрузочных работ и снижения экономических потерь от неотгруженной горнорудной массы на предприятиях АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» составляет 203334 тыс. тг в год [73].

3.3 Возможности увеличения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах

На многих карьерах технико-экономические показатели открытой разработки определяются в первую очередь процессом перемещения вскрышных пород и полезного ископаемого. В настоящее время затраты на транспорт при открытой разработке месторождений полезных ископаемых достигают 50-70% от всех затрат на добычу полезного ископаемого [52].

Поскольку в современных рыночных условиях деятельность любого предприятия нацелена на достижение максимальной прибыли, которая определяется соотношением доходов, получаемых при выполнении заданных объемов перевозок горной массы, и расходов на ее транспортирование, одной из главных задач является задача повышения эффективности транспортного процесса, которая позволяет, прежде всего сократить расходы предприятия и, как следствие, повысить его прибыль.

Учитывая то, что основным видом технологического транспорта на открытых горных работах является автомобильный транспорт. В США, Канаде, Южной Америке с помощью автосамосвалов перевозится более 85% горной массы, а в Австралии – практически 100%. В России и странах СНГ доля автотранспорта превышает 75% и имеет тенденцию к увеличению [53].

При этом в настоящее время, основным путем повышения производительности экскаваторно-транспортных комплексов является внедрение новых моделей экскаваторов (увеличение мощности (объема ковша)) и карьерных самосвалов большой и особо большой грузоподъемности.

В 2010 г. на предприятиях Кузбасса введены в эксплуатацию первые самосвалы БелАЗ-75600 грузоподъемностью 320 т. Осенью 2013 года выпущен и эксплуатируется на угольном разрезе «Черниговец» в г. Берёзовский Кемеровской области первый экземпляр самого большого в мире самосвала БелАЗ-75710 грузоподъемностью 450 тонн (рисунок 3.9) [54].



Рисунок 3.9- АвтосамосвалБелАЗ 75710

Самым большим экскаватором в мире на сегодняшний день является экскаватор RH400 американской фирмы Terex. При весе более 1000 тонн (абсолютный рекорд), экскаватор обладает ковшем 45 куб. метров и грузоподъемностью 95 тонн. За час работы этот гигант способен выкопать и погрузить около 10 тыс. тонн породы (рисунок 3.10) [55].

Причем в настоящее время на рынке горных машин уже наблюдается спрос на экскаваторы с ковшами с еще большей вместимостью (до 60 м³). В ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» в настоящее время закончено проектирование экскаватора ЭКГВ-50 с ковшем вместимостью 60м³.

Дальнейшее же увеличение грузоподъемности карьерных автосамосвалов сдерживается отсутствием шин высокой грузоподъемности.



Рисунок 3.10– Экскаватор Terex RH400

Таким образом, на настоящее время максимально возможная производительность самого мощного в мире экскавационно-транспортного комплекса состоящего из экскаватора Terex RH400, с объемом ковша 45м³ и автосамосвала БелАЗ 75710 грузоподъемностью 450 т. составляет около 10000

тон/ч. Дальнейшего увеличения производительности пока не предвидится, поскольку нет возможности увеличения грузоподъемности автосамосвала.

Развитие параметров автосамосвалов и экскаваторной техники непосредственно взаимосвязано. Как правило, выбор оптимального соотношения вместимости ковша экскаватора и грузоподъемности автосамосвала достигается выполнением условия погрузки кузова в 5–12 циклов экскавации [56].

Очевидно, что уменьшение числа циклов загрузки экскаватором автосамосвалов позволит соответственно повысить производительность всего экскавационно-транспортного комплекса. Это произойдет за счет увеличения мощности экскаватора при неизменной грузоподъемности автосамосвала.

Производительность экскаватора и транспортной машины определяется количеством (вместимость, масса) груза перемещаемого в единицу времени (секунда, час, смена, год). Различают техническую и эксплуатационную производительность. Техническая производительность Q определяется техническими параметрами машины и свойствами транспортируемого груза. Эксплуатационная производительность Q_3 зависит не только от технических параметров машины и свойств груза, но и от фактических условий эксплуатации.

Техническая и эксплуатационная производительности связаны между собой соотношением

$$Q_3/Q = K_3, \quad (3.16)$$

где K_3 – общий эксплуатационный коэффициент использования машины, представляющий собой произведение коэффициентов неравномерности загрузки машины K_n , использования во времени K_v и готовности машины K_2 . При непрерывной работе с нормальной загрузкой $K_3 = 1$, при неполной загрузке и простоях $K_3 < 1$.

По значению технической производительности рассчитывают главные конструктивные параметры машин, обеспечивающие эту производительность.

Производительность автомобильного транспорта определяется как суммарная производительность всех единиц транспорта (автосамосвалов).

$$Q = \sum Q_a \quad (3.17)$$

Индивидуальная производительность одной единицы (самосвала) в единицу времени определяется как

$$Q_a = r \cdot q_i, \quad (3.18)$$

где $r = \frac{1}{T_p}$ число рейсов в единицу времени;

q_i – масса груза (в кузове автосамосвала);

T_p – время рейса.

Время рейса автосамосвала складывается из времени загрузки t_z и разгрузки t_p , а также времени движения в грузовом и порожнем направлениях $t_{дв}$:

$$T_p = t_z + t_{дв.зп} + t_{дв.пор} + t_p \quad (3.19)$$

Если рассматривать данные три слагаемых времени рейса, то из них, конечно же, основную часть занимает время движения. При значительных расстояниях транспортирования временем погрузки и разгрузки можно пренебречь.

Если же расстояние транспортирования не превышает 2 километров (среднее расстояние транспортирования горной массы в карьерах), то пренебрегать этими величинами нельзя.

Причем время разгрузки, складывающееся из времени подъема и опускания кузова практически не зависит от грузоподъемности автосамосвала (составляет в среднем 40 секунд).

Время же загрузки зависит от времени цикла экскаватора и в соответствии с паспортом загрузки числа циклов (числа загружаемых ковшей).

Число циклов составляет от 5 до 12. Поэтому при средней продолжительности цикла равной 30 секунд, время погрузки может достигать 6 минут. Эти величины уже сопоставимы с общим временем движения автосамосвала.

Одним из возможных путей интенсификации процесса транспортирования, может стать использование автосамосвалов малой грузоподъемности совместно с мощными, высокопроизводительными экскаваторами.

Рассмотрим пример. Экскавационно-транспортный комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ -7530 грузоподъемностью 200 т., геометрическим объемом кузова 100м^3 , транспортирует горную массу плотностью 2 т/м^3 . Для упрощения расчетов примем длину транспортирования 1890 метров, скорость движения в грузовом направлении 12 км/ч ($4,2\text{ м/с}$), в порожнем 26 км/ч ($7,2\text{ м/с}$). Время простоя под загрузкой составляет 150 секунд (5 циклов по 30 секунд), под разгрузкой 40 секунд (время подъема и опускания кузова по 20 секунд). Время маневров не учитываем.

Интервал движения автосамосвалов не может быть меньше времени загрузки (2,5 мин.). При скорости движения груженого автосамосвала 12 км/ч ($4,2\text{ м/с}$) расстояние между самосвалами будет составлять 630 метров. На схеме рис. 3 показаны пункт погрузки (Эк), разгрузочный пункт (Пр) и автосамосвалы 1, 2, 3, 4, 5, 6. На рисунке показан момент времени, когда автосамосвал 1 полностью загружен и готовится к отправке, автосамосвалы 2 и 3 находятся в пути к пункту разгрузки, автосамосвал 4 подъехал к разгрузочному пункту и готовится к разгрузке. Автосамосвалы 5 и 6 движутся в порожнем направлении к месту загрузки. За 30 секунд (время цикла экскаватора) автосамосвал 6

встанет под погрузку. Таким образом, обеспечивается непрерывная работа всего экскаваторно-автомобильного комплекса [57].

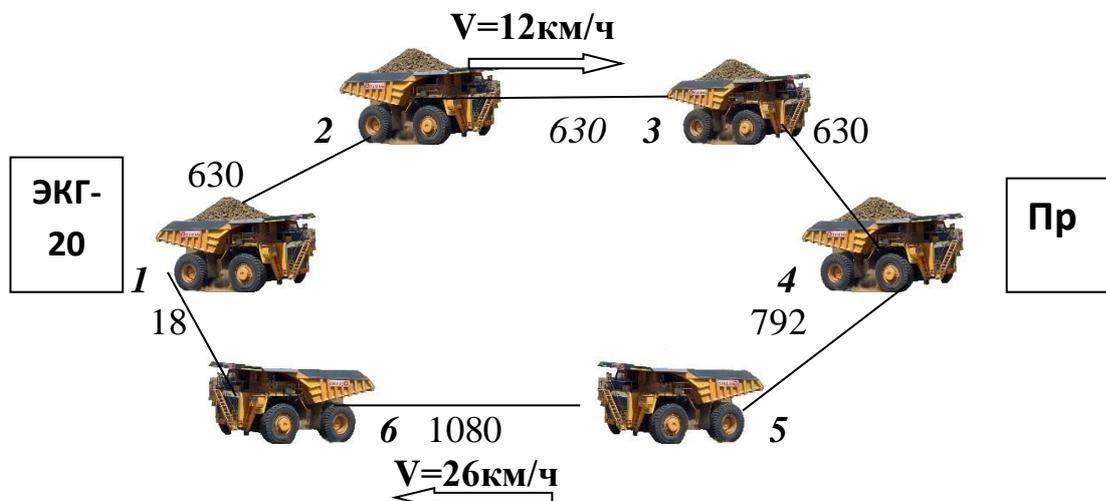


Рисунок 3.11- Схема работы экскавационно-транспортного комплекса в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ -7530

При принятых значениях для экскаватора: плотности породы 2 т/м^3 ; объеме ковша экскаватора 20 м^3 ; времени цикла 30 сек. - максимальная производительность экскаватора:

$$Q_э = 20 \cdot 2 / 30 = 1,33 \text{ м}^3/\text{с} = 4800 \text{ м}^3/\text{ч}$$

При принятых значениях для автосамосвала: скорости движения в грузовом направлении 12 км/ч ($4,2 \text{ м/с}$); скорости движения в порожнем направлении 26 км/ч ($7,2 \text{ м/с}$); числе циклов погрузки 5 ($5 \cdot 30 = 150 \text{ сек.}$); времени разгрузки 40 сек. - время рейса составит:

$$T_p = t_з + t_{\text{дв.гр}} + t_{\text{дв.пор}} + t_p = 2,5 + 7,9 + 5,99 + 0,67 = 17 \text{ мин.} = 0,28 \text{ ч.}$$

А максимальная производительность автосамосвала:

$$Q_a = r \cdot q_i = 200 / 0,28 = 714 \text{ т/ч}$$

Для обеспечения заданной производительности экскаватора потребуется следующее количество автосамосвалов:

$$N_a = 4800 / 714 = 6,7 \text{ авт.}$$

Учитывая вышеприведенную схему (рисунок 3.11) в комплексе может быть использовано только 6 автосамосвалов. При работе 6 автосамосвалов производительность комплекса составит:

$$Q = \Sigma Q_a = 714 \cdot 6 = 4284 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Рассмотрим другой пример. Экскавационно-транспортный комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ -7547 грузоподъемностью 45 т. , геометрическим объемом кузова $21,5 \text{ м}^3$. Время простоя под загрузкой составляет 30 секунд (1 цикл). Все остальные параметры работы комплекса оставим без изменения (Рисунок 3.12).

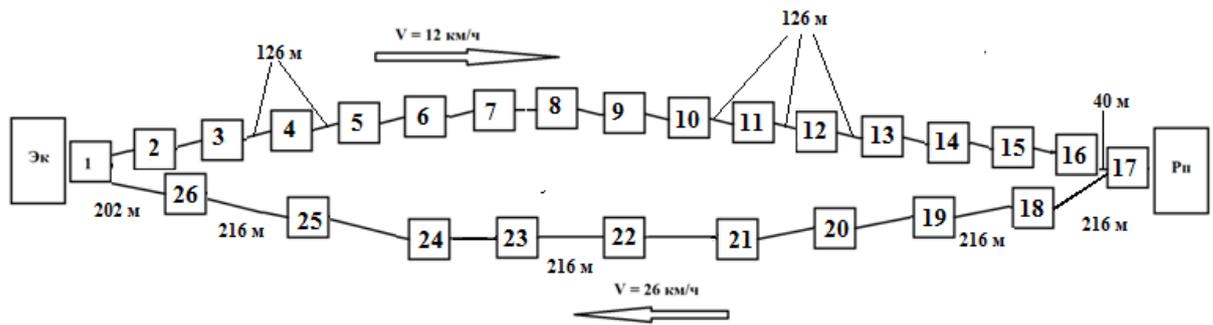


Рисунок 3.12. Схема работы экскавационно-транспортного комплекса в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ– 7547

Время рейса составит:

$$T_p = t_3 + t_{\text{дв.сп}} + t_{\text{дв.пор}} + t_p = 0,5 + 7,9 + 5,99 + 0,67 = 15,06 \text{ мин.} = 0,25 \text{ ч.}$$

Максимальная производительность автосамосвала:

$$Q_a = r \cdot q_i = 45 / 0,25 = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для обеспечения заданной производительности экскаватора необходимо автосамосвалов:

$$N_a = 4800 / 180 = 26,7 \text{ авт.}$$

Таким образом, при работе 26 автосамосвалов БелАЗ-7547 производительность комплекса составит:

$$Q = \Sigma Q_a = 180 \cdot 26 = 4680 \text{ м}^3/\text{ч}$$

По сравнению с комплексом рассмотренном в первом примере (с автосамосвалами БелАЗ-7530) производительность второго комплекса (с автосамосвалами БелАЗ-7547) вырастет на 9%.

Если говорить о стоимости 6 автосамосвалов БелАЗ-7530 и 26 автосамосвалов БелАЗ-7547 то можно сказать следующее. Из открытых источников [98] известно, что 450 тонный БелАЗ 75710 стоит 7,5 млн. долларов, его цена в два раза больше 220 тонного БелАЗ-7530. Таким образом, стоимость БелАЗ-7530 составляет примерно 3,75 млн. долларов. Исходя из этих пропорций, можно предположить, что стоимость 45 тонного автосамосвала БелАЗ-7547 будет в 4,5 раза дешевле стоимости БелАЗ-7530. Поэтому стоимость 26 автосамосвалов БелАЗ-7547 будет меньше чем стоимость 6 автосамосвалов БелАЗ-7530.

К этому следует еще добавить весьма существенное снижение капитальных затрат на создание транспортных коммуникаций. Поскольку ширина дорог для движения автосамосвалов БелАЗ-7530 значительно больше, чем для автосамосвалов БелАЗ-7547.

Немаловажным является и тот факт, что при выходе из строя одного автосамосвала БелАЗ-7530 производительность экскавационно-транспортного комплекса снизится на 27%. В то же время, при выходе из строя одного автосамосвала БелАЗ-7547 производительность экскавационно-транспортного комплекса снизится всего лишь на 4%.

Но самое главное то, что данное решение позволяет в дальнейшем увеличивать производительность экскавационно-транспортных комплексов за

счет увеличения объема ковша экскаватора вплоть до 157,5м³ (геометрический объем кузова автосамосвала БелАЗ 75710)

Однако существующие конструкции автосамосвалов рассчитаны на 5-12 циклов погрузки. Такое число циклов погрузки необходимо для того чтобы снизить динамические нагрузки на раму автосамосвала от падающей из ковша экскаватора горной массы.

Для того чтобы обеспечить погрузку автосамосвала за один цикл возможны различные пути.

Это может быть усиление рамы и ходовой части автосамосвала, что в свою очередь приведет к увеличению габаритов, массы самого автомобиля, увеличению нагрузки на шины и соответственно снижению грузоподъемности.

Возможно также использование выносных опор (гидродомкратов) воспринимающих динамические нагрузки, возникающие при погрузке горной массы в кузов автосамосвала.

А возможно также использование съемного ковша в качестве кузова автосамосвала.

Принцип работы автосамосвала с таким кузовом-ковшом заключается в следующем. Кузов-ковш имеет быстросъемное крепление к рукояти экскаватора и раме автосамосвала. После закрепления ковша на рукояти, экскаватор зачерпывает горную массу, переносит ее и вместе с ковшом устанавливает на раму автосамосвала, а далее уже ковш в качестве кузова автосамосвала транспортируется к месту разгрузки (Рисунок 3.13)

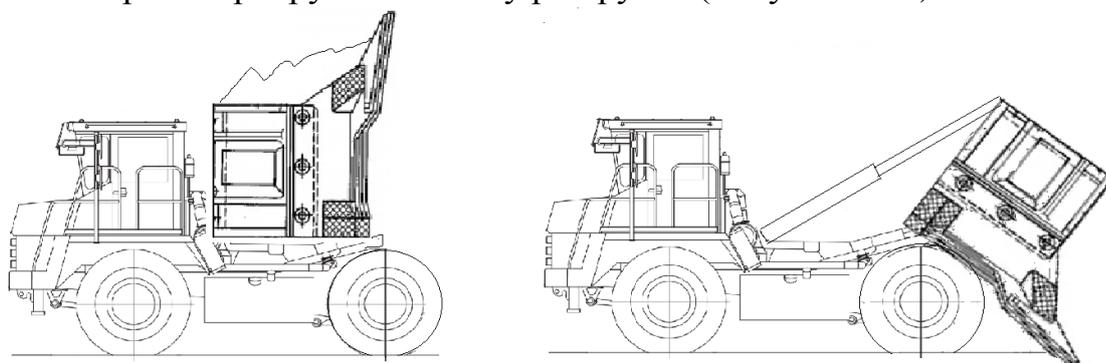


Рисунок 3.13- Автосамосвал со съемным кузовом-ковшом

По возвращении порожнего автосамосвала к забою ковш снова закрепляется на рукояти экскаватора и цикл повторяется.

При наличии нескольких таких кузовов-ковшей схема работы может быть иной. Заполненные горной массой ковши экскаватор устанавливает на специально подготовленную площадку, с которой их забирают автосамосвалы.

3.4 Карьерные автопоезда на открытых горных работах

Необходимость изменения традиционных транспортных схем при автотранспорте на открытых горных разработках вызвана с одной стороны увеличивающейся глубиной карьеров, а с другой стороны, это вызвано

обострившейся экологической ситуацией в глубоких карьерах, связанной с большой загазованностью карьерного пространства, из-за чего простои оборудования достигают в ряде случаев 1000-1500 часов в год.

Конструктивные решения по совершенствованию конструкции автосамосвалов [58] данную проблему решить не в состоянии. На основании этого, некоторые исследователи полагают, что нагрузка на автотранспорт должна быть снижена и перераспределена между ними железнодорожным или конвейерным транспортом. И что вообще пора переходить от транспортных систем с дискретными грузопотоками к системам с комбинированными грузопотоками, создаваемыми автосамосвалами, железнодорожным транспортом и ленточными конвейерами, что уже сейчас наблюдается на ряде карьеров России, Украины и Узбекистана [59].

В последние годы также ведутся интенсивные поиски более прогрессивных решений, связанных с применением крутонаклонных ленточных конвейеров, позволяющих транспортировать дробленые крепкие породы и руды под углом $30...45^\circ$ и более, т.е. увеличить угол наклона по сравнению с применяемыми конвейерными подъемниками (обычно не более 16°) в два и более раз [60].

Вместе с тем учитывая, что в последнее время произошла весьма существенная модернизация средств карьерного автотранспорта - автосамосвалы стали выпускаться с лучшими тягово-динамическими и экологическими характеристиками, это позволяет надеяться на возможность расширения рациональной области их применения.

Одним из путей расширения рациональной области применения карьерных автосамосвалов может стать использование автосамосвалов в составе карьерных автопоездов (рисунок 3.14).

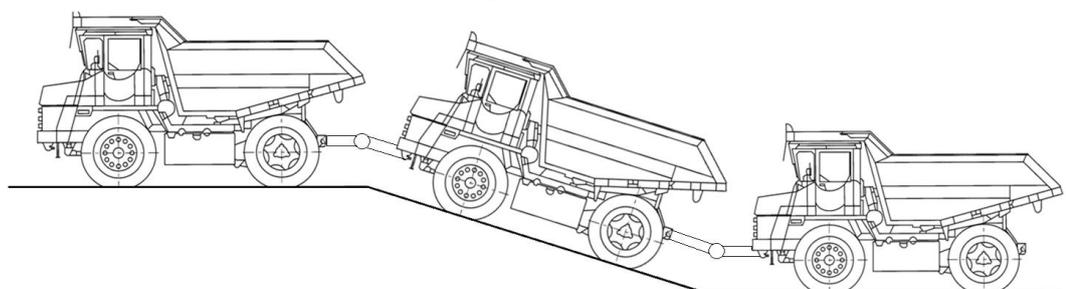


Рисунок 3.14 - Автопоезд из карьерных автосамосвалов

Принцип работы таких поездов заключается в возможности автоматического формирования и расформирования состава поезда из автономных самосвалов при помощи автосцепок работающих по принципу автосцепок применяемых на железнодорожном транспорте. Несколько автосамосвалов объединяются в один состав и движутся как одно целое. В случае необходимости, в любой момент эти автосамосвалы могут отцепиться от состава поезда и двигаться индивидуально, каждый по своему маршруту [72].

Анализ схем движения автосамосвалов показывает, что загрузка силовой установки любого карьерного автосамосвала большую часть своего времени не

превышает 75%. Движение на подъем груженого автосамосвала, когда реализуется максимальная мощность двигателя, составляет не более 45% от всего пути движения автосамосвала. Остальное время занимает движение груженого автосамосвала по горизонтальным, пологонаклонным участкам пути, или же движение порожнего автосамосвала по обратным уклонам, где двигатель работает при минимальной нагрузке [81].

Например, упрощенный расчет по общеизвестной методике [61] касательной силы тяги и потребной мощности силовой установки для движения автосамосвала БелАЗ 7540 при заданных условиях: грузоподъемность - 30т.; собственный вес - 22,5 т.; мощность силовой установки 309 кВт; движение осуществляется на горизонтальном участке пути по главным откаточным дорогам с щебеночным покрытием (коэффициент удельного основного сопротивления которых составляет $\omega_0 = 40$ Н/кН) показал следующее.

Наибольшая касательная сила тяги F_k (Н), необходимая для преодоления суммарного сопротивления движению составляет

$$F_k \geq \Sigma W = W_0 + W_i + W_k + W_j = 37561,587 \text{ Н}$$

где W_0 , W_i , W_k , W_j - соответственно: основное сопротивление движению, сопротивление от уклона дороги, сопротивление на криволинейных участках пути и сопротивление сил инерции.

Если считать среднюю скорость движения на горизонтальном участке 20 км/час = 5,6 м/сек, то мощность силовой установки, без учета к.п.д. должна составлять:

$$N = W \cdot V = 37561,587 \cdot 5,6 = 208675,484 \text{ Вт} = 209 \text{ кВт}$$

Следовательно, при движении по горизонтальным участкам данный автосамосвал имеет резерв по мощности равный 100кВт. Недогруз – 32%

Таким образом, например, если сформировать автомобильный поезд, состоящий из трех груженых автосамосвалов, то при движении по горизонтальным участкам силовая установка одного автосамосвала может быть отключена, поскольку мощности силовых установок двух других автосамосвалов будет вполне достаточно для движения всего автомобильного поезда. В случае движения порожнего состава в обратном направлении нагрузка на силовую установку еще более снижается и мощности силовой установки уже одного автосамосвала будет достаточно для движения всего состава. В результате получается и экономия топлива и уменьшение загрязнения окружающей среды [74].

Наибольший интерес, с точки зрения эффективности транспортного процесса, представляет процесс преодоления автомобильным поездом уклонов, когда длина автопоезда превышает длину уклона. В этом случае часть автосамосвалов движется по горизонтальным участкам пути, а часть по уклону. Машины, движущиеся по горизонтальным участкам пути перед уклоном, имея

запас по касательной силе тяги, передают часть излишка своей тяги машинам, движущимся по уклону толкая их. Машины уже преодолевшие подъем, за счет излишка тяги - тянут за собой машины, преодолевающие уклон.

Таким образом, суммарная касательная сила тяги, развиваемая ведущими колесами всех автосамосвалов поезда, перераспределяется между всеми составными единицами поезда в соответствие с сопротивлением, приходящимся на каждую из них.

Как показывают расчеты, величина преодолеваемых уклонов поездами из автосамосвалов может быть значительно повышена. Например, для рассматриваемого нами случая автомобильного поезда состоящего из трех автосамосвалов БелАЗ 7540, величина общей касательной силы тяги развиваемой всеми ведущими колесами поезда при движении со скоростью 15 км/час (4,2 м/с) может быть определена как:

$$\Sigma W = \Sigma N/V = (309000 + 309000 + 309000)/4,2 = 220714,286 \text{ Н}$$

Если из этой величины исключить силы сопротивления перемещению автосамосвалов по горизонтальным участкам, то можно определить величину касательной силы тяги, которая может быть использована для преодоления уклонов:

$$W_i = \Sigma W - F_k = 220714,286 - 37561,58 \cdot 3 = 108029,546 \text{ Н.}$$

Зная эту величину можно определить величину возможного преодолеваемого уклона:

$$i = W_i/Pg = 108029,546/525000 = 0,2058 = 21\%$$

Это значение преодолеваемого уклона рассчитано только для автопоезда, состоящего из трех автосамосвалов, если количество автосамосвалов в составе поезда увеличить, то соответственно увеличится и преодолеваемый уклон.

В свою очередь увеличение преодолеваемых уклонов позволяет значительно сократить протяженность трассы, уменьшить объем горно-капитальных работ и их стоимость, уменьшить капитальные затраты на транспорт и его эксплуатацию, а также увеличить глубину отработки карьера и отказаться от подземной разработки нижних горизонтов месторождения.

Кроме того, использование карьерных автопоездов в составе автосамосвалов малой грузоподъемности дает возможность сокращения числа водителей автосамосвалов и в дальнейшем полностью перейти к созданию самоходных роботизированных комплексов для транспортирования грузов на различных маршрутах горных предприятий [62].

Выводы по третьему разделу

Система карьерного автотранспорта обладает большой динамикой, и ее характеристики в процессе эксплуатации изменяются. Это касается, в первую очередь, изменения израсходованного ресурса машин, что влияет на все основные технико-экономические показатели работы транспортной системы. Кроме того, в систему вливаются машины новых модернизированных моделей с различными характеристиками и возможностями. Таким образом, структура системы находится в постоянном движении, и одной из главных задач является обеспечение надежного управления этим движением, чтобы иметь на выходе системы стабильный грузопоток с требуемыми параметрами.

Установлено, что одним из путей повышения производительности может стать уменьшение времени загрузки автосамосвалов за счет сокращения числа циклов погрузки экскаватора. В результате сокращения числа циклов становится возможным создавать экскавационно-транспортные комплексы из мощных экскаваторов и автосамосвалов небольшой грузоподъемности. В результате использования таких комплексов повышается производительность и снижаются капитальные затраты на создание транспортных коммуникаций. А также появляется возможность дальнейшего наращивания производительности экскавационно-транспортных комплексов за счет увеличения объема ковша экскаватора вплоть до 157,5м³.

Проанализирована возможность использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов на открытых горных разработках с точки зрения повышения эффективности автомобильного транспорта в карьерах.

Установлено, что работа автосамосвалов в составе карьерных автопоездов позволяет повысить эффективность работы автомобильного транспорта, значительно сократить протяженность трассы, уменьшить объем горно-капитальных работ и их стоимость, уменьшить капитальные затраты на транспорт и его эксплуатацию, а также увеличить глубину отработки карьера и отказаться от подземной разработки нижних горизонтов месторождения. Вместе с тем учитывая, что в последнее время произошла весьма существенная модернизация средств карьерного автотранспорта - автосамосвалы стали выпускаться с лучшими тягово-динамическими и экологическими характеристиками, это позволяет надеяться на возможность расширения рациональной области их применения.

Раздел 4. Повышения эффективности систем карьерного автотранспорта в условиях эксплуатации

4.1 Построение математической модели ударного воздействия при экскаваторной загрузке автосамосвалов

Карьерные самосвалы большой грузоподъемности, например, БелАЗ 7555В и 7555Е [63], применяют для вывоза разрушенного горного массива при добыче железной руды открытым способом с использованием энергии взрыва. Применение таких самосвалов в сочетании с мощными экскаваторами, погрузчиками и бульдозерами обеспечивает высокую производительность труда рабочих, низкую себестоимости погрузки и транспортировки горной массы. При этом сокращается численность транспортного оборудования на карьере, упрощается строительство карьера, снижаются затраты на прокладку и обслуживание различного рода коммуникаций.

Полная масса ненагруженного самосвала БЕЛАЗ-7555В согласно руководству [62] составляет 40500 кг. Масса одной шины 24.00 R35 составляет 727 кг [64]. Самосвал использует комплект 6 шин. Соответственно, если считать, что шины выполняют функцию упругого элемента первого уровня, то суммарная обрессоренная масса автомобиля составляет $40500 - 6 \times 727 = 36138$ кг.

Для расчета использовали упрощенную модель динамики автомобиля с 4 степенями свободы в соответствии со статьей [65]. Данная схема показана на рисунке 4.1. Для данной схемы выбирается следующее расположение осей: ось X пусть будет направлена вперед по ходу движения автомобиля, ось Y в поперечном направлении и ось Z в вертикальном направлении. Согласно этой схеме основная масса автомобиля сосредоточена в кузове m , который может догружаться перевозимым грузом (например, вскрышной породой) и которая может падать частями с различной высоты, при этом может моделироваться погрузка самосвала. Указанная масса m может иметь вертикальные перемещения, а также возможность вращения вокруг оси Y.

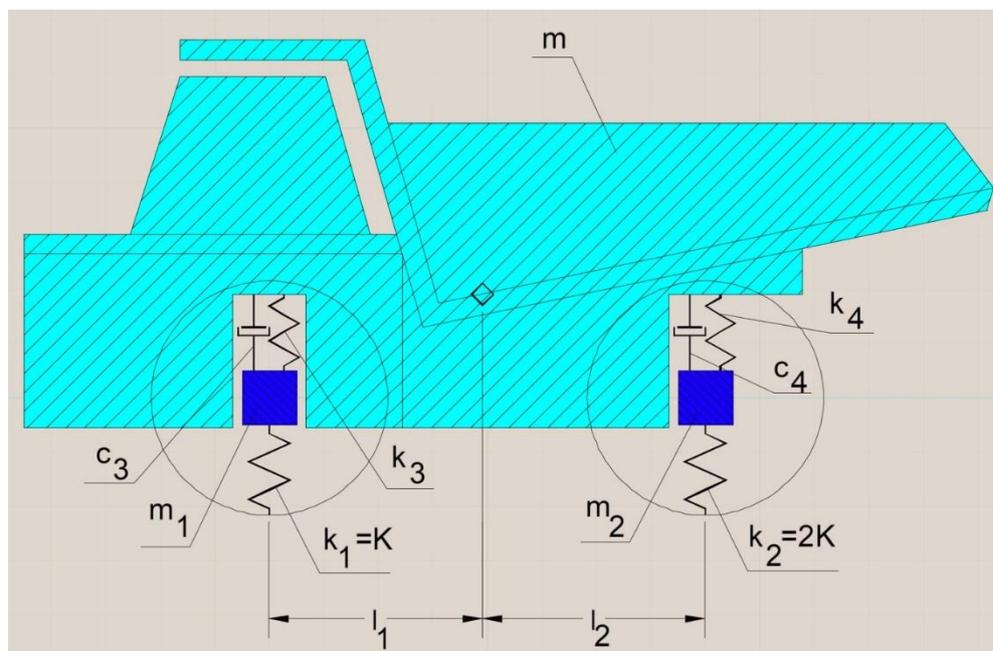


Рисунок 4.1 Расчетная схема самосвала БелАЗ 4555В

В указанную выше массу порожнего автомобиля входят: масса передней подвески $m_1 = 7200$ кг и масса задней подвески $m_2 = 12800$ кг [65]. Таким образом, остальная масса автомобиля (кузов, двигатель, кабина и т.д.) равна $m = 36138 - 7200 - 12800 = 16138$ кг. К сожалению, в работе [65] содержится ряд досадных опечаток, которые потом были устранены в работе [66]. В частности, на порядок была изменена масса порожнего автомобиля и масса перевозимого груза. Тем не менее, производитель заявляет массу порожнего автомобиля равной 40500 кг, а не 40200 кг, как указывается в статье [66]. Поэтому мы ориентировались на заводские характеристики автосамосвала.

Еще одной неточностью статьи [65] является определение центра масс ненагруженного автомобиля. Указано, что расстояние от данного центра масс до первой оси равно l_1 и до второй оси равно l_2 . Тем не менее, указанные расстояния не были указаны в данной статье. Эта неточность была устранена в статье [66], где приведены данные параметры: $l_1 = 1,96$ м и $l_2 = 2,04$ м.

В статье [66] была рекомендована приближенная формула для определения момента инерции массы m при вращении вокруг поперечной оси, проходящей через центр масс. Воспользуемся ею

$$J_y = ml_1l_2 = 64526 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Моменты инерции для массы m относительно остальных осей являются для данной математической модели не существенными, поскольку допускается ее вращение только относительно оси Y , и, соответственно, при расчете могут быть заданы произвольно.

Остальные массы m_1 и m_2 считаются точечными и их возможное вращение не рассматривается.

Теперь остановимся на жесткостных и демпфирующих характеристиках автомобиля. Согласно статье [66] жесткость комплекта передних шин составляет $k_1 = 2,4 \cdot 10^6$ Н/м. Соответственно, жесткость заднего комплекта шин в

два раза больше, т.е. $k_2 = 4,8 \cdot 10^6$ Н/м. Согласно той же статье суммарная жесткость передней подвески автомобиля составляет $k_3 = 1,27 \cdot 10^6$ Н/м, а суммарная жесткость задней подвески $k_4 = 1,0 \cdot 10^6$ Н/м.

Вопрос задания демпфирующих характеристик (коэффициентов вязкого сопротивления амортизаторов) является несколько более сложной задачей, поскольку в статье [66] указанные характеристики обозначены, но не приведены. Кстати, далее в статье они многократно встречаются под различными обозначениями, но их численные данные не приводятся. Тем не менее, в более ранней статье тех же авторов [65] удается найти их значения. В частности, здесь принимается, что коэффициенты вязкого сопротивления передних и задних амортизаторов равны, т.е. $k_3 = k_4 = 3,5 \cdot 10^4$ Н·с/м.

При решении задач динамики использовали программный комплекс «Универсальный механизм». Программа предназначена для автоматизации процесса исследования механических объектов, которые могут быть представлены системой абсолютно твердых или упругих тел, связанных посредством кинематических и силовых элементов. С использованием УМ решаются прямые и обратные задачи кинематики, динамики и управления. Механическая система может быть как плоской, так и пространственной. Практически отсутствуют ограничения на число в системе. Программа УМ широко использует современные методы компьютерной графики как для анимационного представления движения в процессе численного решения уравнения, так и при обработке результатов. Уравнения движения объекта выводятся специальным модулем программы в символьной или численной форме.

Процессе создания модели автосамосвала строился следующим образом:

- описание модели автосамосвала: создавались графические образы модели, тела, задавались данные как шарниры, биполярные силы, контактные силы

- синтез уравнений движения модели: после создания модели в программе UM Simulation рассчитываются начальные условия координат относительно положения равновесия автосамосвала (рисунок 4.2).

Конструкция и количественные параметры подвески являются одним из важнейших определяющих факторов в формировании нагрузок на несущие рамы. Подвеска преобразует случайный процесс неровностей автодороги и соответствующий ему реактивный случайный процесс нагружения в случайный процесс, непосредственно воспринимаемый рамой в узлах крепления подвески. Динамические процессы сводятся к описанию низкочастотных колебаний главных узлов автосамосвала [65].

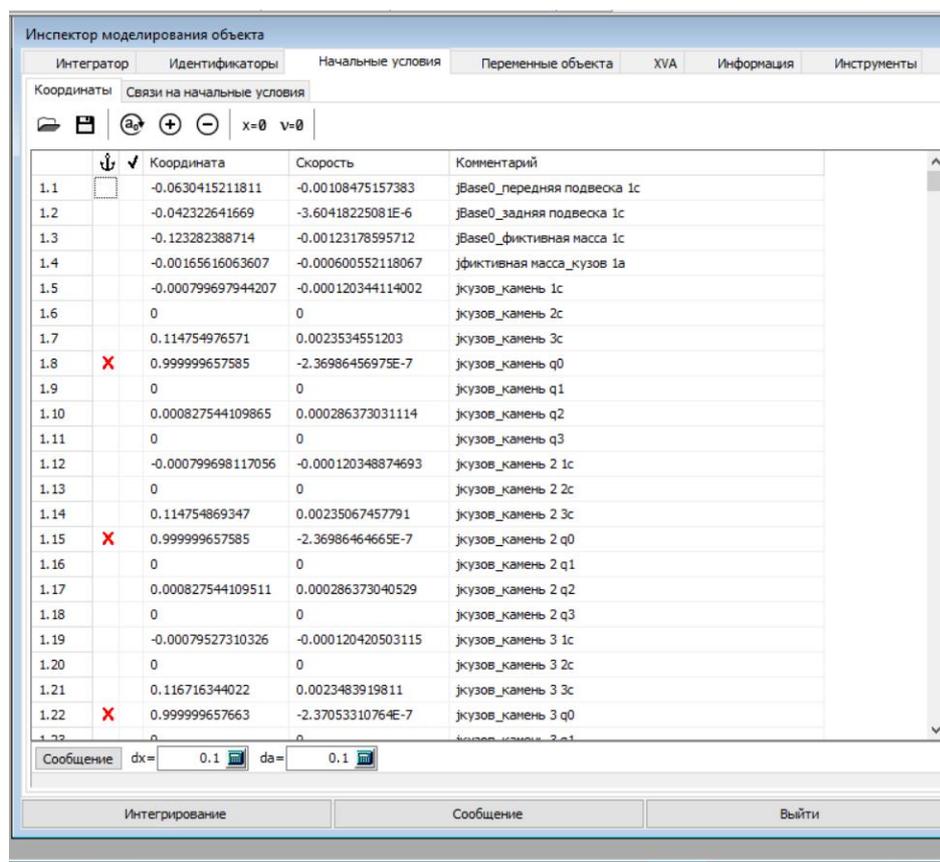
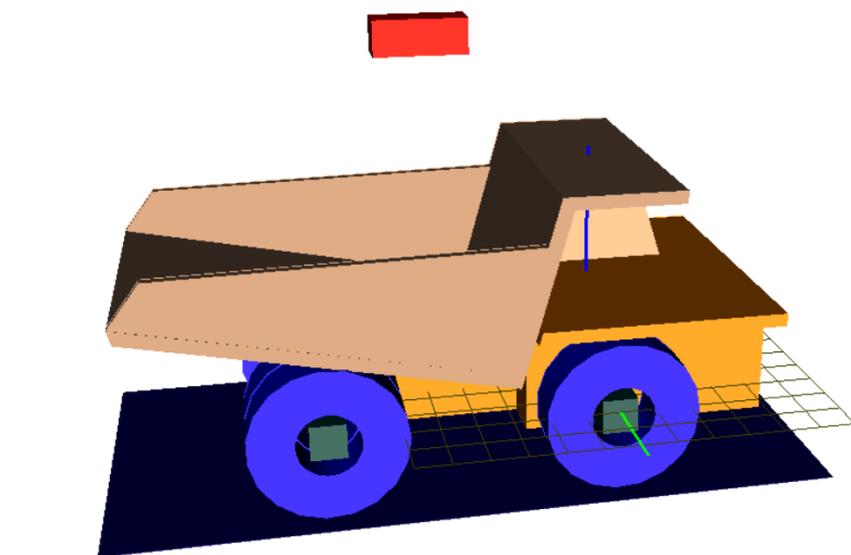


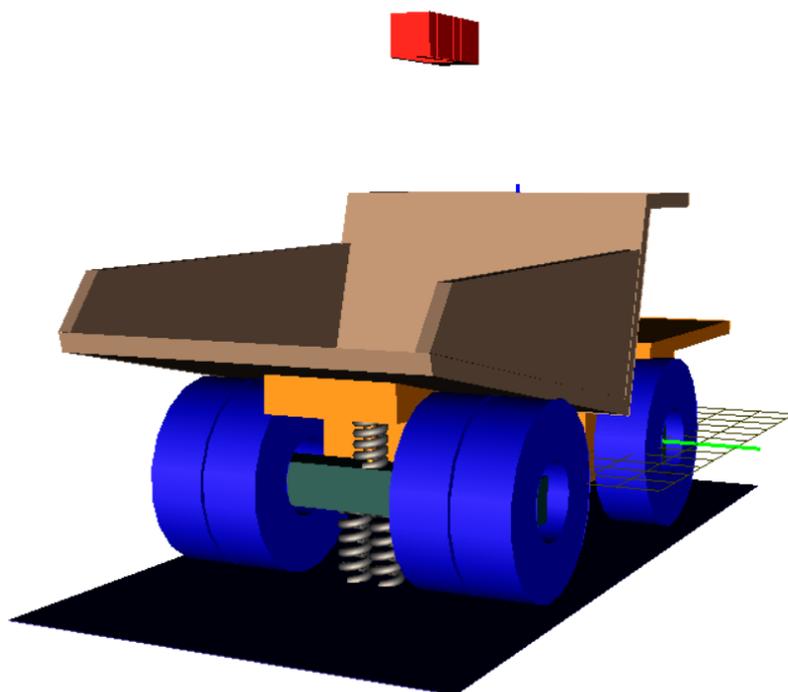
Рисунок 4.2 Начальные условия координат относительно положения равновесия автосамосвала

В диалоговом окне программы отображается таблица, в которой в цифровом виде каждому значению времени соответствует значение положения заданного, элемента днища кузова с шагом в 0,1 секунды. Для объектов типа «График» предоставляется возможность задавать практически любой масштаб времени и отслеживать перемещения, элементов несущих металлоконструкций в процессе моделирования загрузки как одного ковша так и нескольких ковшей. Это дает возможность сравнить общую (статическую) нагруженность элементов металлоконструкций, а также оценить размахи напряжений и перемещений, конструкции при различных вариантах экскаваторной загрузки автосамосвала. В рисунке 4.3 представлена расчётная модель с подвешенной массой для исследования динамики в процессе загрузки.

Результаты динамического анализа в системе Universal Mechanism отображались с помощью UM Simulation, представляющих собой функцию из набора точек в собственной двухмерной системе координат. В рисунке 4.4 представлен график перемещения кузова в процессе загрузки. Также на рисунках 4.5 и 4.6 приведены графики нагрузок на передние и задние подвески автосамосвала.

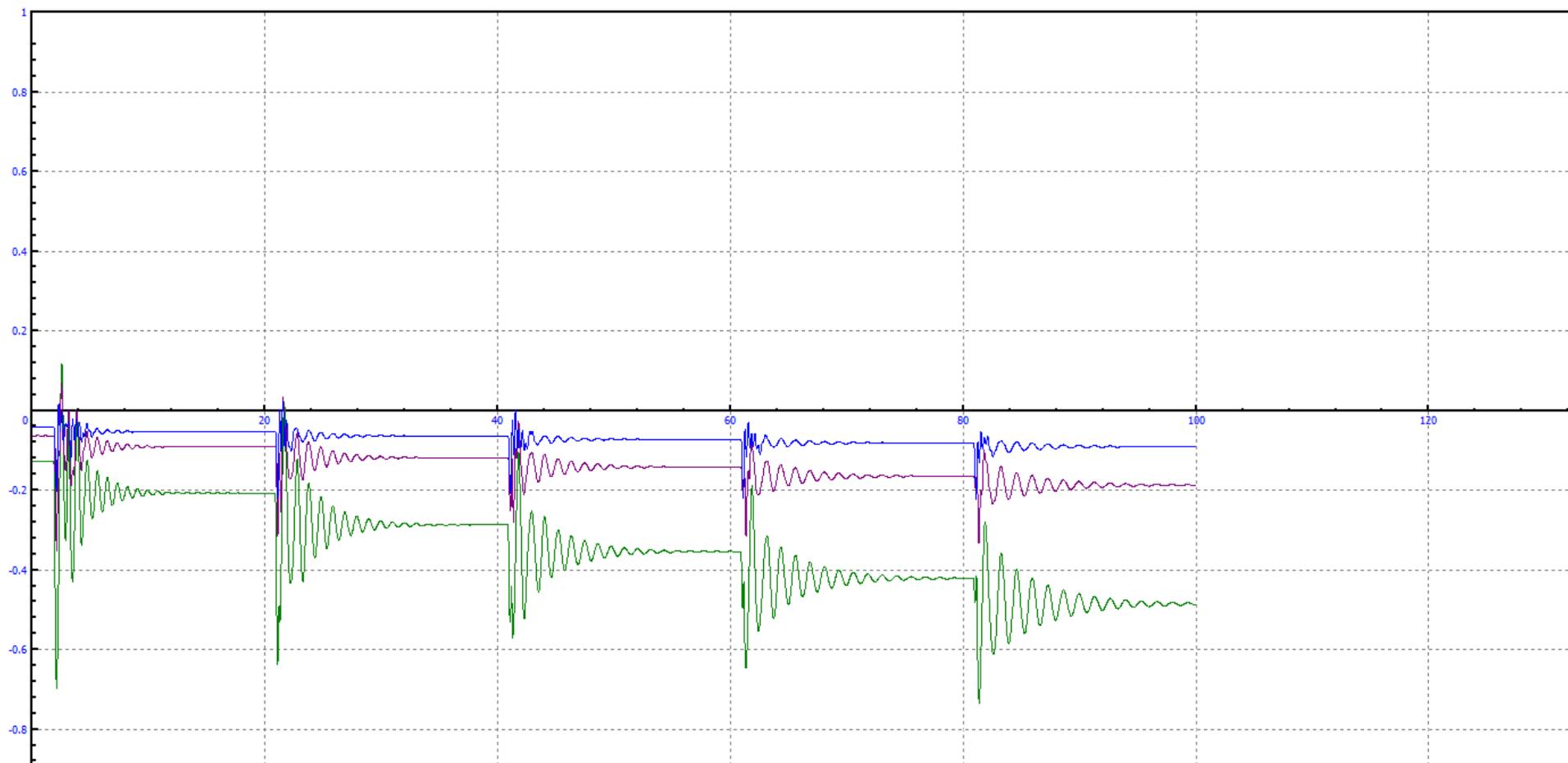


а



б

Рисунок 4.3 Модель самосвала БелАЗ 7555В для исследования динамики в процессе загрузки



t (сек)

Рисунок 4.4 Колебания кузова в процессе загрузки

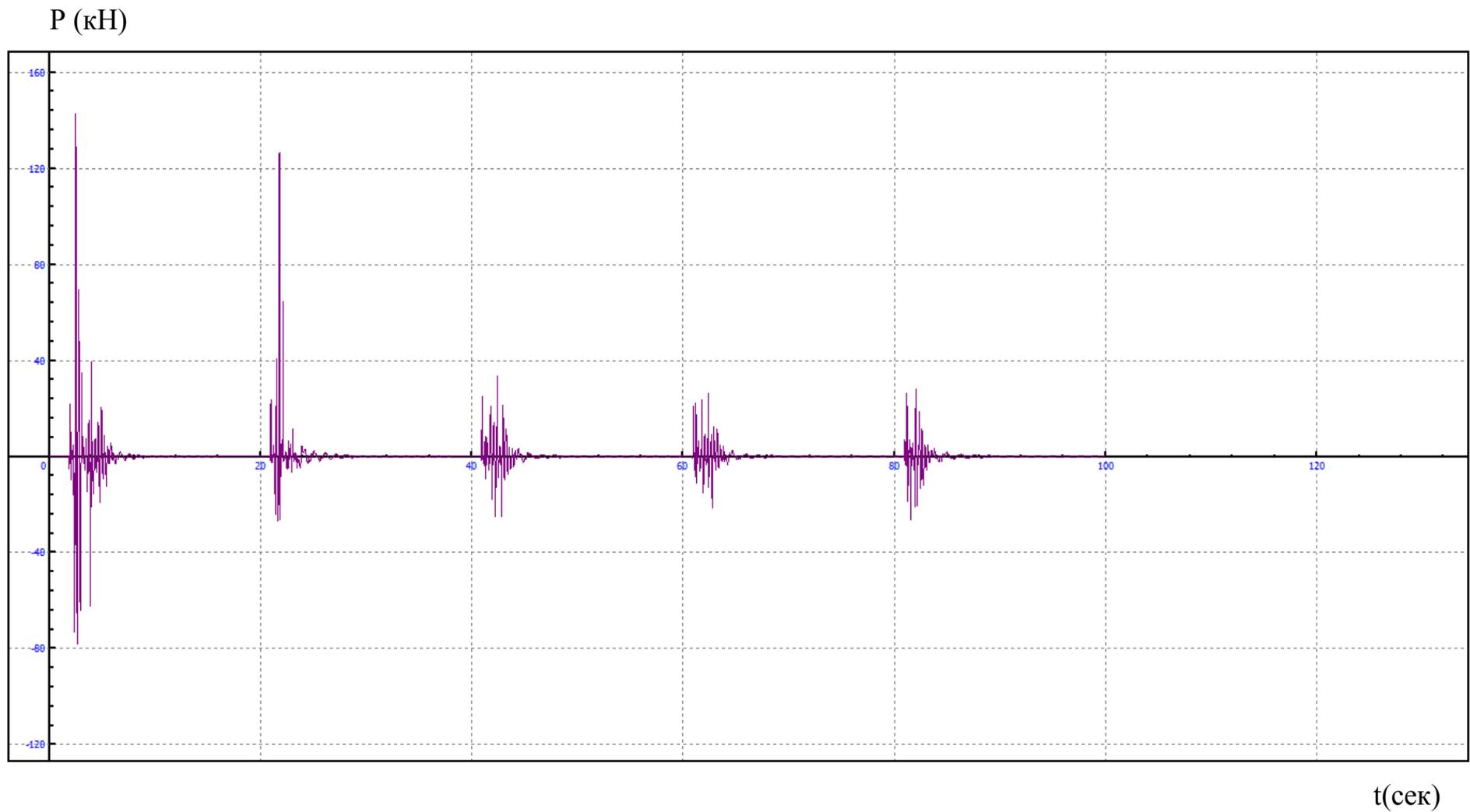
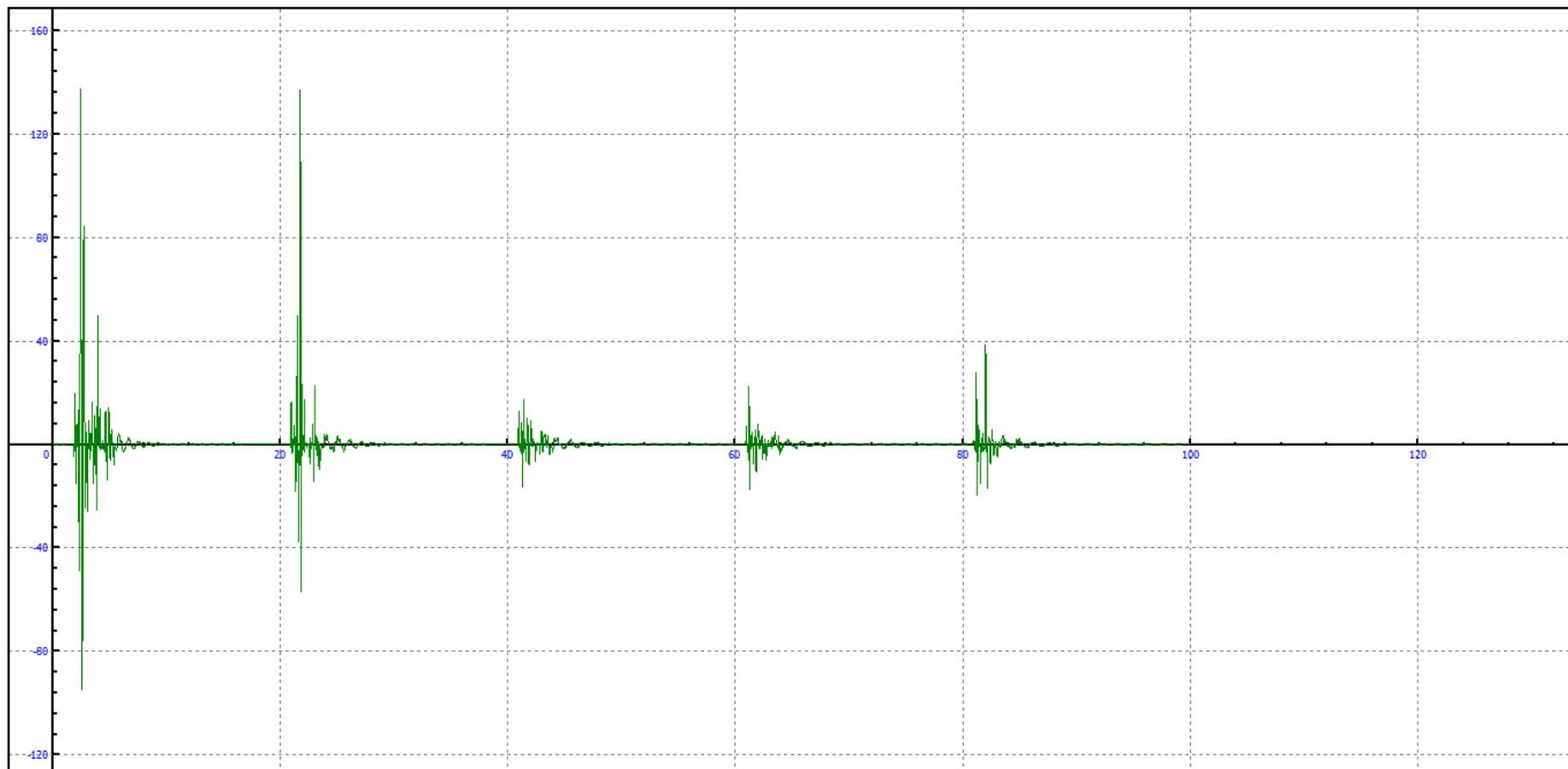


Рисунок 4.5 Нагрузки на передние подвески в процессе загрузки

P (кН)



t(сек)

Рисунок 4.6 Нагрузки на передние задние подвески в процессе загрузки

В таблице 4.1 Приведены результаты расчета усилия в подвесках автосамосвала в процессе загрузки с экскаваторами ЭКГ-10 И ЭКГ 12,5.

Таблица 4.1 Динамическая нагрузка в процессе загрузки автосамосвала

Тип экскаватора	№ Ковша	Динамическое усилие, кН	
		Передние подвески	Задние подвески
ЭКГ 10	1	135	138
	2	134	125
	3	20	38
	4	28	28
	5	40	26
ЭКГ 12,5	1	150	145
	2	144	139
	3	60	38

Применение модуля динамического анализа UM при расчетах динамических нагрузок состояния элементов несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов позволило теоретически определить величину динамической нагрузки в процессе экскаваторной погрузки. Анализ процесса колебаний несущих металлоконструкций позволил определить число циклов нагружения что напряжения, полученные экспериментальным путем, отличаются от полученных методом конечно-элементного и динамического моделирования на 10-15%. Это объясняется тем, что при создании расчетной и компьютерной модели был принят ряд допущений и упрощений.

4.2 3D-моделирование рамы автосамосвала БелАЗ-7547 , статический расчет

Надежность работы автосамосвалов зависит от правильной эксплуатации (то есть необходимо соблюдать рекомендации по эксплуатации от завода изготовителя), горноклиматических и дорожных условий. Так же при погрузке горной массы в кузов самосвала необходимо руководствоваться паспортом погрузки. Согласно этому документу горную породу в кузове самосвала необходимо размещать равномерно по всему кузову. При этом первый ковш разгружается на заднюю часть кузова, второй, в переднюю, третий ковш разгружается в среднюю часть кузова, четвертый и пятый ковш разгружается в кузов так же как первый и второй. В паспорте погрузки указано количество разгружаемых ковшей в зависимости от плотности породы. На карьере «Малый Куйбас» чаще всего загрузка самосвала осуществляется не по грузоподъемности, а по объему, т.к. плотность пород колеблется от 1,4 т/м³ до 4,3 т/м³, масса груза в кузове самосвала при его полной загрузке (с шапкой) может превышать его грузоподъемность на 20-30%. Вследствие этого на раму самосвала будут действовать значительные динамические нагрузки, как при

погрузке, так и при транспортировке горной массы от чего и возникают динамические нагрузки на раму самосвала [75].

Для исключения возникновения дефектов рамы возникающих наиболее нагруженными участками несущих металлоконструкций при погрузке горной породы и уменьшение динамических нагрузок при использовании экскаваторов большой мощности в комплексе с автосамосвалами малой грузоподъемности предлагаются установить выносные опоры на кузове автосамосвала которые позволят снизить эти динамические нагрузки тем самым повысить производительность экскаваторно-автомобильного комплекса.

Способ включает устройство поддерживающих опорных гидравлических телескопических домкратов на кузове автосамосвала, которые в процессе загрузки опираются непосредственно на почву земляной поверхности погрузочной площадки и воспринимают нагрузку от падающей из ковша экскаватора горной массы. После загрузки кузова автосамосвала, домкраты выключаются, перенося всю нагрузку на опорные конструкции автосамосвала. (Рисунок 4.7 и 4.8)

Комплекс снабжен датчиками позиционирования, установленными на кузове автосамосвала т связанными с системой автоматического управления гидродамкратами, а для контроля загрузки кузова горной массой на днищах кузова автосамосвала размещены датчики контроля. При этом система автоматического управления содержит микропроцессор с блоком управления и панель управления гидросистемой домкратов. Реализация процессов позиционирования кузова автосамосвала происходит посредством перемещения кузова в вертикальной плоскости телескопическими домкратами вертикального перемещения кузова автосамосвала происходит посредством перемещения кузова в вертикальной плоскости телескопическими домкратами вертикального перемещения кузова, установленными на бортах кузова и связанными с системой автоматического управления механизмами функционированого комплекса.

Такое конструктивное решение позволяет не только снизить динамические нагрузки на опорные конструкции самосвала, но и обеспечивает возможность автосамосвалам небольшой грузоподъемности работать с экскаваторами большей вместимости ковшей, что приводит к снижению объемов горно-капитальных работ и, в целом затрат на создание всей транспортной инфраструктуры горного предприятия.

Комплекс для осуществления погрузки автосамосвала содержит кузов 1 с направляющими бортами, в передней части корпусов кузова шарнирно закреплены два телескопических гидравлических домкрата 2, в задней части кузова шарнирно закреплены по обоим бортам два телескопических гидравлических домкрата 3, в средней части кузова автосамосвала шарнирно закреплены датчики позиционирования 5, а на днищах кузова закреплены датчики загрузки 6, в кабине водителя автосамосвала размещен микропроцессор 7, с блоком управления гидросистемой.

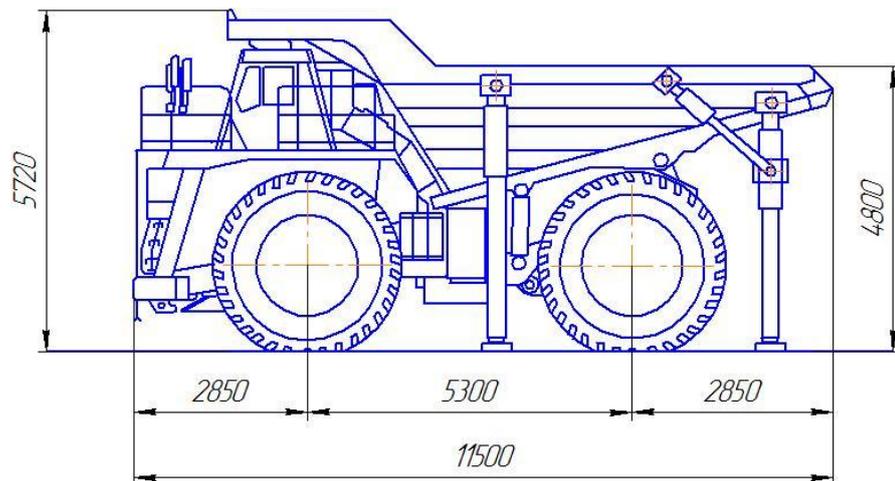


Рисунок 4.7 - Общий вид устройства загрузки автосамосвалов в рабочем положении

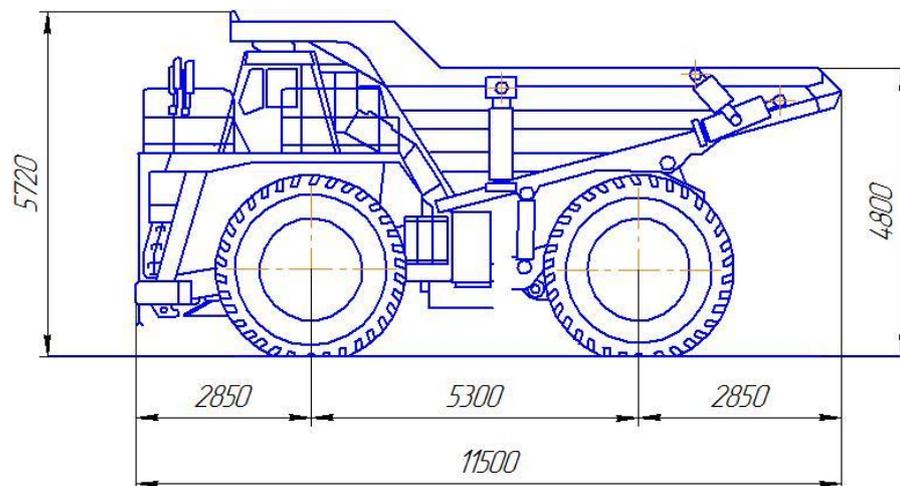


Рисунок 4.8 - Общий вид комплекса для осуществления погрузки, где гидродомкраты изображены в начальном (нерабочем, транспортном) положении

Для определения напряженно-деформированного состояния под действием приложенных к системе постоянных сил и оценку конструкции по допускаемым напряжениям с опорами и без опор был сделан статистический расчет НДС рамы автосамосвала БелАЗ-7547.

Расчет на прочность с применением метода конечных элементов (МКЭ) на сегодняшний день является фактически мировым стандартом. Универсальность этого метода дает возможность рассчитывать разные конструкции с различными свойствами материалов единым способом. Метод позволяет учесть геометрические формы и условия работы конструкции, распределение во времени и пространстве (для динамических задач) внешних нагрузок, свойств материалов, используемых в конструкции, в достаточно полном объеме [67].

Статический расчет напряженно-деформированного состояния под действием приложенных к системе постоянных во времени сил позволяет производить оценку конструкции по допускаемым напряжениям, а также выявлять наиболее уязвимые места. Частотный расчет позволяет осуществлять

расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. Тепловой - обеспечивает возможность оценки поведения конструкции под воздействием источников тепла и излучения. Кроме выше названных анализов, имеется возможность проводить динамический и термопрочностной анализы, в частности, при случайном характере нагрузок производить расчеты на местную и общую устойчивость, по заданной системе ограничений оптимизировать параметры конструкции [76].

Моделирование напряженного деформированного состояния рамы карьерного автосамосвала было проведено с использованием программы Autodesk Inventor Professional 2018.

На рисунке 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 показаны напряжения, действующие на раму при погрузке горной массы в кузов самосвала без опор.

Из данных НДС рамы без опор определены наиболее напряженные узлы, где в таблице 4.2 видно, что наиболее нагруженными участками несущих металлоконструкций, в случае их статического нагружения, для рамы продольные лонжероны на участке между 2-й и 3-й поперечиной; подрамник, 3-я поперечина; для кузова проушина и кронштейны крепления к раме.

Таблица 4.2. Наиболее напряженные узлы в раме автосамосвала от статической нагрузки без опор, МПа

<i>Наименование элемента</i>	<i>Один ковш ЭКГ-12,5</i>	<i>Полная загрузка</i>
РАМА		
Продольные лонжероны на участке от 1-й до 2-й	3,7	14
Продольные лонжероны на участке от 2-й до 3-й	5,5	22
Продольные лонжероны на участке после 3-й поперечины	3,5	14
1-я поперечина	3,5	12
2-я поперечина	3,5	12
3-я поперечина	4,5	18
Подрамник	5	20
Шарнирная опора	3,5	14

На рисунке 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 показаны напряжения, действующие на раму при погрузке горной массы в кузов самосвала с опорами. По результатам расчета определены наиболее напряженные узлы. По результатам определения напряженно-деформированного состояния под действием приложенных к системе постоянных сил и оценку конструкции по допускаемым напряжениям с опорами статический расчет показал НДС рамы автосамосвала БелАЗ-7547 снижается до 19,39 МПа, смещение уменьшается до 0,025 мм.

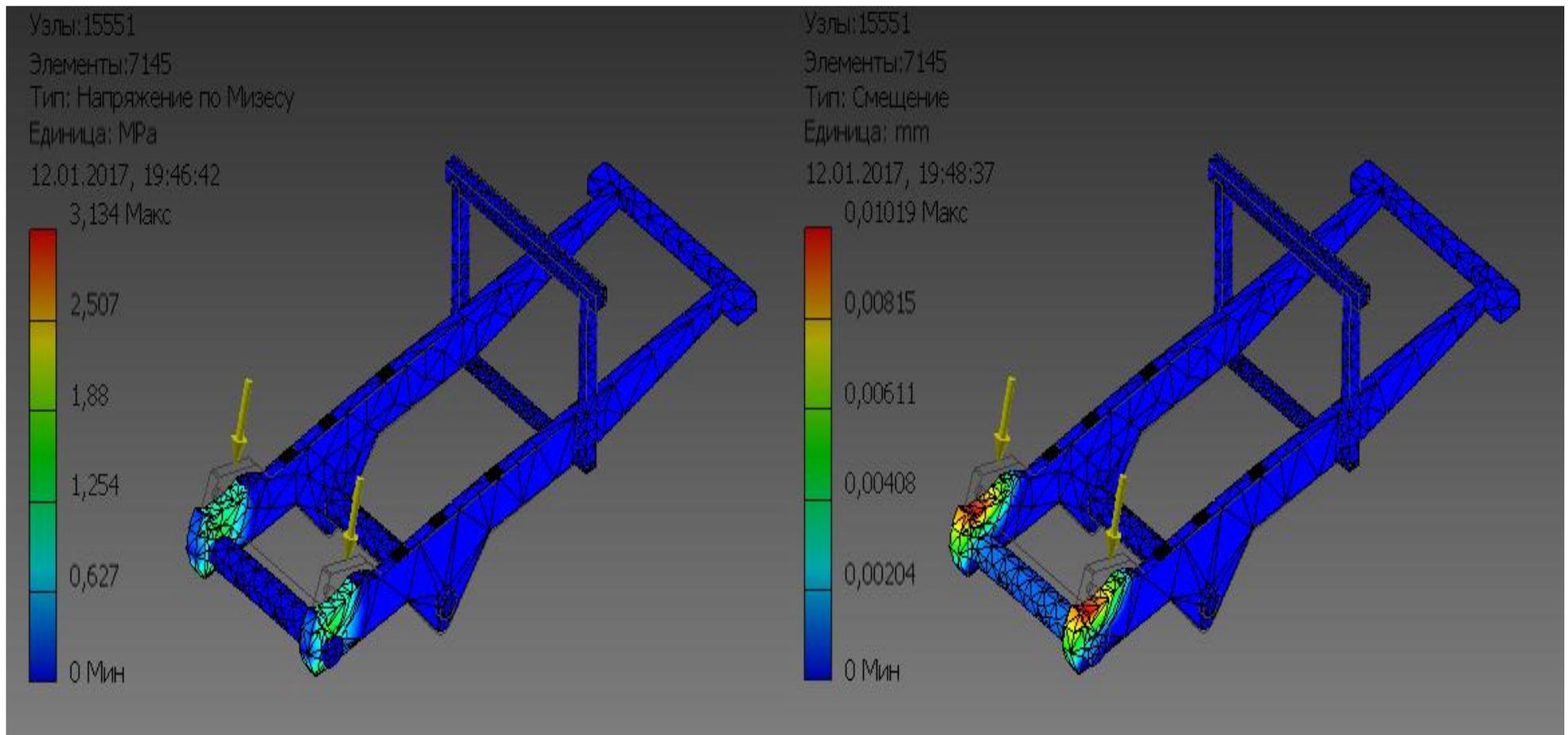


Рисунок 4.9 - Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке первого ковша без опор

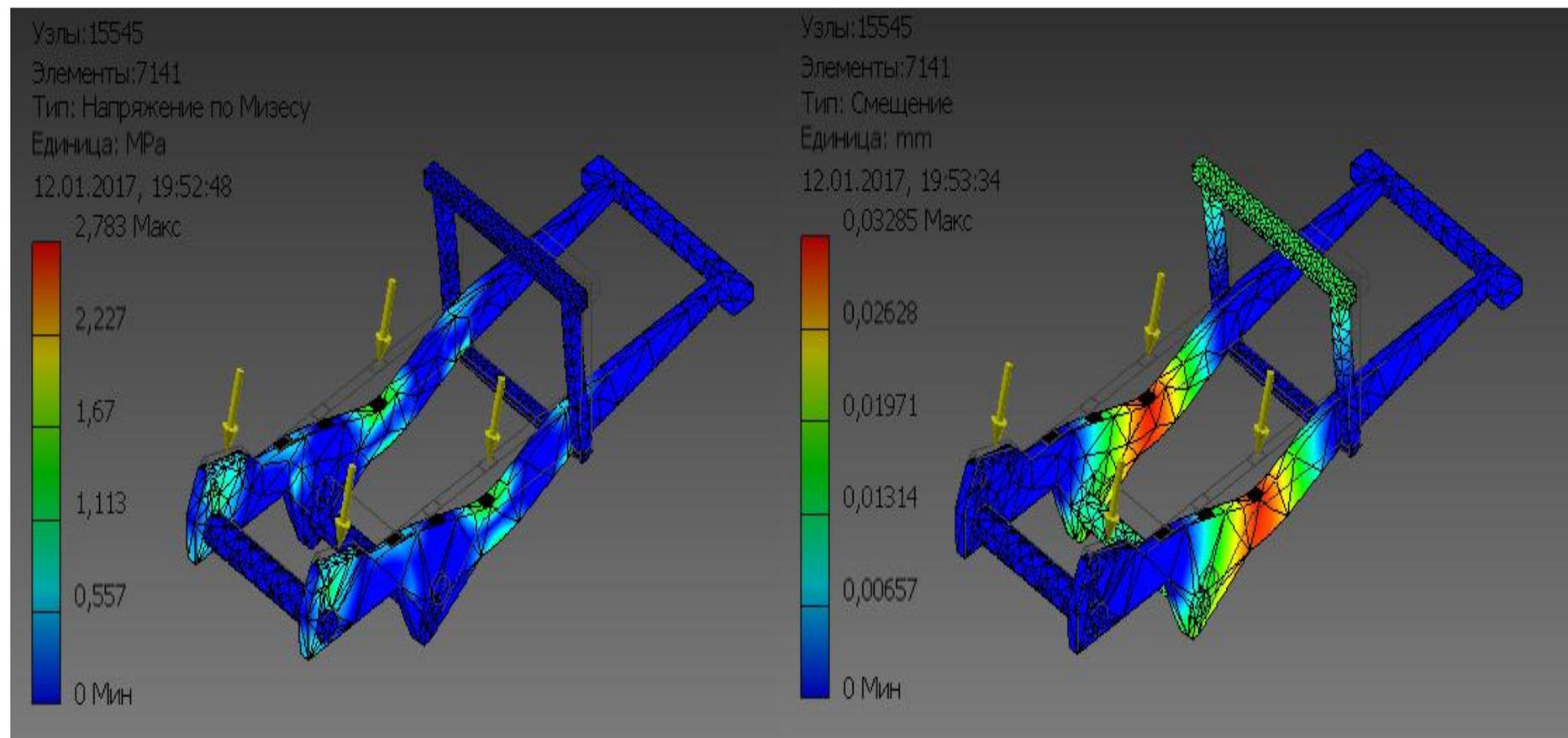


Рисунок 4.10 - Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке второго ковша без опор

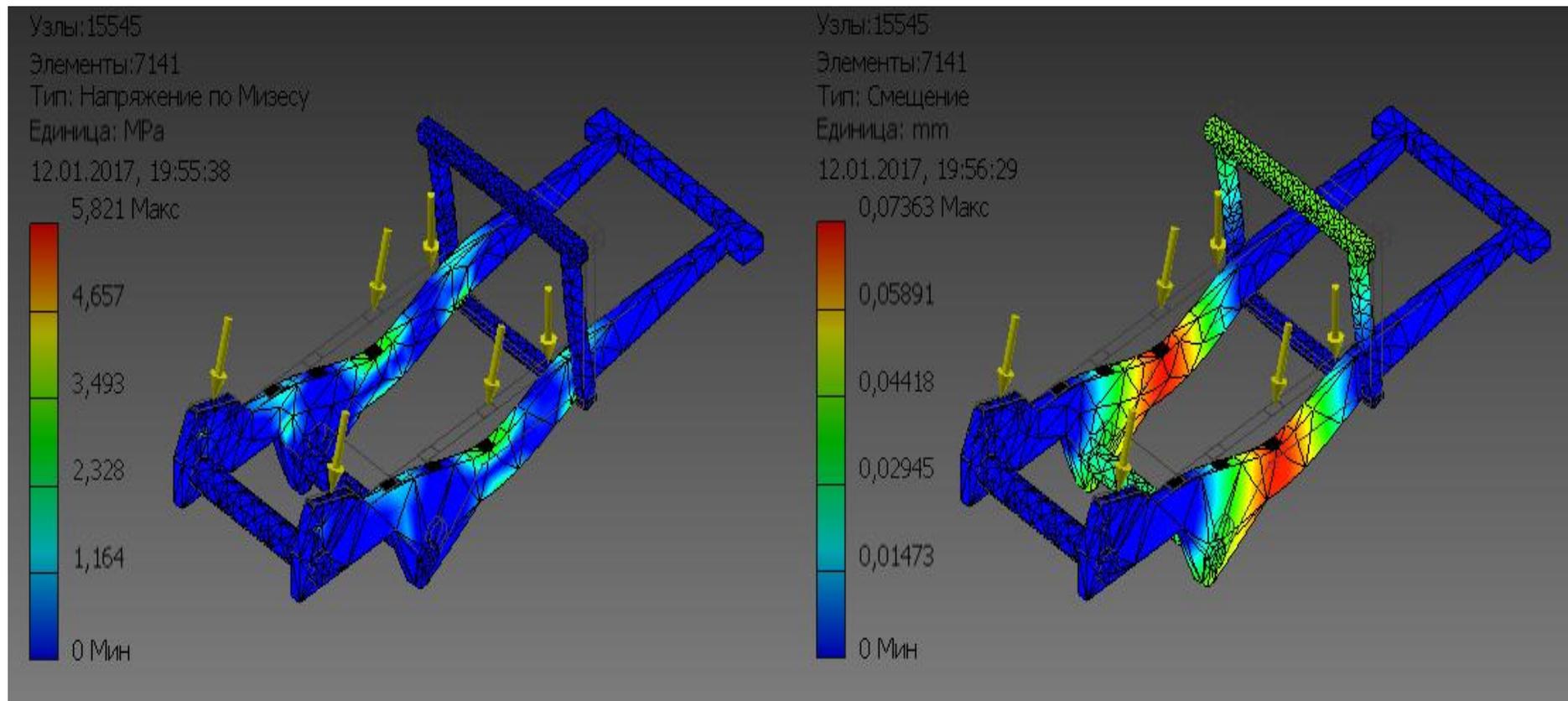


Рисунок 4.11 - Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке третьего ковша без опор

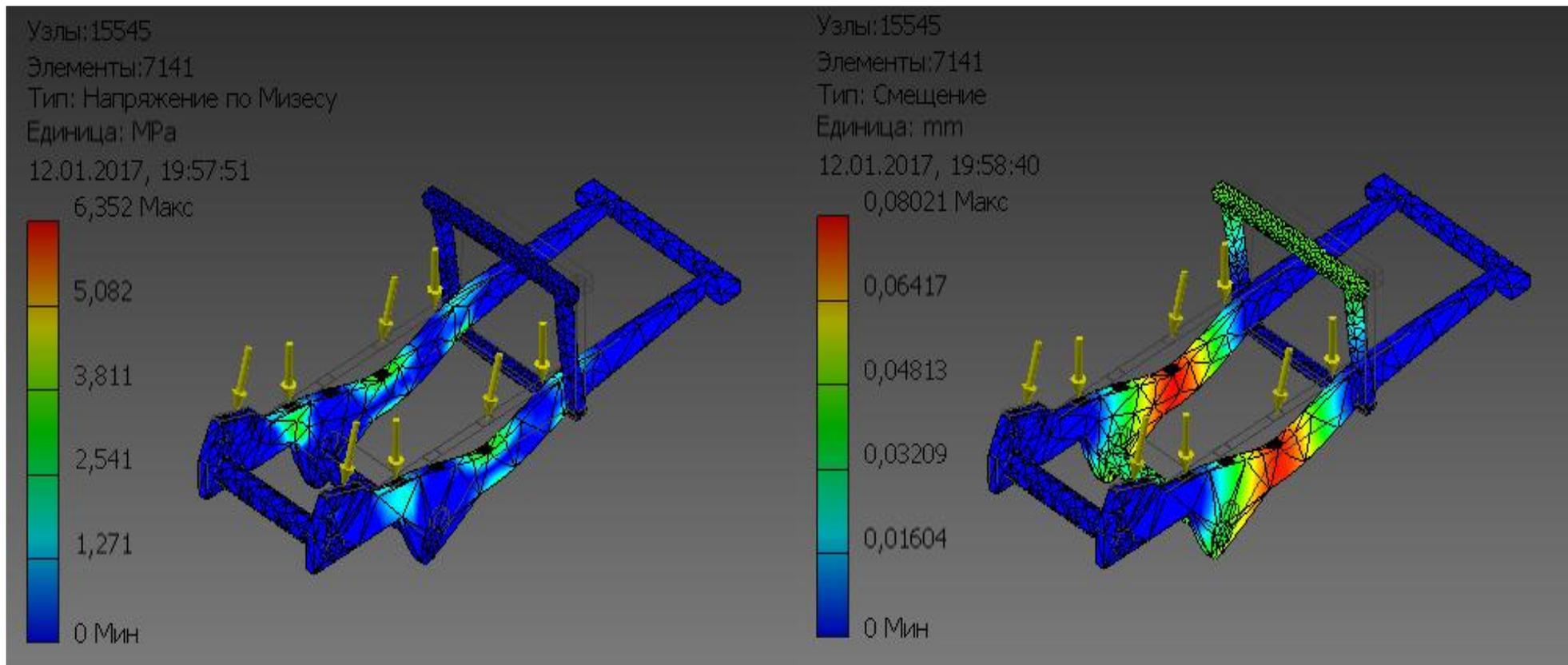


Рисунок 4.12 - Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке четвертого ковша без опор

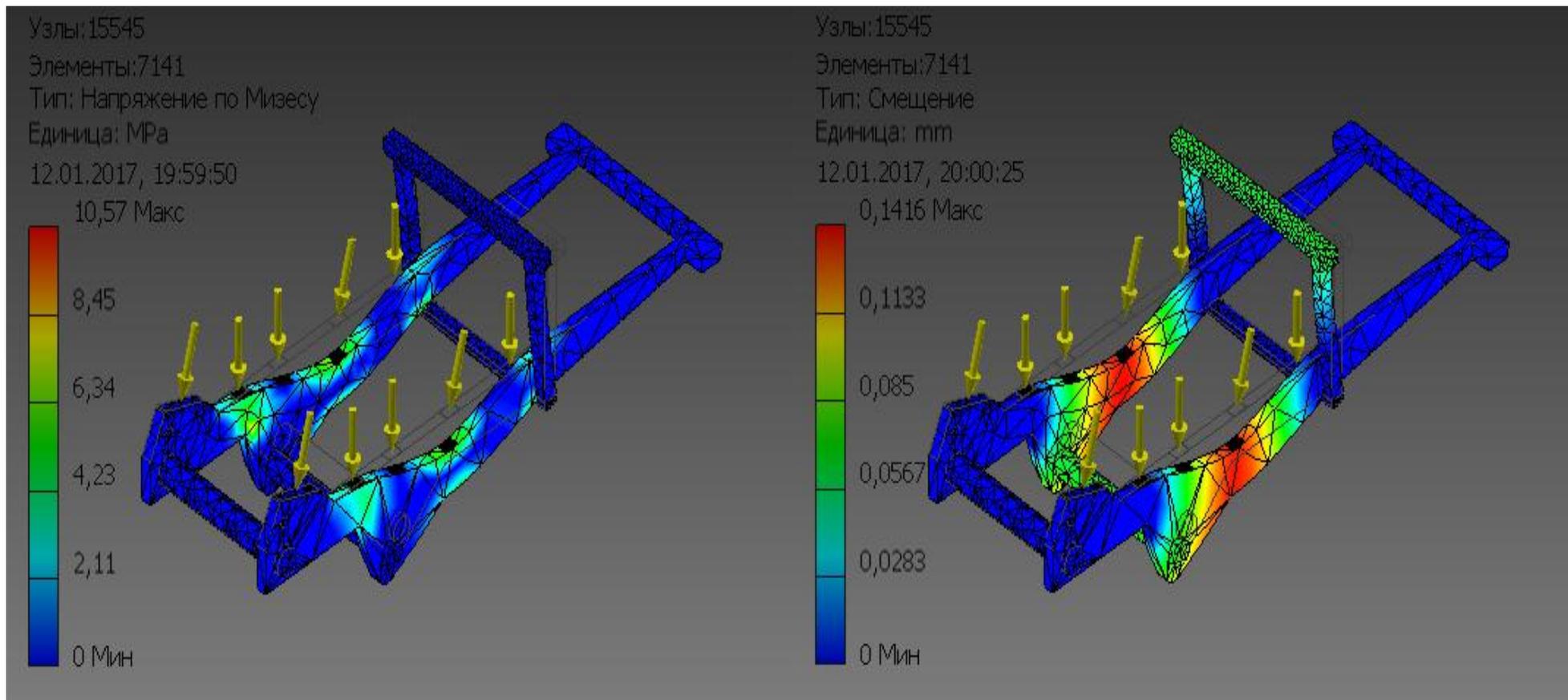


Рисунок 4.13 - Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке пятого ковша без опор

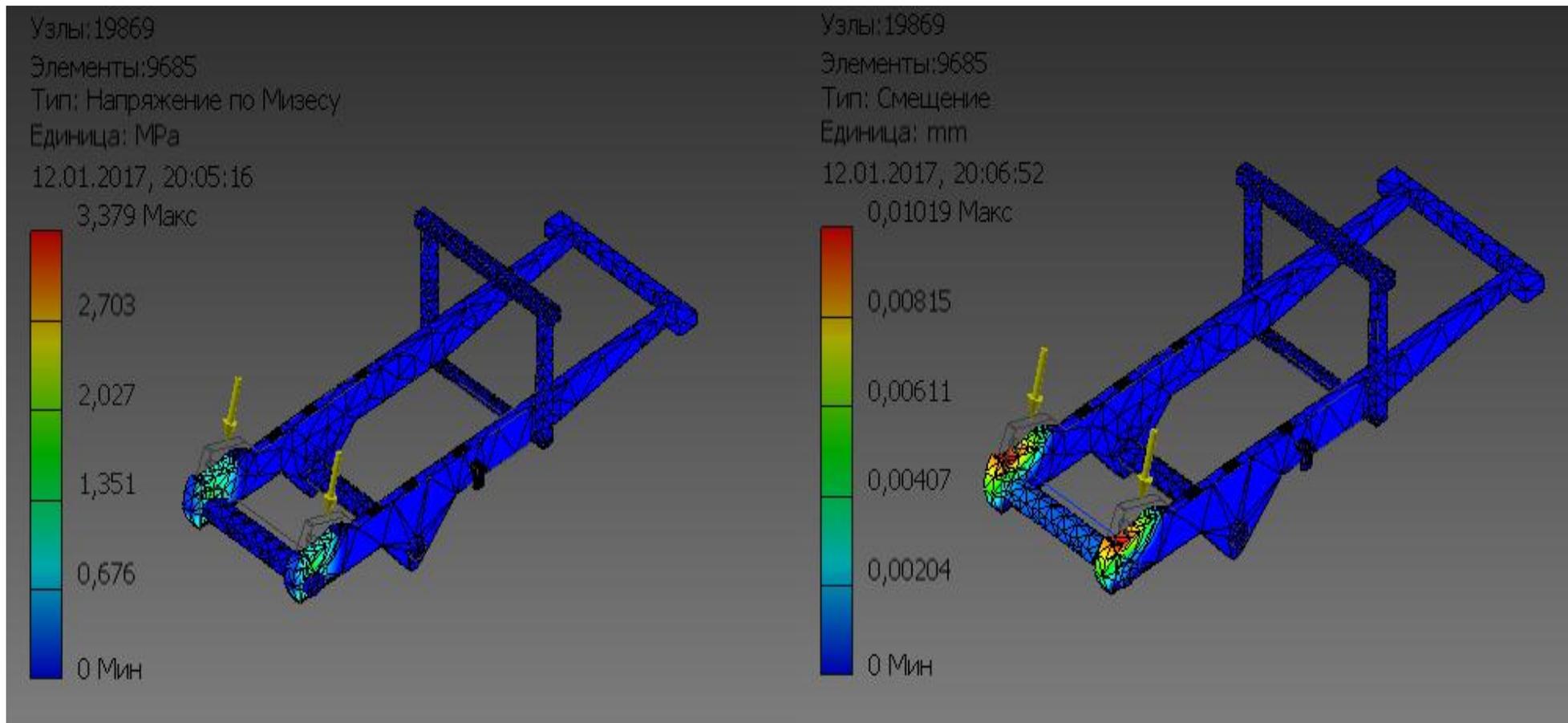


Рисунок – 4.14 Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке первого ковша с опорами

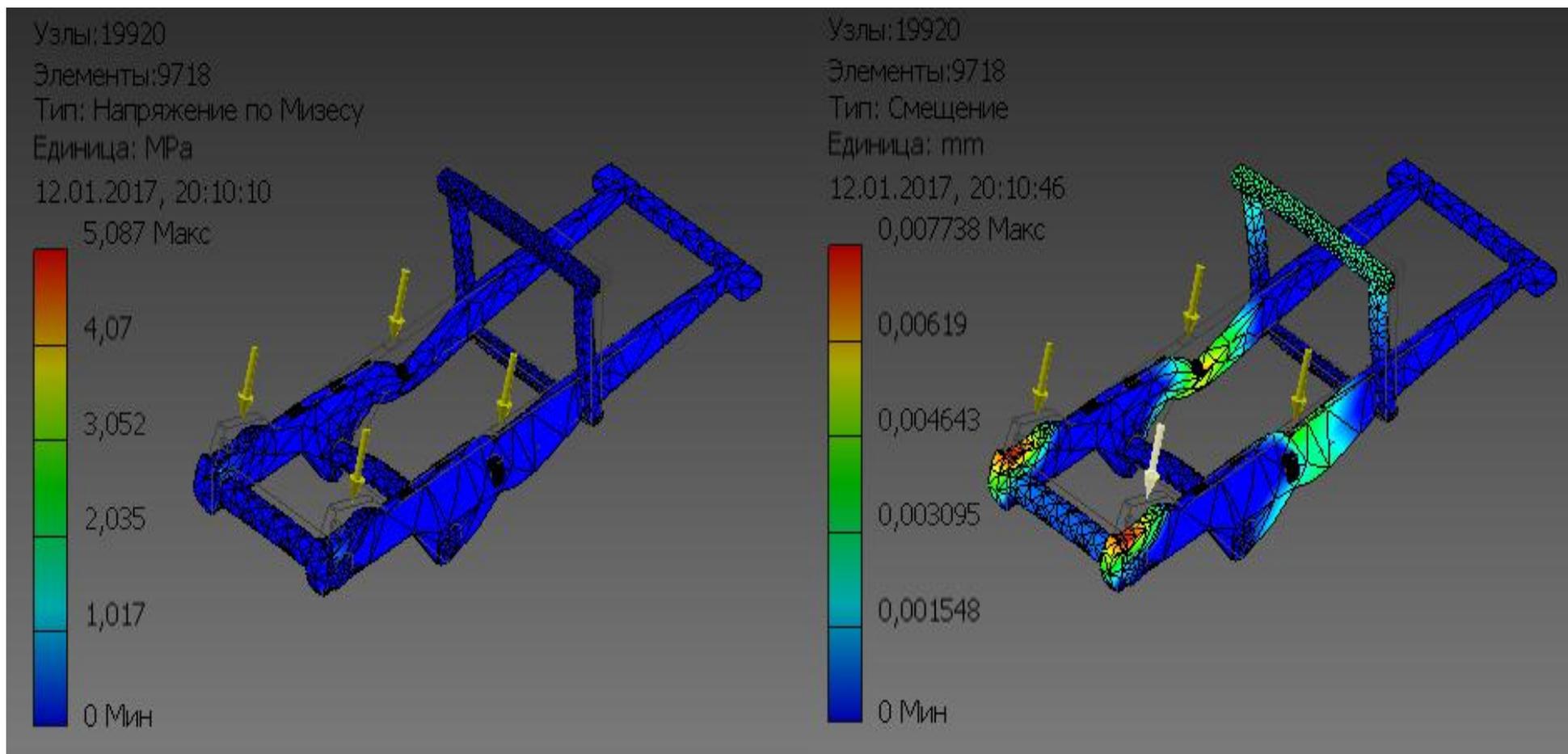


Рисунок – 4.15 Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке второго ковша с опорами

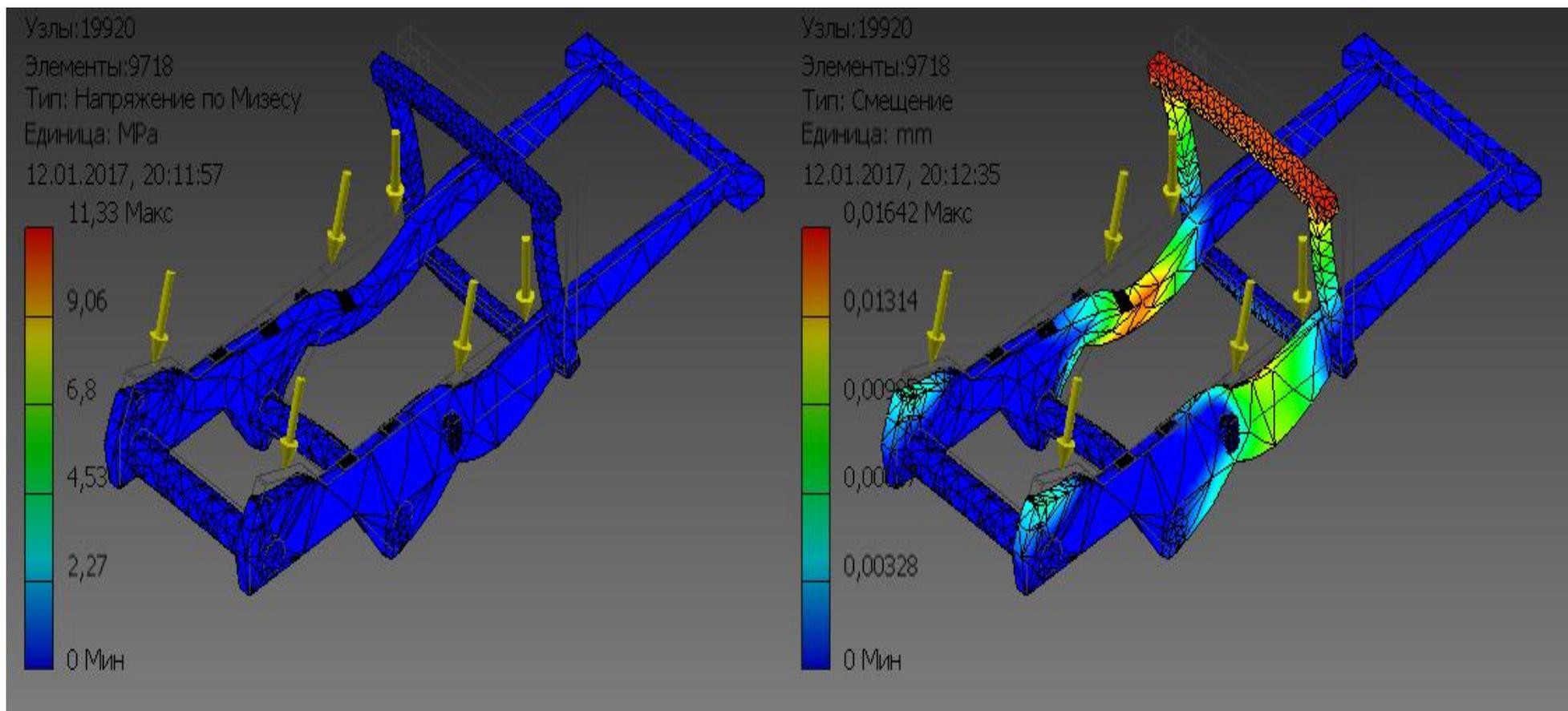


Рисунок – 4.16 Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке третьего ковша с опорами

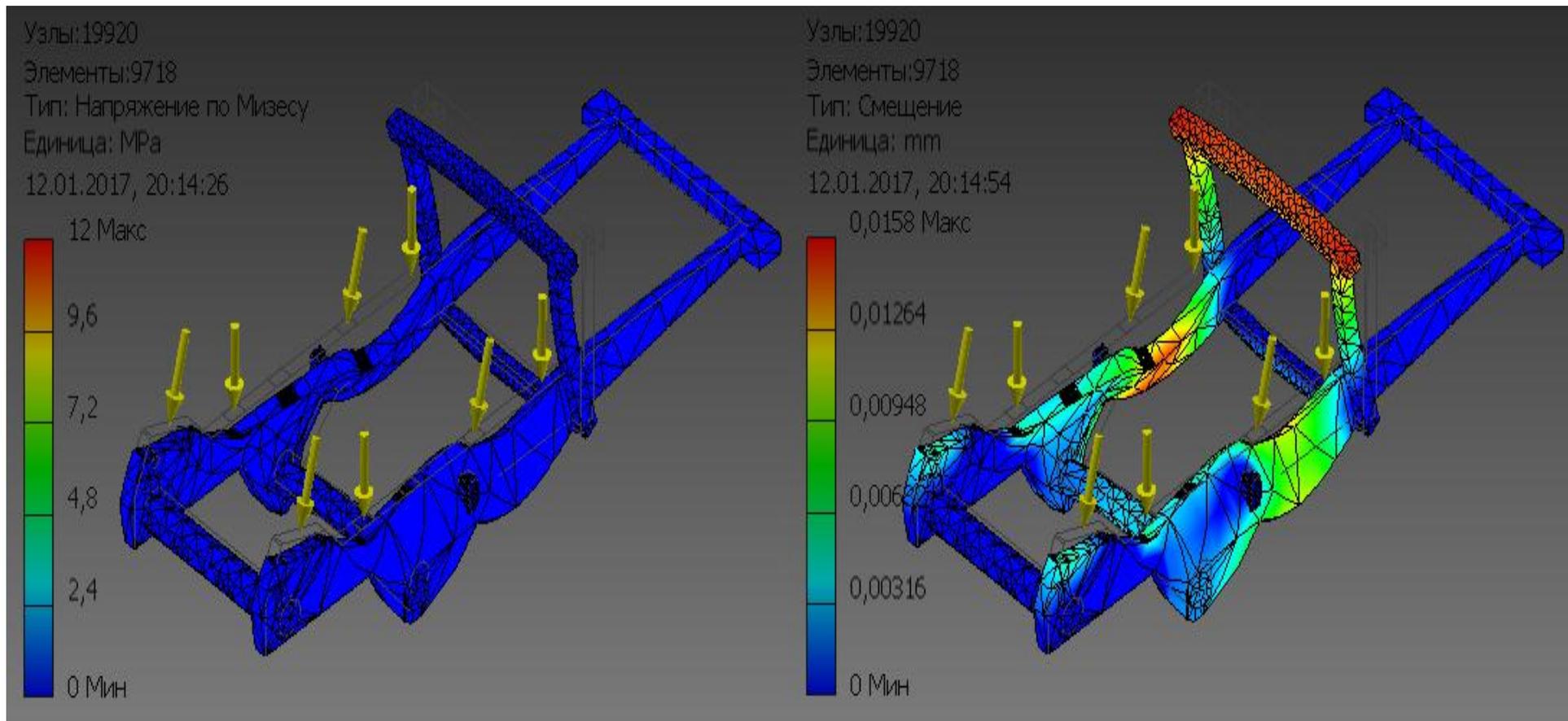


Рисунок – 4.17 Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке четвертого ковша с опорами

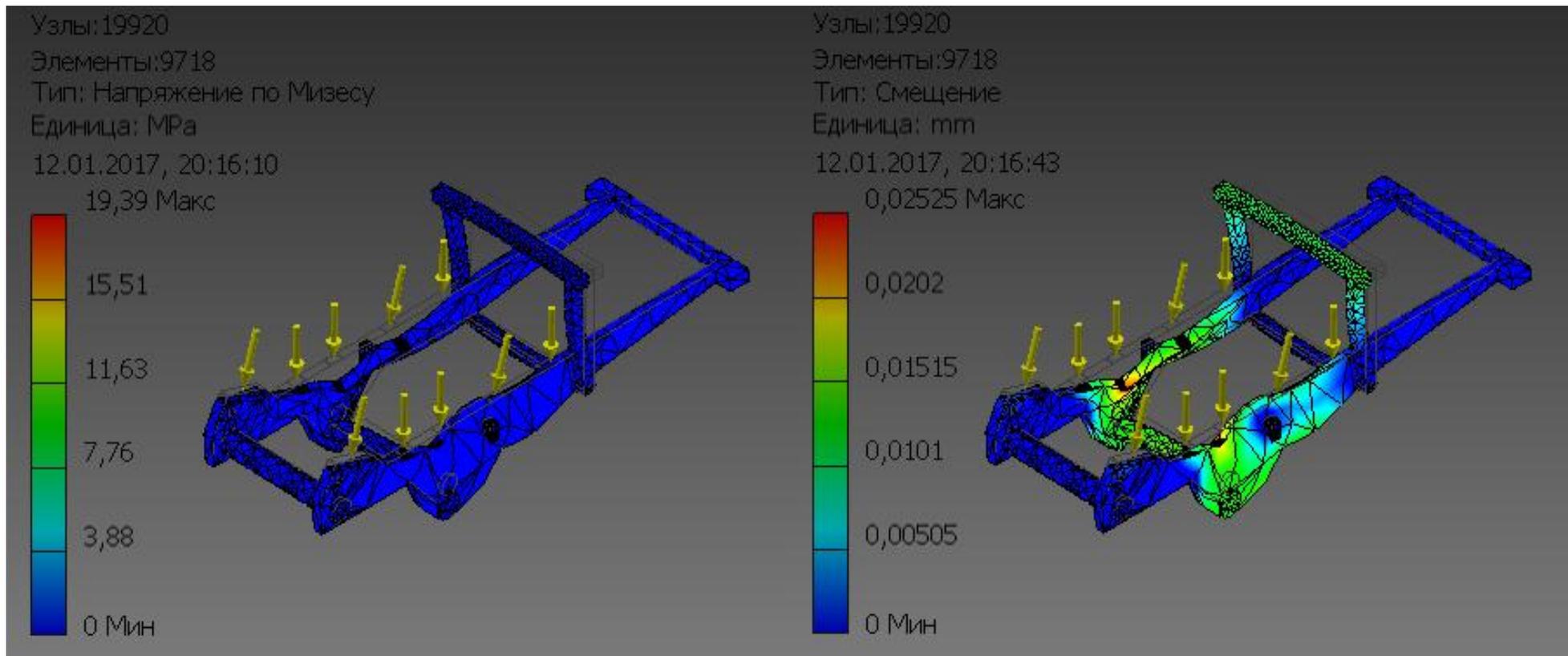


Рисунок – 4.18 Напряжения, действующие на раму самосвала при погрузке пятого ковша с опорами

Результаты моделирования НДС рамы с опорами и без опор приведены в таблице 4.4. По полученным расчетным данным можно сказать что, применение опор уменьшит напряжения в раме.

Таблица 4.4 Напряжения в раме автосамосвала от очередности загрузки

Тип экскаватора	№ ковша	Напряжения, МПа	
		Без опор	С опорами
ЭКГ-12,5	1	3.4	3.1
	2	5.1	2.8
	3	11.3	5.8
	4	12	6.4
	5	19.4	10.6

Основным препятствием для использования высокоэффективных карьерных автосамосвалов малой грузоподъемности в комплексе с мощными и эффективными экскаваторами являются динамические нагрузки [68].

Динамические нагрузки, действующие на опорные конструкции автосамосвала при загрузке экскаваторами, значительно превосходят нагрузки, возникающие в процессе движения автосамосвала. Поэтому, для увеличения прочности и надежности опорной конструкции самосвала конструкторы увеличивают сечения несущих балок и применяют более прочные материалы, что в свою очередь ведет к увеличению массы, металлоемкости, стоимости и общих эксплуатационных затрат [78]. Если оценивать конструкцию автосамосвала с точки зрения коэффициента тары (отношения массы машины к массе перевозимого груза), то в среднем для карьерных автосамосвалов любой грузоподъемности он составляет 0,7.

Кроме того, для снижения динамических нагрузок на опорные конструкции самосвала весь объем загружаемого в кузов самосвала груза разделяется на несколько равных частей определяемых паспортом загрузки. Основным ограничением минимального количества загружаемых ковшей является прочность несущей конструкции автосамосвала. Количество таких частей колеблется от 4 до 10, эта цифра зависит от объема ковша экскаватора, плотности и кусковатости перевозимой горной массы. Паспорт загрузки самосвала обычно составляется маркшейдерской службой карьера и является документом, определяющим объем перевозимого груза, его расположение на платформе в зависимости от плотности породы, угла естественного откоса и степени разрыхленности (кусковатости).

В паспорте загрузки учитываются также требования соблюдения правил эксплуатации самосвалов и содержания дорог, расположение груза в кузове (расстояние от кромки пола, бортов, высота «шапки») должно исключить просыпание породы на дорогу [79].

Машинист экскаватора загружает автосамосвалы в строгом соответствии с паспортом загрузки. Машинисты обеспечиваются паспортами загрузки всех марок самосвалов, эксплуатирующихся на карьере.

Причем, в соответствии с паспортом загрузки каждый ковш должен разгружаться в определенной точке кузова. Ниже представлен паспорт загрузки автосамосвала грузоподъемностью 130 т для Качарского карьера выполненный в соответствии с заданием технического отдела эксплуатирующего предприятия [69, 70].

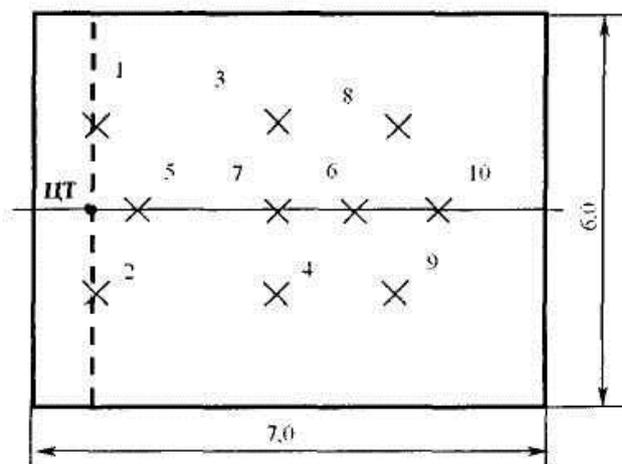


Рисунок 4.19 - Схема загрузки кузова автосамосвала: ЦТ - центр тяжести; 1-10 - очередность разгрузки ковшей в кузов автосамосвала

Естественно, что при загрузке автосамосвала в соответствии с паспортом увеличивается время загрузки и снижается производительность работы транспорта. Учитывая то, что время цикла экскаватора в среднем составляет порядка 30 секунд, время загрузки автосамосвала грузоподъемностью 130 т для Качарского карьера составит минимум 300 секунд или 5 минут. Если длина транспортирования горной массы менее 3 км, то время погрузки будет занимать до 30% от всего времени рейса. Очевидно, что уменьшение времени загрузки ведет к увеличению производительности и эффективности работы всего автомобильно-экскавационного комплекса.

Одним из возможных путей снижения динамических нагрузок на опорные конструкции самосвала может стать использование гидравлических домкратов воспринимающих нагрузку от падающей из ковша горной массы и передающих ее непосредственно на почву земляной поверхности. После разгрузки ковша, домкраты опускаются, плавно перенося всю нагрузку на опорные конструкции автосамосвала. Основным смыслом использования таких домкратов заключается в устранении действия динамических нагрузок от падающей из ковша горной массы на опорные конструкции самосвала. Опорные конструкции будут воспринимать только нагрузки, которые возникают при транспортировке горной массы.

Такое конструктивное решение позволит снизить нагрузки на опорные конструкции самосвала повысить надежность их работы. В результате снижения нагрузок становится возможным уменьшить сечения опорных балок, уменьшить металлоемкость, коэффициент тары и стоимость автомобиля.

Кроме того, использование поддерживающих домкратов позволит автосамосвалам работать в комплексе с экскаваторами большой мощности.

Работа автосамосвалов небольшой грузоподъемности с экскаваторами большой мощности позволит снизить объемы горно-подготовительных работ и капитальные затраты на создание всей транспортной инфраструктуры карьера [71].

4.3 Оценка эффективности внедрения результатов исследования

Экономическая эффективность является результативностью экономической системы, выражающаяся в отношении полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам.

Экономическая эффективность результатов исследований достигается сокращением или исключением простоев автосамосвалов при осуществлении транспортного процесса [83].

Решение поставленных в работе задач позволило определить оптимальное количества подвижного состава автосамосвалов для перевозки установленного объема горнорудной массы с минимальными затратами.

Для экономической оценки результатов внедрения разработанной методики определения оптимального количества подвижного состава необходимо сопоставить затраты до и после использования данной разработки.

Экономический эффект от внедрения результатов исследования находится по формуле:

$$A = (D - Z_{\text{экс}}) \cdot \Delta t_{\text{пр}} \quad (4.1)$$

где D – годовой доход, тг;

$Z_{\text{экс}}$ – годовые эксплуатационные затраты, тг;

$\Delta t_{\text{пр}}$ – сокращение времени простоев автосамосвалов за год, ч.

Исходные данные для расчета экономической эффективности взяты на Качарском карьере за 2016 год и представлены [84] в таблице 4.5.

Таблица 4.5 Исходные данные

Наименование параметра	БелАЗ–75145	БелАЗ–75131	САТ–777	HD–785	НИТАСИ ЕН 3500
Годовой объем перевозок, тыс. т	2228	2944,8	2689,7	2496,5	3309
Годовые эксплуатационные расходы, тыс. тг.	99615,6	123347,9	136528	99615,6	223265
Сокращение времени простоев самосвалов за год, ч	190,4	317,3	244,5	362,7	308,3

Годовая экономическая эффективность на 1 автосамосвал, рассчитанная по формуле (4.1), составила:

– для автосамосвала БелАЗ–75145

$$A = (2255494,5 - 99615,6) \cdot 0,02 = 43119,6 \text{ тыс. тг}$$

– для автосамосвала БелАЗ–75131

$$A = (2981141,9 - 123347,9) \cdot 0,036 = 102880,6 \text{ тыс. тг}$$

– для автосамосвала САТ–777

$$A = (2722890,9 - 136528) \cdot 0,039 = 100868,2 \text{ тыс. тг}$$

– для автосамосвала HD–785

$$A = (2527309,2 - 99615,6) \cdot 0,04 = 97107,7 \text{ тыс. тг}$$

– для автосамосвала НИТАСНІ ЕН 3500

$$A = (3349836,64 - 223265) \cdot 0,035 = 109430 \text{ тыс. тг}$$

Общая расчетная экономическая эффективность

$$A = (43119,6 + 102880,6 + 100868,2 + 97107,7 + 109430) = 453406,1 \text{ тыс. тг}$$

Полученная экономическая эффективность, рассчитанная на 1 автосамосвал, позволяет рассчитать эффективность по всему парку самосвалов, используемых на Качарском карьере [85] для вывоза горнорудной массы.

Выводы к четвертому разделу:

Рекомендованы компьютерные расчетные модели для процесса загрузки автосамосвала взорванной горной массой которые дали возможность выполнить расчет элементов несущих металлоконструкций автосамосвала БелАЗ-7555В при погрузке экскаватором ЭКГ-12,5. При этом установлено, что динамические усилия в передних подвесках достигают до 150 кН, а задних подвесках до 139 кН что значительно выше допустимого. Установлено что, основным препятствием для использования высокоэффективных карьерных автосамосвалов малой грузоподъемности в комплексе с мощными и экскаваторами являются динамические усилия возникающие при погрузке горной массы, которые превышают допустимые на 30-40%, а размах возникающих при этом напряжений превосходит предел выносливости в 2-2,5 раза.

Для определения напряженно-деформированного состояния под действием приложенных к системе постоянных сил и оценку конструкции по допускаемым напряжениям без опор был сделан статический расчет НДС рамы автосамосвала БелАЗ-7547 и установлено при напряжении 10,57 МПа смещение 0,14 мм, с опорами при 19,39 МПа смещение уменьшается до 0,025 мм.

Разработанный комплекс для осуществления погрузки, содержащий шарнирно закрепленные на кузове автосамосвала телескопические гидродомкраты соответствующей грузоподъемности, позволяет повысить эффективность работы ЭАК, тем самым увеличить производительность карьера с имеющимся транспортным автомобильным составом.

Расчетный годовой эффект от внедрения методики оптимизации парка машин составил 453406,1 тыс. тг за счет снижения простоев автосамосвалов в течение рейса и сокращения времени простоев по ремонту металлоконструкций автосамосвалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований

В диссертационной работе дано новое решение научной задачи, заключающейся в установлении закономерностей влияния технико-эксплуатационных факторов на производительность карьерного автотранспорта и разработке, компьютерных математических моделей для установления напряженно-деформированного состояния металлоконструкций автосамосвалов при загрузке кузова горной массой, что позволяет значительно повысить производительность экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах РК, сократить расходы на транспортирование горной массы в карьерах и получить значительный экономический эффект.

Основные научные и практические выводы заключаются в следующем:

- выявлены основные факторы существенно влияющие на производительность экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров, в частности к ним относятся: расстояние транспортирования горнорудной массы; скорость и время движения автосамосвалов; время затрачиваемое на выполнение операций загрузки-разгрузки; подъезда под погрузку-разгрузку и ожидания в процессе погрузки; продолжительность простоев из-за выхода из строя металлоконструкций автосамосвалов;

- составлены однофакторные и двухфакторные аналитические модели влияния эксплуатационных факторов на производительность разных типов грузоподъемностей карьерных автосамосвалов, что позволяет выявить основной тренд по сокращению потерь времени в пунктах погрузки и разгрузки, внутрисменных простоев и простоев в течение рейса автосамосвалов;

- на основе статистических наблюдений впервые установлено, что первое аналитическое уравнение ожиданий автосамосвала в течение рейса является линейным и зависит только от общего времени рейса, а второе уравнение является нелинейным и зависит от интервалов погрузки автосамосвала экскаватором. В результате сокращения числа циклов погрузки становится возможным создавать экскаваторно-автомобильные комплексы из мощных экскаваторов и автосамосвалов небольшой грузоподъемности при этом повышается производительность автосамосвалов и снижаются капитальные затраты на создание транспортных коммуникаций;

- обоснована технологическая структура карьерных автопоездов, что позволяет повысить эффективность работы автомобильного транспорта, значительно сократить протяженность трассы, уменьшить объем горно-капитальных работ и их стоимость, уменьшить капитальные затраты на транспорт и его эксплуатацию, а также увеличить глубину отработки карьера и отказаться от подземной разработки нижних горизонтов месторождения;

- рекомендованы новые расчетные компьютерные модели, которые позволяют устанавливать напряженно-деформированного состояния

металлоконструкций в процессе загрузки кузова автосамосвала горной массой. С использованием компьютерных результатов расчетов разработан комплекс для осуществления погрузки, содержащий шарнирно закрепленные на кузове автосамосвала телескопические гидродомкраты соответствующей грузоподъемности, который позволяет повысить производительность работы экскаваторно-автомобильного комплекса на 15-20%.

Оценка полноты решений поставленных задач

В результате диссертационной работы выполнены все поставленные задачи:

- исследовано влияние технико-эксплуатационных условий работы карьера на производительность карьерных автосамосвалов;
- экспериментально обоснованы основные характеристики грузовых потоков карьеров, проведена оценка теоретического и фактического времени рейса, выявлены простои транспортных средств;
- разработана методика оптимизации перевозок горнорудной массы и состава парка с учетом технологических параметров карьера;
- изучены возможности увеличения продольных уклонов автомобильных дорог в карьере;
- определены, параметры статического и динамического нагружения металлоконструкций карьерных автосамосвалов в процессе погрузки отгружаемой взорванной горной массы;

Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов

На основании выполненных исследований:

- 1) Для сокращения числа циклов погрузки автосамосвалов для глубоких карьеров рекомендовано создавать экскавационно-транспортные комплексы из мощных экскаваторов и автосамосвалов небольшой грузоподъемности. В результате использования таких комплексов повышается их производительность и снижаются капитальные затраты на создание транспортных коммуникаций. А также появляется возможность дальнейшего наращивания производительности экскавационно-транспортных комплексов за счет увеличения объема ковша экскаватора вплоть до $157,5\text{м}^3$;
- 2) рекомендуется использование автосамосвалов в составе карьерных автопоездов, которые позволяют увеличить преодолеваемый уклон более 21%;
- 3) для интенсификации процесса транспортирования, рекомендуется использование автосамосвалов малой грузоподъемности совместно с мощными, высокопроизводительными экскаваторами.
- 4) установленный вектор оптимальных параметров автосамосвалов рекомендуется для рационального закрепления имеющегося количества автосамосвалов различных типов за экскаваторами, обеспечивающих минимальные потери времени рейса;
- 5) Для снижения динамических усилий возникающих при погрузке горной массы, которые превышают допустимые на 30-40%, а размах возникающих при этом напряжений превосходит предел выносливости в 2-2,5

раза рекомендуется оборудовать автосамосвалы выдвижными опорами, что позволит эффективно использовать автосамосвалы малой грузоподъемности в комплексе с мощными экскаваторами.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области

Результаты диссертационных исследований соответствуют современному научно-техническому уровню. Основные экспериментальные исследования получены с использованием современного технологического оборудования, методик и прикладных программ. Выводы и рекомендации основаны на производственно-экспериментальных данных и на аналитическом решении задач.

Научная новизна и оригинальность работы подтверждается уникальностью и универсальностью предлагаемой в работе методики оценки воздействия динамической и статической нагрузок в процессе погрузки автосамосвала с помощью математического моделирования с использованием прикладных программ «Autodesk Inventor Professional 2018», «Universal Mechanism».

Научная новизна диссертационной работы:

- предложена новая методика обоснования рациональной структуры распределения автосамосвалов по экскаваторам, которая в отличие от известных позволяет учитывать не только оценку влияния различных технико-эксплуатационных факторов, но и долговечность, и живучесть металлоконструкций автосамосвалов, что позволит уменьшить простои автомобильно-экскаваторного комплекса, повысить объемы перевозимой горнорудной массы и как следствие, снизить себестоимость добычи полезных ископаемых;

- разработан универсальный программный продукт по оптимизации процесса транспортирования горной массы путем интенсификации процесса погрузки, использования автосамосвалов малой грузоподъемности с выдвижными опорами совместно с мощными, высокопроизводительными экскаваторами;

- составленная новая математическая модель загрузки кузова автосамосвала, отличается тем, что впервые позволяет выявить закономерности изменения напряженно-деформированного состояния металлоконструкций автосамосвала в зависимости от среднего размера кусков груза от 0,6 до 0,8. Установлено, что максимальные размахи динамических напряжений в несущих металлоконструкциях автосамосвала в процессе погрузки превышают допустимые на 30-40%, а размах напряжений превышает предел выносливости в 2-2,5 раза и описывается полиномом второй степени.

Разработанные методики, рекомендации и программные модули применимы для:

- установления рациональных параметров рейсовой работы автомобильно-экскаваторных комплексов на карьерах РК;

-оценки напряженно-деформированного состояния металлоконструкций автосамосвалов различной грузоподъемности с целью сокращения простоев на ремонт и увеличения ресурса автосамосвалов на карьерах РК;

- проектирования транспортных комплексов карьеров с различными грузоподъемностями автосамосвалов и схем транспортирования на открытых горных работах.

Использование рекомендаций по учету влияния горнотехнических факторов на производительность экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров, позволит повысить их технико-экономический уровень по энергетическим и экономическим показателям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мариев П.А., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт стран СНГ В XXI веке, Санкт-Петербург: Наука 2006, -С 8-10
2. Мариев П.Л., Анистратов К.Ю. «БелАЗ» и современные тенденции развития карьерного автотранспорта // Горная промышленность. 2001, №6
3. Мариев П.А., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт состояние и перспективы, Санкт-Петербург: Наука 2004, -С 88-102
4. Василев М.В., Сироткин З.Л., Смирнов В.П. Автомобильный транспорт карьеров, Недра: Москва 1973, 165-173С
5. Егоров А.Н. Совершенствование конструкции самосвалов БелАЗ// Горный журнал 2004. Спецвыпуск
6. Егоров А.Н. Перспектива развития конструкций карьерных автосамосвалов «БелАЗ» // Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте. Екатеринбург, 2003
7. Тарасов А.П. Применение троллейбусов на современных открытых горных работах.: – Екатеринбург, 2008. -2с.
8. Горная энциклопедия. В 5 т. – М.,: 1984-1991.
9. Ксенович В.И. Карьерный троллейбусный транспорт и вопросы экологии// // Горный журнал. – 1998. – С. 22-24.
10. Яковлев В.Л. Дизель троллейбусный транспорт на карьерах / Смирнов В.П., Лель Ю.И., Горшков Э.В. – М.: Академия, 2003. - 304 с.
11. Dave Hutnyak «Trolley history» [Электронный адрес] – Режим доступа: <http://hutnyak.com/Trolley/trolleyhistory.html#QCM>
12. Степнук О.Г., Зуенок А.С. Дизель троллейбусный транспорт БЕЛАЗ: перспективы использования в горном производстве// Горный журнал. – М: 2013. -№1. - С 52-54.
13. Волков Е.В., Ахметова М.И. Перспективы использования электрифицированных автосамосвалов в карьерах// Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». - Россия, Магнитогорск, -2017, 70-76 с.
14. Кулешов, А.А. Теоретические основы высокоэффективной эксплуатации мощных систем карьерного автотранспорта: дис. ... д-ра техн. наук/ А.А. Кулешов. – М.: Изд-во МГИ, 1982. – 298 с.
15. Артманов П.В. Оценка долговечности несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов с использованием системы спутникового мониторинга GPS: диссертация кандидата технических наук/ П.В. Артманов. – Кемерово, -2010 – 124 с.
16. Зырянов И.В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. /Зырянов И.В./ Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.06 «горные машины». Санкт-Петербург 2006 - 378 с.

- 17.Смирнов В.П. Обоснование и оптимизация параметров технологического автомобильного транспорта рудных карьеров: Дис. докт. техн. наук. Новосибирск, 1990. - 298 с.
- 18.Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: канд. техн. наук/ М.В. Дадонов. – Кемерово, 1999. – 189 с
19. Буянкин, А.В. Комплексная оценка и прогнозирование показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: диссертация кандидата технических наук : 05.05.06 Кемерово, 2004 305 с. : 61 04-5/2795
- 20.Кузнецов И.В. Оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса: диссертация кандидата технических наук/ 05.05.06 Кемерово, - 2015 138 с
- 21.Осипов, О.В. Оптимизация программно-целевого планирования перевозок большегрузными карьерными автосамосвалами: диссертация кандидата технических наук /О.В. Осипов. – Оренбург: 2009. – 161 с.
- 22.Вуейкова, О.Н. Обоснование рациональной структуры автомобильно-экскаваторного комплекса открытого горнорудного карьера: диссертация кандидата технических наук// О.Н. Вуейкова. – Оренбург: 2013. – 166 с.
- 23.Голоскоков Е.Г., Баркалов В.И., Омшанский В.П. Колебания подвески автомобиля при ударном нагружении его сыпучей средой // Автомобильная промышленность, 1971, № 11, С. 28-29.
- 24.Гольд Б.В., Оболенский Е.П. Прочность и долговечность автомобилей -М.: Машиностроение, 1974, 345 с.
- 25.Цимбалин В.Б. и др. Испытание автомобилей. - М.: Машиностроение, 1978, 199 с.
- 26.Дьяков И.Ф. Влияние микропрофиля дорог на повреждаемость конструкций. //Автомобильная промышленность, 1980,№ 6, С. 18-19.
- 27.Пархиловский И.Г. Спектральные плотности распределения неровности микропрофиля дорог и колебания автомобиля // Автомобильная промышленность, 1967, № 10.
28. Певзнер Я.М., Тихонов А.А. Исследование статистических свойств микропрофиля основных типов автомобильных дорог // Автомобильная промышленность, 1964, № 1.
- 29.Астров В.А., Ковицкий В.И., Кутеиев В.Ф. Качество дорожного полотна и эксплуатационные свойства АТС. // Автомобильная промышленность, 1985, №10, С. 16-17.
30. Афанасьев В.Л., Хачатуров А.А. Статистические характеристики микропрофиля автомобильных дорог и колебания автомобиля. // Автомобильная промышленность, 1966, № 12, С. 23-27.
- 31.Островцев А.Н., Трофимов О.Ф., Красиков В.С. Принципы классификации микропрофиля дорог с учетом повреждающего воздействия их на конструкции автомобиля // Автомобильная промышленность, 1979, № 1, С. 8-10.

32. Шевченко А.И., Дмитриченко С.С. Особенности учета неровности пути при оценке нагруженности несущих систем автомобилей и других машин. // Автомобильная промышленность, 1968, № 5, С. 27-28.
33. Красноштанов Р.Ф. Технологический транспорт на карьерах / Р.Ф. Красноштанов, И.В. Зырянов // Горный журнал. - 1994. - № 9. - С. 30-33.
34. Паначев И.А. Анализ технического состояния технологических автомобилей БелАЗ на разрезах Кузбасса / Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2006. Материалы XI Международной науч-но-практической конференции, 23-24 ноября 2006 г. - Кемерово: ГУ Куз- ГТУ, 2006.-С. 211-212.
35. Астахова Т.В. Повышение долговечности рам карьерных автосамосвалов на основе исследования напряженно-деформированного состояния. /Т.В. Астахова// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06-«горные машины». Красноярск 2007.
36. Вуейкова, О.Н. Обоснование рациональной структуры автомобильно-экскаваторного комплекса открытого горнорудного карьера: диссертация кандидата технических наук// О.Н. Вуейкова. – Оренбург: 2013. – 57-80 с.
37. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов/ Н.Ш. Кремер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2004.– 573 с.
38. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – СПб.: ВНУ– Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.
39. Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75131 и его модификации/ Руководство по ремонту 7513-3902080 РС: Республика Беларусь, -2007, -208 с.
40. Андреева Л. И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук / Л. И. Андреева. – Екатеринбург, 2004. – 297 с.
41. Богданов А.П., Гайнулин А.А., Левкович Р.В., Наумов Д.С., Иванов Ю.Д., Окулов К.Ю./ Дефекты рам большегрузных самосвалов: ООО «Единый Технический Центр, эксперт, - 2017
42. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. -М.: Недра. 1980, 317 с.
43. Abshayakov E.B., Stoplovskikh I.N.: SLEIPNER transport systems – advantages and problems of operation, Kazakh National Technical University K.I. Satpaev, Almaty, Republic of Kazakhstan
44. Dr.-Ing. Hans-Peter Zinke: Bergbaumaschinen und ihr Einsatz; Grin Verlag GmbH, 2016
45. J. Breuer: Einflussgrößen auf die Produktionsleistung von Hydraulikbaggern; Fachhochschule Köln, 2007
46. Цинке Х.П., Елемесов К.К., Столповских И.Н., Ахметова М.И./ Влияние конструктивных особенностей гидравлических экскаваторов на их производительность: Вестник КазННТУ им. К.И. Сатпаева, «КазННТУ», Алматы, 2017, № 6.- С. 480-486

47. Васильев М.В., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерного автотранспорта. Москва: Недра. 1979. -280 с
48. Дадонов М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления/ Дис. ... канд. техн. наук Кемерово. 1999. -189 с
49. Chanda Emmanuel K., Gardiner S. A comparative study of truck cycle time prediction methods in open-pit mining. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 17. 2010. P.446 – 460.
50. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта/ Вестник ОГУ. 2011. №10 (129). С. 20–25
51. Ларин О.Н., Вуейкова О.Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера/ Транспорт: наука, техника, управление. 2011. №1. С 29–32
52. Бахтурин Ю.А., Современное состояние карьерного транспорта/ Каталог-справочник, «Горная техника 2005», -С. 6–16
53. Самолазов А.В., Паладеева Н.И., Беликов А.А. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов//Горная Промышленность, №4 (86), 2009, -С.20
54. Самый большой в мире БелАЗ приступил к работе на Кузбассе. http://naviny.by/rubrics/economic/2014/08/22/ic_articles_113_186370
55. Terex RH 400 — самый большой экскаватор в мире. <http://vsenovoe.info/terex-rh-400-samyiy-bolshoy-ekskavator-v-mire/>
56. Кольга А.Д., Горячих В.Д. Современное развитие транспорта на горнопромышленных предприятиях//Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 4 (4). С. 115-120.
57. Ахметова М.И., Кольга А.Д., Елемесов К.К., Столповских И.Н. Возможности увеличения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах/ Горный журнал Казахстана, Алматы, 2018, №2. – С. 25-27
58. Агейкин Я.С., Кольга А.Д. Особенности взаимодействия с грунтом колеса, плоскость которого наклонена к оси вращения // Повышение экологичности и эффективности автомобиля: меж. вуз. сб. науч. тр. – М.: МАСИ (ВТУЗ-ЗИЛ), 1990. –С. 85–91.
59. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
60. Яковлев В.Л., Тюлькин В.П., Кармаев Г.Д. Технологические аспекты применения крутонаклонных конвейеров в горнорудной промышленности // Горный информационно-аналитический вестник. – М.: МГГУ-МГИ, 2002. – С. 211–217.
61. Справочник механика открытых работ. Экскавационно-транспортные машины циклического действия / М.И. Щадов, Р.Ю. Подэрни, Е.Н. Углицкий [и др.]; под ред. М.И. Щадова, Р.Ю. Подэрни. – М.: Недра, 1989. – 384 с.

62. Kolga A.D., Rakhmangulov A.N, Osintsev N.A. Robotic transport complex of automotive vehicles for handling of rock mass at the process of open cast mining // *Transport Problems*. – 2015. – Vol.10, № 2. – P. 109–116
63. Карьерные самосвалы БелАЗ 7555В, 7555Е и их модификации. Руководство по эксплуатации 7555В – 3902015 РЭ [Текст]. – Республика Беларусь. - 25-2 с
64. УОКОНАМА Шины 24.00R35 (24.00-35) TL RB42 E4 * * 209В
65. Рудь, Ю.С. & Радченко, И.С. & Белоножко, В.Ю. & Ткаченко, А.С. Теория движения карьерных самосвалов при кинематическом возбуждении колебаний его механических систем от неровностей дорожного полотна. Разработка рудных месторождений. 2011. No. 94. P. 1-5.
66. Рудь, Ю.С. & Радченко, И.С. & Белоножко, В.Ю. Исследование колебательных процессов в системе «Карьерный самосвал – технологическая дорога». Восточно – Европейский журнал передовых технологий. 2014. No. 1/7 (67). P. 35-44
67. Шимкевич Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. - М.: ДМК Пресс, 2001
- 68.Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Кольга А.Д. Обеспечение своевременности грузовых перевозок в транспортно-технологических системах // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 115–121.
69. Мариев П.Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы/А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
70. Коптев В.Ю. Обоснование выбора эффективной модели карьерного автосамосвала [Электронный ресурс] // *Современная техника и технологии*. – 2014. – № 5. – URL: <http://technology.snauka.ru/2014/05/3850>.
71. Халецкий В.В., Ахметова М.И. Карьерные автопоезда на открытых горных работах / *Материалы III Международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика» -2016*», Россия, Пермь, 2016 г. С. 60-64
72. Кольга А.Д., Столповских И.Н., Московка Е.В., Ахметова М.И. / *Возможности использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов на открытых горных работах: Горный журнал Казахстана*, Алматы, 2016, №2. – С. 25-27
73. Вуейкова, О.Н., Сладковский А., Столповских И.Н., Ахметова М.И. Усовершенствование парка автомобильного транспорта при перевозке горнорудной массы в карьерах/ *Transport Problems*, Польша, г. Катовице 2016 Volume 11 Issue 1 s.79-85
74. Ахметова М.И., Халецкий В.В., Утегенова Э.Е. Карьерные автопоезда на открытых горных работах:/ *Сборники научных трудов «Международной научно-практической конференции «Геологоразведочное нефтегазовое дело XXI – веке: технологии, наука, образование»*, Алматы, 2016, С. 179-182

75. Ахметова М.И., Халецкий В.В., Утегенова Э.Е. Выносные опоры для снижения динамических нагрузок на опорные конструкции карьерных автосамосвалов.: Сборники научных трудов «Международной научно-практической конференции «Геологоразведочное нефтегазовое дело XXI – веке: технологии, наука, образование», Алматы, 2016, - С. 125-127

76. Ахметова М.И., Столповских И.Н. Способ снижения динамических нагрузок на опорные конструкции автосамосвала: Материалы международной конференции «Сатпаевские чтения» КазНИТУ имени К.И. Сатпаева. Алматы-2018 –С 50-52

77. Васильев, М.В. Основные вопросы развития открытых разработок с автомобильным транспортом. Автореферат на соиск. уч. степени д-ра техн. наук. М., Фонды МГИ, 1961.

78. Васильев, М.В. Основные направления повышения эффективности автомобильного транспорта на открытых горных работах. Сб. трудов. Транспорт шахт и карьеров, (под ред. А.О. Спиваковского) М.: Недра, 1972, с. 440-445.

79. Васильев М.В. и др. Рациональные сроки службы карьерных автосамосвалов. М.: 1984. - 26 с.

80. Васильев М.В. Современный карьерный транспорта. Изд. 2-е. М.: Недра, 1969.-304 с.

81. Вахламов, В.К. Техника автомобильного транспорта. Подвижной состав и эксплуатационные свойства: учебник / В.К. Вахламов. М.: Академия, 2004. – 528 с.

82. Вуейкова, О.Н. Современное состояние карьерного автотранспорта на АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Роль стратегии индустриального развития Республики Казахстан в условиях глобализации: проблемы и перспективы: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Рудный, 2009. – Т. 1. – С.

83. Вуейкова, О.Н. Особенности эксплуатации карьерного автотранспорта в условиях АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Проблемы и перспективы развития Евроазиатских стран: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Челябинск, 2009. – С. 87–89.

84. Вуейкова, О.Н. Анализ технико-эксплуатационных показателей карьерного автотранспорта АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Проблемы и перспективы развития Евроазиатских стран: сб. докладов втор. междунар. научно-практ. конференции. – Челябинск, 2010. – С. 23–28.

85. Вуейкова, О.Н. Анализ технико-эксплуатационных факторов работы карьерных самосвалов АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Алдамжаровские чтения – 2010: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Костанай, 2010. – С. 43–48.

86. Голованенко, С.Н. Экономика автомобильного транспорта: учебник для ВУЗов по спец. «Экономика и организация автомобильного транспорта»/ С.Н. Голованенко. – М.: Высшая школа, 1983. – 352 с.

87. Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: канд. техн. наук/ М.В. Дадонов. – Кемерово, 1999. – 189 с.
88. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – СПб.: ВHV– Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.
89. Ларин, О.Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта сарбайского карьера/ О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова// Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №1. – С 29–32.
90. Ларин, О.Н. Оценка влияния горнотехнических факторов на эксплуатационные параметры карьерных автосамосвалов/ О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова// Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №7. – С 34–36.
91. Ларин, О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта/ О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова// Вестник ОГУ. – 2011. – №10 (129). – С. 20–25.
92. Лель, Ю. И. Теоретические основы выбора карьерного транспорта рудных карьеров: дис. ... д-ра техн. наук/ Ю.И. Лель. –М.: 1978. – 421 с.
93. Мариев П.Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы: учебник/ П.Л. Мариев и [и др.]; отв. ред. А.А. Кулешов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
94. Сироткин З. Л. Надежность карьерных автосамосвалов.- М., 1974. - 71 с
- 95.Смирнов В.П., Лель Ю.И: Теория карьерного большегрузного транспорта. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - 355 с.
- 96.Теория механических колебаний. Бидерман В.Л. Издательство: Высшая школа,1980.
- 97.Зырянов Н.В. Методика определения влияния условий эксплуатации на долговечность конструкций карьерных автосамосвалов /Зырянов Н.В.// Цветная металлургия. - 1994. - № 4-5. - С. 22 - 23.
- 98.Зырянов Н.В. Определение влияния динамических нагрузений на ресурс карьерных автосамосвалов / Зырянов Н.В.// Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, по специальности 05.05.06 «горные машины». - СПб.-1995.-20 с.
99. Артамонов П.В. Расчет напряженно-деформированного состояния' элементов- несущих металлоконструкций-, карьерных автосамосвалов в' среде T-FLEX. / Артамонов-П.В.// -Вестник КузГТУ.-Кемерово, 2010,- №4-С. 15-18.
100. Артамонов П;В. Влияние характеристик отгружаемой взорванной горной, массы, на механическую нагруженность металлоконструкций карьерных автосамосвалов.- / Артамонов П.В.//Известия вузов. Горный; журнал - Екатеринбург 2010-№4.с 90-95.
- 101.Артамонов П.В. Влияние эксплуатационных факторов на параметры, долговечности металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов. / Артамонов П.В.// Горное оборудование и электромеханика Москва, 2010-№5. с 43-47

102. Вуейкова, О.Н. Анализ технико-эксплуатационных факторов работы карьерных самосвалов АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Алдамжаровские чтения – 2010: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Костанай, 2010. – С. 43–48

103. Вуейкова, О.Н. Исследование параметров влияния на производительность карьерного автотранспорта на примере Сарбайского карьера АО «ССГПО»/ О.Н. Вуейкова// Алдамжаровские чтения – 2010: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Костанай, 2010. – С. 48–56

104. Вуейкова, О.Н. Исследование функциональных зависимости эксплуатационных параметров карьерных самосвалов от горнотехнических факторов/ О.Н. Вуейкова// Проблемы и перспективы развития Евроазиатских стран: сб. докладов трет. междунар. научно-практ. конференции. – Челябинск, 2011. – С. 55–61.

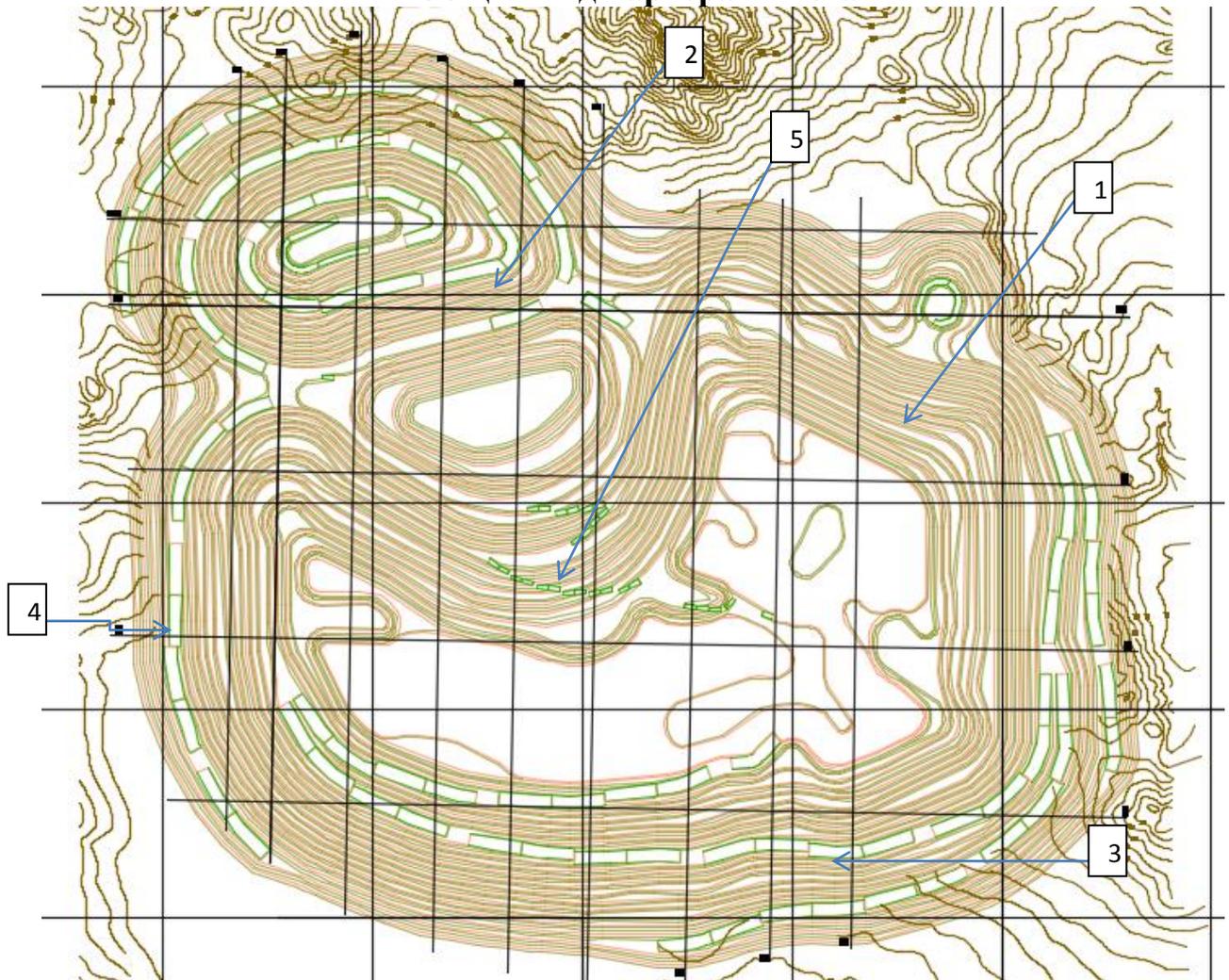
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема Качарского карьера



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Общий вид карьера Актогай



1 – основная чаша карьера; 2 – северо-западная чаша карьера; 3 – рудовозная транспортная берма в карьере; 4 - транспортная берма для вывозки вскрышных пород из карьера; 5 – вспомогательный автономный выезд из карьера для эвакуации персонала в аварийных ситуациях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ (РАССТОЯНИЕ
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ) ПО КАРЬЕРНЫМ САМОСВАЛАМ**

Расстояние транспортирования, км	Производительность, т/смену			
	БелАЗ-7514	БелАЗ-7513	САТ-777	НД-785
1	2	3	4	5
1,5	4783	5919	4185	4185
1,51	4756	5897	4174	4174
1,52	4732	5875	4162	4162
1,53	4727	5852	4151	4151
1,54	4689	5830	4139	4139
1,55	4673	5809	4128	4128
1,56	4652	5797	4117	4117
1,57	4663	5765	4105	4105
1,58	4636	5744	4094	4094
1,59	4627	5723	4083	4083
1,6	4592	5702	4072	4072
1,61	4562	5681	4061	4061
1,62	4564	5660	4050	4050
1,63	4547	5640	4039	4039
1,64	4530	5619	4028	4028
1,65	4513	5599	4017	4017
1,66	4496	5579	4007	4007
1,67	4469	5559	3996	3996
1,68	4452	5539	3985	3985
1,69	4435	5519	3975	3975
1,7	4419	5500	3964	3964
1,71	4402	5480	3954	3954
1,72	4386	5461	3944	3944
1,73	4370	5442	3933	3933
1,74	4354	5423	3923	3923
1,75	4338	5404	3913	3913
1,76	4322	5385	3903	3903
1,77	4307	5366	3892	3892
1,78	4291	5348	3882	3882
1,79	4276	5330	3872	3872
1,8	4260	5311	3862	3862
1,81	4245	5293	3852	3852
1,82	4230	5275	3843	3843
1,83	4215	5257	3833	3833
1,84	4200	5240	3823	3823
1,85	4185	5222	3813	3813
1,86	4171	5204	3804	3804
1,87	4156	5187	3794	3794
1,88	4142	5170	3784	3784
1,89	4127	5153	3775	3775

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

1	2	3	4	5
1,9	4113	5135	3766	3766
1,91	4099	5119	3756	3756
1,92	4085	5102	3747	3747
1,93	4071	5085	3737	3737
1,94	4057	5068	3728	3728
1,95	4043	5052	3719	3719
1,96	4029	5035	3710	3710
1,97	4016	5019	3701	3701
1,98	4002	5003	3691	3691
1,99	3989	4987	3682	3682
2	3975	4971	3673	3673
2,01	3962	4955	3664	3664
2,02	3949	4939	3656	3656
2,03	3936	4924	3647	3647
2,04	3923	4908	3638	3638
2,05	3910	4892	3629	3629
2,06	3897	4877	3620	3620
2,07	3884	4862	3612	3612
2,08	3872	4847	3603	3603
2,09	3859	4832	3594	3594
2,1	3847	4817	3586	3586
2,11	3834	4802	3577	3577
2,12	3822	4787	3569	3569
2,13	3810	4772	3560	3560
2,14	3797	4757	3552	3552
2,15	3785	4743	3543	3543
2,16	3773	4728	3535	3535
2,17	3761	4714	3527	3527
2,18	3749	4700	3518	3518
2,19	3738	4686	3510	3510
2,2	3726	4671	3502	3502
2,21	3714	4657	3494	3494
2,22	3703	4643	3486	3486
2,23	3691	4630	3478	3478
2,24	3680	4616	3470	3470
2,25	3668	4602	3462	3462
2,26	3657	4589	3454	3454
2,27	3646	4575	3446	3446
2,28	3635	4562	3438	3438
2,29	3624	4548	3430	3430
2,3	3613	4535	3422	3422
2,31	3602	4522	3414	3414
2,32	3591	4509	3407	3407
2,33	3580	4495	3399	3399
2,34	3569	4482	3391	3391
2,35	3558	4470	3384	3384
2,36	3548	4457	3376	3376

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

1	2	3	4	5
2,37	3537	4444	3368	3368
2,38	3527	4431	3361	3361
2,39	3516	4419	3353	3353
2,4	3506	4406	3346	3346
2,41	3496	4394	3339	3339
2,42	3485	4381	3331	3331
2,43	3475	4369	3324	3324
2,44	3465	4357	3316	3316
2,45	3455	4344	3309	3309
2,46	3445	4332	3302	3302
2,47	3435	4320	3295	3295
2,48	3425	4308	3287	3287
2,49	3415	4296	3280	3280
2,5	3405	4284	3273	3273
2,51	3396	4273	3266	3266
2,52	3386	4261	3259	3259
2,53	3376	4249	3252	3252
2,54	3367	4238	3245	3245
2,55	3357	4226	3238	3238
2,56	3348	4214	3231	3231
2,57	3338	4203	3224	3224
2,58	3329	4192	3217	3217
2,59	3320	4180	3210	3210
2,6	3311	4169	3203	3203
2,61	3301	4158	3196	3196
2,62	3292	4147	3190	3190
2,63	3283	4136	3183	3183
2,64	3274	4125	3176	3176
2,65	3265	4114	3169	3169
2,66	3256	4103	3163	3163
2,67	3247	4092	3156	3156
2,68	3238	4081	3149	3149
2,69	3230	4071	3143	3143
2,7	3221	4060	3136	3136
2,71	3212	4049	3130	3130
2,72	3203	4039	3123	3123
2,73	3195	4028	3117	3117
2,74	3186	4018	3110	3110
2,75	3178	4008	3104	3104
2,76	3169	3997	3097	3097
2,77	3161	3987	3091	3091
2,78	3152	3977	3085	3085
2,79	3144	3967	3078	3078
2,8	3136	3956	3072	3072
2,81	3128	3946	3066	3066
2,82	3119	3936	3060	3060
2,83	3111	3926	3053	3053

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

1	2	3	4	5
2,84	3103	3917	3047	3047
2,85	3095	3907	3041	3041
2,86	3087	3897	3035	3035
2,87	3079	3887	3029	3029
2,88	3071	3877	3023	3023
2,89	3063	3868	3017	3017
2,9	3055	3858	3011	3011
2,91	3047	3848	3005	3005
2,92	3040	3839	2999	2999
2,93	3032	3929	2993	2993
2,94	3024	3820	2987	2987
2,95	3016	3811	2981	2981
2,96	3009	3801	2975	2975
2,97	3001	3792	2969	2969
2,98	2994	3783	2963	2963
2,99	2986	3774	2957	2957
3	2979	3764	2951	2951
3,01	2971	3755	2946	2946
3,02	2964	3746	2940	2940
3,03	2956	3737	2934	2934
3,04	2949	3728	2928	2928
3,05	2942	3719	2923	2923
3,06	2934	3710	2917	2917
3,07	2927	3702	2911	2911
3,08	2920	3693	2906	2906
3,09	2913	3684	2900	2900
3,1	2906	3675	2894	2894
3,11	2899	3667	2889	2889
3,12	2892	3658	2883	2883
3,13	2885	3649	2878	2878
3,14	2878	3641	2872	2872
3,15	2871	3632	2867	2867
3,16	2864	3624	2861	2861
3,17	2857	3615	2856	2856
3,18	2850	3607	2850	2850
3,19	2843	3598	2845	2845
3,2	2836	3590	2840	2840
3,21	2830	3582	2834	2834
3,22	2823	3574	2829	2829
3,23	2816	3565	2824	2824
3,24	2810	3557	2818	2818
3,25	2803	3549	2813	2813
3,26	2796	3541	2808	2808
3,27	2790	3533	2803	2803
3,28	2783	3525	2797	2797
3,29	2777	3517	2792	2792
3,3	2770	3509	2787	2787

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

1	2	3	4	5
3,31	2764	3501	2782	2782
3,32	2757	3493	2777	2777
3,33	2751	3485	2772	2772
3,34	2745	3477	2766	2766
3,35	2738	3470	2761	2761
3,36	2732	3462	2756	2756
3,37	2726	3454	2751	2751
3,38	2719	3447	2746	2746
3,39	2713	3439	2741	2741
3,4	2707	3431	2736	2736
3,41	2701	3424	2731	2731
3,42	2695	3416	2726	2726
3,43	2689	3409	2721	2721
3,44	2683	3401	2716	2716
3,45	2677	3394	2712	2712
3,46	2671	3386	2707	2707
3,47	2665	3379	2702	2702
3,48	2659	3372	2697	2697
3,49	2653	3364	2692	2692
3,5	2647	3357	2687	2687
3,51	2641	3350	2682	2682
3,52	2635	3343	2678	2678
3,53	2629	3335	2673	2673
3,54	2623	3328	2668	2668
3,55	2618	3321	2663	2663
3,56	2612	3314	2659	2659
3,57	2606	3307	2654	2654
3,58	2600	3300	2649	2649
3,59	2595	3293	2645	2645
3,6	2589	3286	2640	2640
3,61	2583	3279	2635	2635
3,62	2578	3272	2631	2631
3,63	2572	3265	2626	2626
3,64	2567	3258	2622	2622
3,65	2561	3251	2617	2617
3,66	2556	3245	2612	2612
3,67	2550	3238	2608	2608
3,68	2545	3231	2603	2603
3,69	2539	3224	2599	2599
3,7	2534	3218	2594	2594
3,71	2528	3211	2590	2590
3,72	2523	3204	2585	2585
3,73	2518	3198	2581	2581
3,74	2512	3191	2577	2577
3,75	2507	3185	2572	2572
3,76	2502	3178	2568	2568
3,77	2497	3172	2563	2563

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ В

1	2	3	4	5
3,78	2491	3165	2559	2559
3,79	2486	3159	2555	2555
3,8	2481	3152	2550	2550
3,81	2476	3146	2546	2546
3,82	2471	3140	2542	2542
3,83	2465	3133	2537	2537
3,84	2460	3127	2533	2533
3,85	2455	3121	2529	2529
3,86	2450	3114	2525	2525
3,87	2445	3108	2520	2520
3,88	2440	3102	2516	2516
3,89	2435	3096	2512	2512
3,9	2430	3090	2508	2508
3,91	2425	3083	2504	2504
3,92	2420	3077	2499	2499
3,93	2415	3071	2495	2495
3,94	2410	3065	2491	2491
3,95	2406	3059	2487	2487
3,96	2401	3053	2483	2483
3,97	2396	3047	2479	2479
3,98	2391	3041	2475	2475
3,99	2386	3035	2471	2471
4	2381	3029	2467	2467

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ (СРЕДНТЕХНИЧЕСКАЯ
СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ) ПО КАРЬЕРНЫМ САМОСВАЛАМ

Среднетехническая скорость движения, км/ч	Производительность, т/см			
	БелАЗ-7514	БелАЗ-7513	САТ-777	НД-785
1	2	3	4	5
16	2281		2417	2417
16,7	2362		2486	2486
17	2396		2515	2515
17,4	2441		2553	2553
17,6	2463		2572	2572
17,8	2495		2591	2591
18	2507	3462	2609	2609
18,2	2529	3492	2628	2628
18,5	2562	3536	2655	2655
18,8	2594	3580	2682	2682
19	2616	3609	2700	2700
19,5	2670	3681	2744	2744
20	2723	3752	2787	2787
20,5	2775	3822	2829	2829
21	2827	3891	2871	2871
21,5	2878	3960	2911	2911
22	2929	4028	2951	2951
22,4	2969	4081	2983	2983
22,8	3008	4134	3014	3014
23	3028	4161	3029	3029
23,4	3067	4213	3059	3059
23,5	3077	4226	3067	3067
24	3125	4290	3104	3104
24,5		4354	3140	3140
25		4417	3176	3176
25,5		4479	3211	3211
25,8		4517	3232	3232
26		4541	3246	3246
26,5		4602	3280	3280
26,8		4638	3300	3300
27		4662	3313	3313
27,5		4722	3346	3346
28		4781	3378	3378
28,2		4804	3391	3391
28,6		4850	3410	3410
29		4896	3441	3441
29,5		4953	3472	3472
30		5009	3502	3502

ПРИЛОЖЕНИЕ С
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ (ВРЕМЯ ОПЕРАЦИЙ ЗАГРУЗКИ-РАЗГРУЗКИ
САМОСВАЛА, ПОДЪЕЗДА ПОД ПОГРУЗКУ, РАЗГРУЗКУ, ОЖИДАНИЯ
ПОГРУЗКИ) ПО КАРЬЕРНЫМ САМОСВАЛАМ

Время операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки, мин	Производительность, т/см			
	БелАЗ-7514	БелАЗ-7513	САТ-777	НД-785
1	2	3	4	5
4,7		4344		
4,72		4339		
4,75		4332		
4,78		4325		
4,8		4320		
4,82		4316		
4,85		4309		
4,88		4302		
4,9		4297		
4,92		4292		
4,95		4285		
4,98		4278		
5	2640	4274		
5,1	2631	4251		
5,15	2627	4239		
5,18	2624	4233		
5,21	2622	4226		
5,3	2614	4206		
5,32	2612	4201		
5,35	2610	4194		
5,4	2605	4183		
5,42	2604	4179		
5,45	2601	4172		
5,5	2597	4161		
5,52	2595	4157		
5,55	2592	4151		
5,6	2588	4140		
5,66	2583	4127		
5,7	2580	4118		
5,75	2576	4107		
5,8	2571	4097		
5,89	2564	4078		
6,12	2545	4030		
6,3	2530			
6,5	2507			
6,7	2498			
6,8	2491		3850	3850

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ С

1	2	3	4	5
7	2475		3801	3801
7,2	2400		3754	3754
7,25	2456		3742	3742
7,5	2437		3685	3685
7,55			3673	3673
7,8			3618	3618
8,05			3564	3564
8,3			3512	3512
8,35			3502	3502
8,45			3482	3482
8,55			3462	3462
8,7			3432	3432
8,8			3413	3413
8,9			3393	3393
8,95			3384	3384
9			3374	3374