Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

на правах рукописи

Кузнецов Илья Витальевич

ОЦЕНКА РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЗАДНИХ МОСТОВ АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Паначев Иван Андреевич.

Кемерово - 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..…….. 4

1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА…….……..…. 9

1.1 Состояние парка карьерного автотранспорта на разрезах Кузбасса, показатели эффективности эксплуатации автосамосвалов…….……...…. 9

1.2 Физические основы разрушения материалов, существующие методы оценки долговечности металлоконструкций автосамосвалов при нестационарном режиме нагружения…….…….……. 16

1.3 Анализ существующих методик оценки энергоемкости автомобильного карьерного транспорта, комплексный мониторинг условий эксплуатации автосамосвалов..……..……..…….……. 23

1.4 Постановка цели, задач и основных положений исследования …… 29

1.5 Выводы..…….……. 29

2 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛОВ……... 31

2.1 Задний мост подвески автосамосвала БелАЗ-75131 как объект исследования…… 31

2.2 3D-моделирование металлоконструкций заднего моста ходовой части автосамосвала БелАЗ-75131: статический расчет ……..... 35

2.3 Определение деформаций и напряжений в металлоконструкциях автосамосвалов в процессе их эксплуатации на разрезах Кузбасса…… 40

2.4 3D-моделирование металлоконструкций заднего моста ходовой части автосамосвала БелАЗ-75131: расчет при циклических нагрузках…..……. 45

2.5 Выводы……..……..…….…….…. 52

3 ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ КАРЬЕРНЫМИ АВТОСАМОСВАЛАМИ…….…… 53

3.1 Методика оценки энергоемкости процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами…….…….. 53

3.2 Влияние горно-технологических условий транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами на их энергоемкость…….….. 61

3.3 Оценка энергоемкости транспортирования взорванной горной массы при разработке угольных месторождений открытым способом ……... 66
3.4 Обоснование удельных затрат энергии при транспортировании горной массы на сложных участках карьерных дорог……..…….…….. 71
3.5 Выводы…..……...……...…….…… 75

4 ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСА БАЛКИ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ГОРНОЙ МАССЫ…... 76
4.1 Взаимосвязь напряжений в элементах конструкции балки заднего моста автосамосвалов и удельных затрат энергии …… 76
4.2 Влияние уклона трассы карьерных дорог на амплитуду напряжений, возникающих в металлоконструкциях подвески автосамосвалов……..…….…….. 78
4.3 Основные положения методики определения предельно-допускаемых параметров условий эксплуатации большегрузных автосамосвалов …… 82
4.4 Разработка алгоритма мониторинга ресурса металлоконструкций задних мостов большегрузных автосамосвалов посредством GPS-навигации…….…….…… 89
4.5 Выводы…..…….…….... 98
Заключение…….……..…… 100
Список литературы…..……...… 102
Приложения…….……..… 113

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

На современном этапе развития угольной промышленности Кузбасса разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом представляет собой совокупность трудоемких, энергоемких и дорогостоящих технологических процессов добычи, из которых наиболее энергозатратным является транспортирование горной массы. Карьерным автотранспортом с различной грузоподъемностью на разрезах Кузбасса транспортируется более 80 % вскрышных пород и угля. Универсальными показателями условий эксплуатации автотранспорта являются энергоемкость, определяющая затраты энергии на перевозку полезных ископаемых, и долговечность, характеризующая срок службы узла или элемента конструкции автомобиля. Постоянно изменяющиеся горно-геологические и горно-технологические параметры эксплуатации приводят к значительным затратам на дизтопливо и ремонт, к плановым и внеплановым простоям большегрузных автосамосвалов.

Анализ общего временного фонда причин простоев карьерного автотранспорта на разрезах Кузбасса показал, что доля простоев из-за отказов их металлоконструкций составляет 20-25 %. Количество отказов узлов автосамосвала зависит от возникновения и развития в них трещин, которые образуются, главным образом, в элементах рамы, кузова и подвески карьерного автомобиля. Исследование напряженного состояния металлоконструкций большегрузных автосамосвалов во время их эксплуатации в условиях разрабатываемого месторождения представляет собой трудоемкий процесс, характеризующийся существенными затратами времени и средств на его реализацию.

В связи с изложенным, исследование, направленное на разработку методики оперативной оценки ресурса металлоконструкций подвески автосамосвалов посредством комплексного мониторинга энергоемкости процесса транспортирования горной массы на разрезах Кузбасса, является актуальным.

Степень разработанности. Вопросам конструирования, исследования нагруженности и расчета на прочность пространственных несущих конструкций посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов в различных областях техники: 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.В. Зырянова, Т.В. Астаховой, П.В. Артамонова и др. Однако, в исследованиях вышеперечисленных авторов не раскрыта проблематика оперативной оценки ресурса металлоконструкций посредством мониторинга условий эксплуатации.

Цель работы - оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса.

Идея работы заключается в использовании результатов постоянного мониторинга удельных энергозатрат большегрузных автосамосвалов посредством спутниковой системы мониторинга состояния автотранспорта для анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкций их задних мостов.

Задачи исследования:

- исследовать напряженно-деформированное состояние металлоконструкций задних мостов автосамосвалов;

- оценить энергоемкость процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами;

- провести мониторинг и обосновать ресурс балки задних мостов подвески автосамосвалов при эксплуатации.

Научная новизна работы заключается:

- в установлении совместного влияния горно-технологических параметров эксплуатации карьерных автосамосвалов на изменение удельных затрат энергии и амплитуд напряжений, возникающих в металлоконструкциях заднего моста;

- в установлении взаимосвязи двух универсальных показателей эффективности и надежности эксплуатации автотранспорта – энергоемкости и долговечности;

- в создании алгоритма, позволяющего анализировать ресурс металлоконструкций карьерных автосамосвалов посредством постоянного мониторинга параметров энергоемкости транспортирования горной массы на разрезах Кузбасса.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Разработанная методика прогнозирования ресурса металлоконструкций задних мостов карьерных автосамосвалов и величины удельных затрат энергии при различных горно-технологических и эксплуатационных условиях способствует увеличению эффективности эксплуатации большегрузных автомобилей, транспортирующих взорванную горную массу, за счет повышения ресурса, заданного заводом-изготовителем, и снижения удельных затрат энергии.

Методология и методы исследований: конечно-элементное моделирование, твердотельное моделирование, натурные исследования с использованием экспериментально-вычислительного центра, использование оцифрованных данных системы мониторинга состояния автосамосвала, обработка результатов экспериментальных исследований методами математической статистики и эконометрики, анализ литературных источников.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- в процессе транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами в сложных горно-технологических условиях разрезов Кузбасса напряжения в элементах металлоконструкций заднего моста подвески возрастают в 2-3 раза при уклонах трассы от 30 до 100 ‰;

- экспериментально установлен диапазон уклонов трассы в 29-32 ‰, на котором удельные затраты энергии для автосамосвалов различной грузоподъемности составляют 3,5 г.у.т./т·м;

- при эксплуатации автосамосвалов различной грузоподъемности с удельными затратами энергии, не превышающими 8,6 г.у.т./т·м, сохраняется их наработка на отказ, заданная заводом-изготовителем.

Достоверность научных результатов подтверждается:

- применением апробированных методов эконометрики и математической статистики;

- достаточным по статистическим критериям объемом выборок, определяющих напряженно-деформированное состояние металлоконструкций задних мостов большегрузных карьерных автосамосвалов;

- сходимостью расчетных значений напряжений металлоконструкций заднего моста с экспериментальными данными.

Личный вклад автора заключается:

- в обработке экспериментальных данных и получении параболических зависимостей между удельными затратами энергии и уклоном трассы для автосамосвалов с различной грузоподъемностью и мощностью двигателя;

- в теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на изучение взаимосвязи энергоемкости процесса транспортирования горной массы и долговечности металлоконструкций задних мостов автосамосвалов;

- в разработке методики, позволяющей оперативно оценивать ресурс металлоконструкций карьерных автосамосвалов посредством комплексного мониторинга параметров их эксплуатации при транспортировании взорванной горной массы.

Реализация работы.

Результаты выполненных исследований опубликованы в цитируемых изданиях и включены в отчетные материалы XV-XVI международных выставок «Экспо-Сибирь». На основе полученных результатов разработан программный продукт, функционирующий на базе данных спутниковой системы GPS-навигации. Рекомендации по распределению автопарка с целью эффективной эксплуатации большегрузных автосамосвалов, снижения времени внеплановых простоев и увеличения их срока службы внедрены в производство на филиале «Кедровский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

Апробация работы.

Основные научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 2-ой Российско-Китайской научной конференции «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при обработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах» (Новосибирск, 2012); IV Международной

научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2014); III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (Междуреченск, 2014); XV-XVI международных научно-практических конференций «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2012-2014); научно-практических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава КузГТУ (2011-2014 гг.); XV международной научно-практической конференции "Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014" (Кемерово, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 6 - в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и изложена на 112 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц, 46 рисунков, список литературы из 91 наименования, 4 приложения.

Диссертационная работа написана на основе материалов исследований, выполненных автором в ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на предприятиях ОАО «Кедровский филиал», ОАО «Бачатский филиал», ОАО «Разрез Томусинский».

1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА

1.1 Состояние парка карьерного автотранспорта на разрезах Кузбасса, показатели эффективности эксплуатации автосамосвалов

Выемка и транспортирование горной массы – основные процессы технологии добычи полезного ископаемого. Если на долю процесса выемки приходится порядка 20-25 % затрат на открытую разработку месторождений, то на перемещение горных пород – 30-70 %. Транспортировка горной массы на разрезах Кузбасса осуществляется различными видами транспорта (рисунок 1.1).

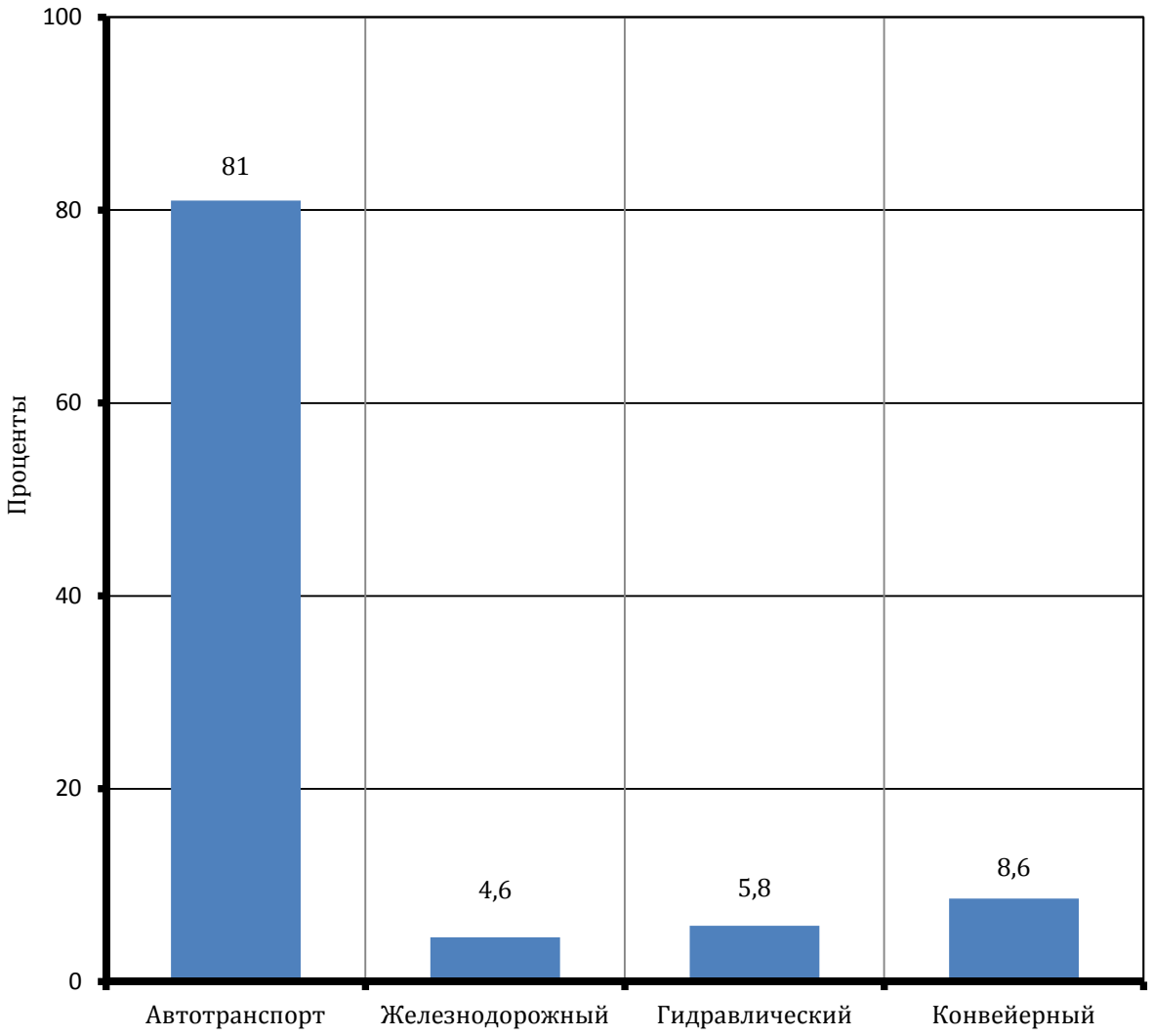


Рисунок 1.1 – Распределение видов транспорта в процессе транспортирования горной массы

Из рисунка 1.1 видно, что на долю автотранспорта приходится более 80 %, т.е. роль автомобильного транспорта в структуре процессов открытой разработки имеет первостепенное значение. Анализ перспектив развития систем карьерного транспорта показывает, что альтернативы автомобильному пока не существует, по крайней мере, на ближайшие 30-50 лет [42].

Основными преимуществами карьерного автотранспорта являются:

- мобильность и маневренность в различных условиях эксплуатации;
- широкий ряд моделей автосамосвалов с различной грузоподъемностью способствует рациональному распределению автотранспорта для наиболее производительной работы экскаваторно-автомобильного комплекса;
- сравнительно небольшие затраты на строительство и обслуживание карьерных технологических дорог.

Помимо этого, карьерный автотранспорт имеет ряд существенных недостатков:

- значительные затраты на ГСМ и техническое обслуживание;
- существенное влияние климатических условий на производительность автотранспорта;
- увеличение загазованности и усложнение проветривания разреза в зависимости от его глубины.

Занятые на перевозке горной массы на разрезах Кузбасса большегрузные карьерные автосамосвалы в основном представлены машинами производства Белорусского автомобильного завода. Несмотря на довольно большое число модификаций разных моделей (более 25), основу парка составляют автосамосвалы БелАЗ-7555, БелАЗ-75131, БелАЗ-75306, БелАЗ-75600, а также их модификации. Из автосамосвалов импортного производства в Кузбассе эксплуатируются машины фирмы «Caterpillar» CAT-785B грузоподъемностью 136 т и фирмы "Komatsu" HD-1200 грузоподъемностью 120 т.

За 12 месяцев 2012 года ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» план объема перевозок технологическим автотранспортом выполнен на 101 %, в том числе перевезено угля 101 %, вскрыши 101 %. План грузооборота выполнен по филиалам Мо-

ховский и Калтанский. Не выполнен грузооборот по пяти филиалам: Кедровский, Бачатский, Краснобродский, Талдинский. План грузооборота по ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» в основном не выполнен по причине снижения среднего расстояния перевозки грузов и снижения продолжительности рабочего дня (из-за увеличения аварийных простоев).

В связи со снижением на всех филиалах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» количества автосамосвалов марки БелАЗ-7555, грузооборот по этим маркам к факту прошлого года снизился соответственно на 31 362 тыс.ткм.

На большинстве разрезов Кузбасса общая производительность автотранспорта увеличилась. В следствие разработки месторождений полезных ископаемых в глубину затрудняется использование иного транспорта, кроме как автомобильного. Среднесписочное количество автосамосвалов в течение года незначительно снизилось, однако, производительность в среднем на один автомобиль возросла. Это говорит о том, что на одних разрезах повышается план добычи за счет увеличения количества автосамосвалов средней грузоподъемности, а другие закупают автотранспорт с возможностью перевозить наибольший, по сравнению с другими моделями, объем горной массы.

Основные показатели работы технологического автотранспорта (объем перевозок, среднесписочное количество автомобилей, грузооборот, производительность одного автосамосвала, коэффициент использования парка, удельный расход топлива) на разрезах «Кедровский» и «Талдинский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» представлены в таблице 1.1.

Из таблицы 1.1 видно, что на разрезах «Кедровский» и «Талдинский» преимущественно эксплуатируются БелАЗы с грузоподъемностью 220 т. Анализ основных показателей работы автосамосвалов марки БелАЗ-75306 на этих разрезах показал, что коэффициент использования парка и удельный расход топлива выше на разрезе «Кедровский». Следовательно, на разрезе «Талдинский» более часто происходят внеплановые простои технологического автотранспорта, т.е. горно-технологические условия эксплуатации на этом разрезе менее благоприятные по критерию надежности элементов автосамосвала.

Таблица 1.1 - Основные показатели эксплуатации автосамосвалов на разрезах Кузбасса за 2012 год

	Разрез «Кедровский» (среднее расстояние транспортирования угля 3,04 км)				Разрез «Талдинский» (среднее расстояние транспортирования угля 3,27 км)			
Показатели эксплу-атации	БелАЗ-7555 (55 т)	БелАЗ-75131 (130 т)	БелАЗ-75306 (220 т)	Общее	БелАЗ-7555 (55 т)	БелАЗ-75131 (130 т)	БелАЗ-75306 (220 т)	Общее
Объем перевозок, тыс.т	1334	11574,5	86258,3	108754	3173,9	46691,8	113492	270919
Среднесписочное количество авто-мобилей, ед	3,7	8,7	29	51	5,5	42	52,6	150,5
Грузооборот, тыс.ткм	4060	35225	262513	330975	10391	152865	371564	886965
Производительность 1 автосамосвала, тыс.ткм	1083	4026	9025	6492,8	1886	3636	7062	5891,3
Коэффициент ис-пользования парка	0,877	0,881	0,838	0,829	0,828	0,843	0,829	0,826
Удельный расход топлива, г/ткм	94,93	107,14	78,49	82,39	75,61	92,45	67,05	71,05

На годовую производительность одного среднесписочного автосамосвала, кроме расстояния перевозки, существенное влияние оказывает структура парка карьерных автосамосвалов. Чем крупнее парк предприятия, тем выше показатели эффективности для конкретного автосамосвала. Одним из значимых показателей интенсивности эксплуатации карьерных автосамосвалов является снижение времени простоев, возникающие как по организационным, так и по техническим причинам. Различают простои в течение рейса, простои внутрисменные, простои плановые и внеплановые. В целом по Кузбассу, несмотря на тенденцию увеличения коэффициента готовности, значительную часть времени (20-40 %) карьерные автосамосвалы простаивают как в плановых, так и внеплановых ремонтах (рисунок 1.2).

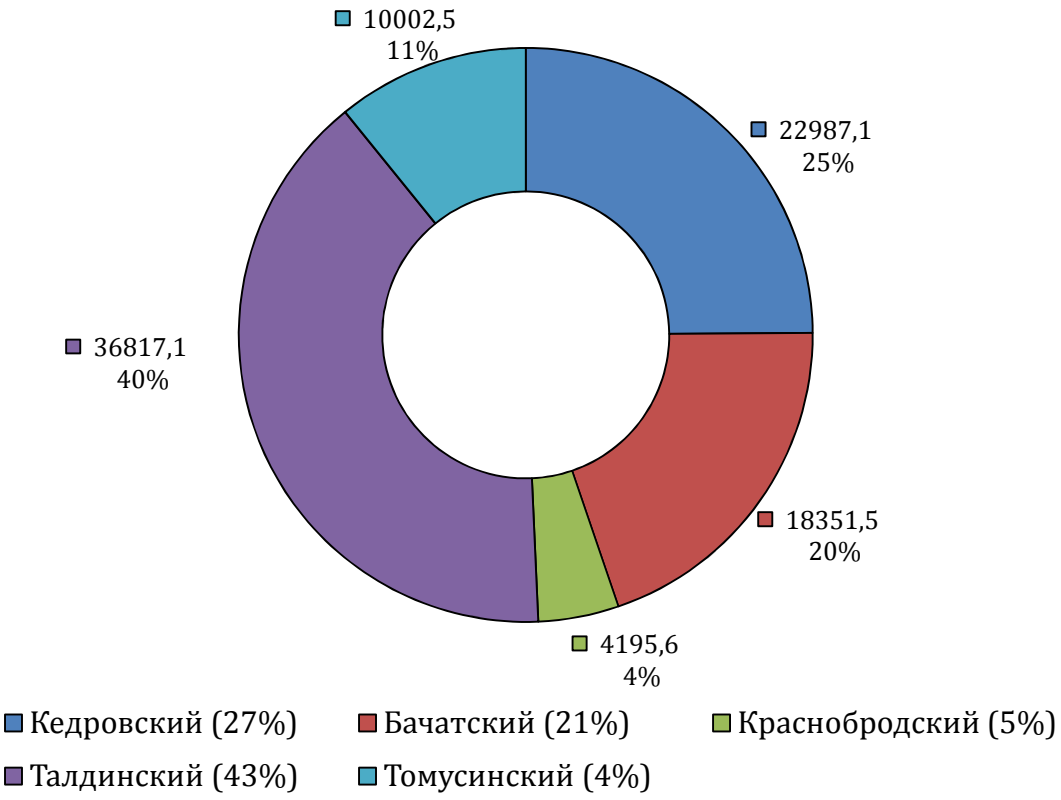


Рисунок 1.2 - Простои автосамосвалов в моточасах за 2012 год на разрезах Кузбасса

Из рисунка 1.2 видно, что на разрезе «Талдинский» технологический автотранспорт простаивает большее количество времени, чем на остальных разрезах.

На разрезах «Кедровский» и «Бачатский» внеплановые простои автосамосвалов также существенно снижают их производительность и грузооборот.

В связи с этим был выполнен анализ причин простоев автосамосвалов на этих разрезах (рисунок 1.3).

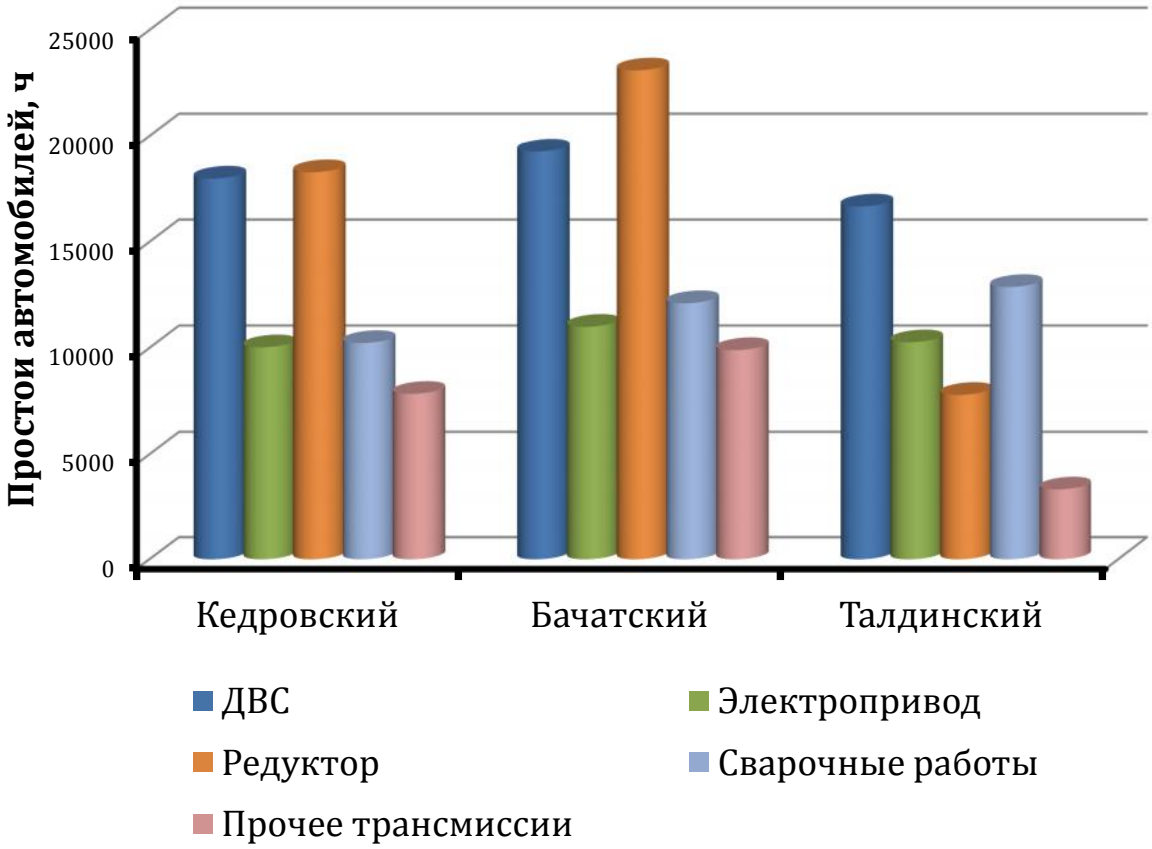


Рисунок 1.3 - Диаграмма основных причин простоев автосамосвалов на разрезах Кузбасса в 2012 году

Из диаграммы видно, что сварочные работы и ремонт двигателя внутреннего сгорания (ДВС) существенно влияют на простои автосамосвалов. Объектом сварочных работ чаще всего являются рама, передний и задний мост подвески и кузов, ресурс которых в большей степени зависит от расстояния перевозки, грансостава и веса перевозимой горной массы, состояния технологических дорог, угла наклона трассы. При эксплуатации автомобилей в сложных горно-технологических условиях нагрузки на металлоконструкции резко возрастают, что приводит к образованию и росту трещин в элементах металлоконструкций, работе двигателя на повышенных мощностях, снижению срока службы автосамо-

свала. Вопросы, связанные с установлением рациональных горно-технологических условий эксплуатации карьерного автотранспорта по критериям надежности металлоконструкций и эффективности работы двигателя автосамосвала являются наиболее актуальными.

Разрушение элементов металлоконструкций автосамосвалов являются следствием накопления усталостных повреждений и при чрезмерно больших динамических нагрузках, возникающих в процессе эксплуатации карьерного автотранспорта в сложных горно-технологических условиях. Эксплуатационные повреждения металлоконструкций большегрузных автосамосвалов являются следствием их усталостной природы, которые проявляются в виде различных дефектов (трещины, пробоины, обломы, прогибы, скручивание, коробление и др). Зонами повышенной концентрации напряжений являются передняя ось, рама, стойки рамы, поперечные балки, передняя и задняя подвеска (реактивные штанги, рычаги, кронштейны), картер заднего моста, элементы рулевого управления [57].

Анализ данных с помощью системы мониторинга состояния автосамосвала, полученных при эксплуатации автотранспорта на разрезах Кузбасса (Кедровский, Бачатский), позволил определить соотношение объемов затраченного временного фонда на сварочные работы определенных узлов автосамосвала (рисунок 1.4).

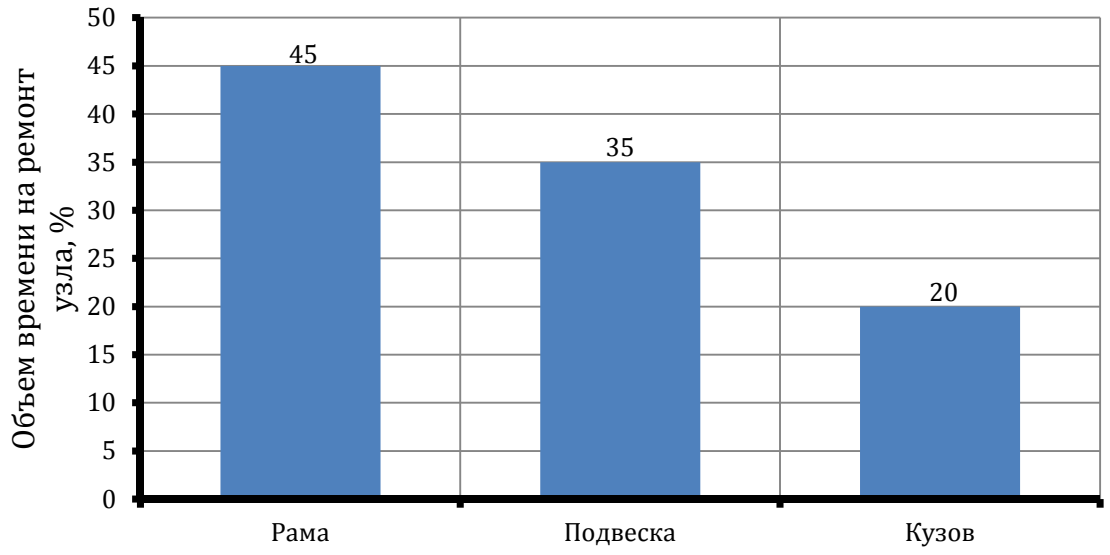


Рисунок 1.4 - Соотношение объемов сварочных работ основных элементов металлоконструкций большегрузных автосамосвалов

Для оценки сопротивления усталостному разрушению при многоцикловом нагружении исследовались металлоконструкции задней подвески автосамосвалов, на ремонт которых затрачивается 35 % и более общего ремонтного фонда времени.

Технической причиной возникновения трещин в металлоконструкциях задней подвески большегрузных автосамосвалов является вибрация, возникающая при работе редукторов мотор-колес (от дисбаланса масс солнечной шестерни, водил, сателлитов, от качества сборки и износа подшипников) и от частоты вращения электродвигателя. Вибрация, передаваемая от редукторов мотор-колес на детали заднего моста, зависит и от мощности двигателя [54].

К технологическим причинам возникновения и роста трещиноподобных дефектов относятся колебания при движении груженого автосамосвала, глубина разрабатываемого месторождения, состояние дорог, расстояние транспортирования, коэффициент заполнения кузова автосамосвала, скорость движения по технологическим дорогам.

Напряженное состояние в элементах конструкции автотранспорта изменяется сложным образом в зависимости от состояния карьерных дорог, упругих и прочностных характеристик разрабатываемых горных пород, а также в зависимости от динамических характеристик самих конструкций, обладающих определенными свойствами избирательности по отношению к частоте действующих возмущений.

1.2 Физические основы разрушения материалов, существующие методы оценки долговечности металлоконструкций автосамосвалов при нестационарном режиме нагружения

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 23207-78 "Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения") усталостью называют процесс постепенного накопления повреждений материала под дей-

ствием переменных напряжений, приводящих к изменению его свойств, образованию и развитию трещин, и разрушению.

Различают две основные разновидности усталостного повреждения:

1. Малоцикловая усталость возникает при максимальных напряжениях, превышающих предел текучести материала, и сопровождается знакопеременным пластическим деформированием объема материала, большего по сравнению с размерами структурных составляющих (зерен, пор, включений). Число циклов до образования заметной трещины (длиной 0,5-1 мм и более) зависит в основном от величины пластической деформации детали в каждом цикле и от способности материала сопротивляться малоцикловому разрушению; для стальных конструкций оно не превышает 10^4 [5].

2. Многоцикловая усталость имеет место при напряжениях значительно ниже предела текучести ($\sigma_{max}<0,6\sigma$). В этом случае в макрообъеме материал деформируется упруго (его свойства с вполне удовлетворительной точностью описываются законом Гука $\sigma = E\varepsilon$). Однако большинство реальных материалов имеют сложную многокомпонентную структуру (зерна, поры, межзеренные прослойки, неметаллические включения в стали и т. д.). При упругом деформировании достаточно большого объема в микрообъемах (в отдельных слабых зернах, вблизи дефектов) происходит локальное знакопеременное пластическое деформирование, которое называют микропластическим. Его многократное повторение приводит к зарождению микроскопических трещин. Постепенное их развитие и слияние в магистральную трещину приводит к ослаблению сечений и затем к внезапному долому деталей. Продолжительность стадии многоцикловой усталости к моменту зарождения магистральной усталостной макротрещины для стальных конструкций превышает 10^5-10^6 циклов [5].

Граница между малоцикловой и многоцикловой усталостью не является четко выраженной. В тех случаях, когда пластическая деформация в макрообъеме отлична от нуля в каждом цикле, но мала по сравнению с упругой, условия зарождения трещины зависят и от упругой и от пластической деформации. Это переходная зона между малоцикловой и многоцикловой усталостью.

Многофакторный характер процессов разрушения, их зависимость от истории нагружения, разнообразие явлений, приводящих к образованию и развития трещин, привели к широкому использованию различных методов расчета напряженно-деформированного состояния системы при многоцикловой усталости, при которой трещины развиваются на фоне упругого деформирования конструкции в целом [5].

Основные закономерности распространения трещин усталости устанавливаются экспериментально и на их основе строят кинетические диаграммы усталостного разрушения [5], служащие комплексной характеристикой сопротивления усталости металлов и сплавов (рисунок 1.5).

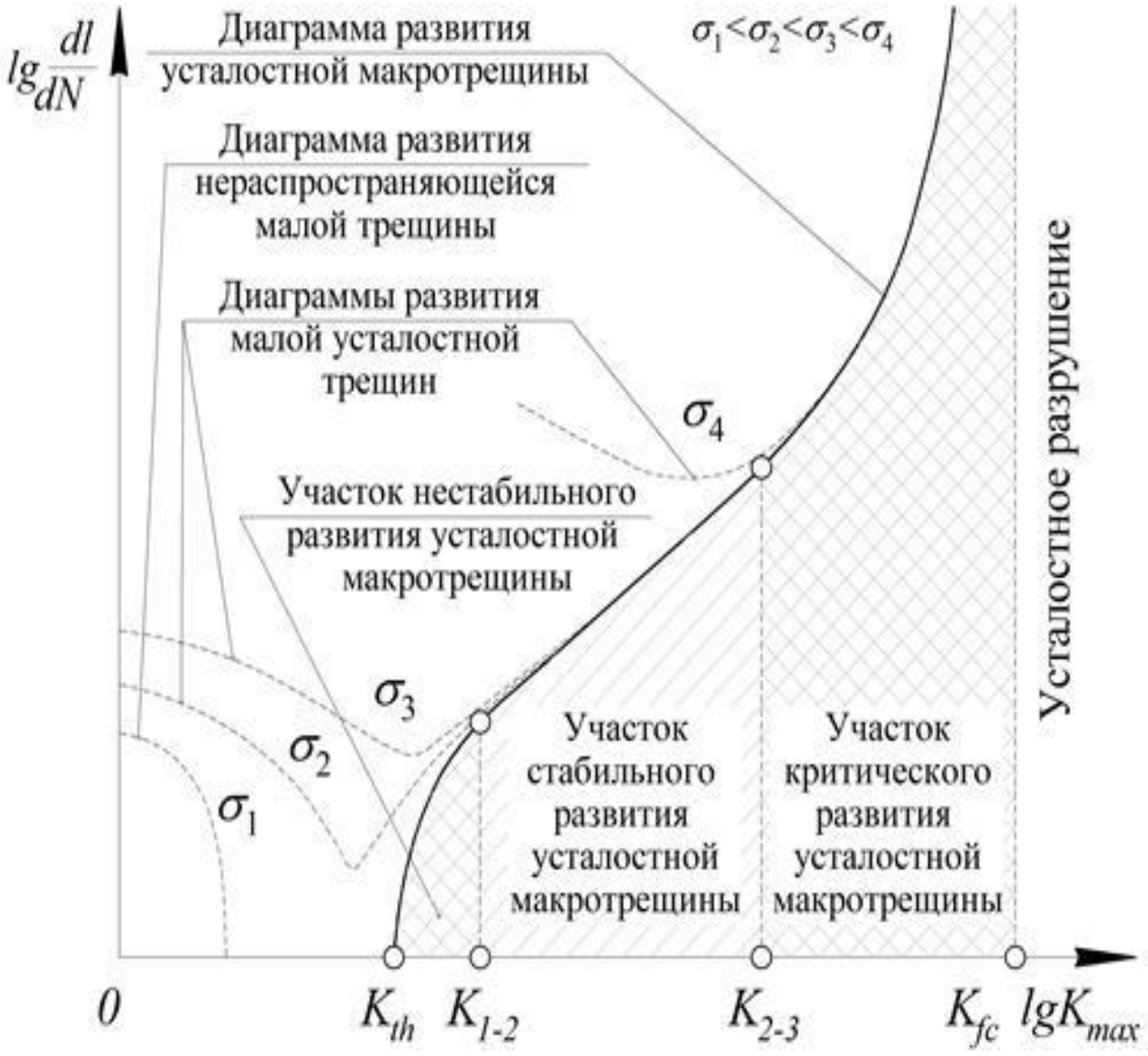


Рисунок 1.5 - Кинетическая диаграмма развития усталостного разрушения

По оси ординат откладываются логарифмы скорости роста трещины, а по оси абсцисс – логарифмы размаха коэффициента интенсивности напряжений (КИН) или его максимальное значение. КИН определяется экспериментально и зависит от характера приложения нагрузки, формы элемента и материала (ГОСТ 25.506-85). Одной из основных зависимостей, связывающих скорость роста усталостной трещины dl/dN с размахом коэффициента интенсивности напряжений ΔK, является уравнение, предложенное П. Пэрисом и Ф. Эрдоганом:

$$\frac{dl}{dN} = C \times (\Delta K)^B, \tag{1.1}$$

где C и B – эмпирические константы материала; $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ – размах коэффициента интенсивности напряжений за один цикл нагружения; K_{max} – наибольшее значение коэффициента интенсивности напряжений, определяемое наибольшим напряжением в данном цикле нагружения σ_{max}; K_{min} – наименьшее значение коэффициента интенсивности напряжений, определяемое наименьшим напряжением в данном цикле нагружения σ_{min}; N – количество циклов приложения нагрузки.

Под циклом нагружения понимается последовательность изменения нагрузки, которая заканчивается первоначальным состоянием и затем повторяется.

Под долговечностью понимается способность конструкции и её элементов сохранять работоспособность вплоть до наступления предельного состояния с учетом обслуживания и ремонта. Предельное состояние – такое состояние конструкции, когда она перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям:

- исчерпание несущей способности;
- затруднение эксплуатации вследствие больших общих деформаций;
- образование и рост трещин, являющихся, как правило, результатом усталости материала, действиями динамических нагрузок, и возникновением переменных напряжений.

Долговечность в области малоцикловой усталости при нагружении с постоянной общей амплитудой деформации за цикл зависит от упругой и пластической

составляющих, которые определяются из параметров петли механического гистерезиса [85]

$$\frac{Д_е}{2} = \frac{Д_{ев}}{2} + \frac{Д_{ер}}{2} = \frac{y_f^I}{E\ 2N_f}^b + e_f^I(2N_f)^c, \quad (1.2)$$

где $Д_е$ – амплитуда общей деформации за цикл; $Д_{ев}$– амплитуда упругой деформации; $Д_{ер}$ – амплитуда пластической деформации; y_f^I – коэффициент усталостной прочности; $2N_f$ – число циклов до разрушения; e_f^I – коэффициент усталостной пластичности; b, c – параметры, характеризующие усталостную пластичность.

Для решения вопроса о долговечности конструкций вводится понятие накопления повреждений – нечто численно изменяющееся в зависимости от длительности работы конструкции, как некоторой функции числа циклов. При этом принимается гипотеза, что каждый остающийся неизменным цикл добавляет к повреждению одну и ту же величину, и повреждения суммируются от цикла к циклу, т. е. за меру накопленных повреждений принимается величина, линейно зависящая от числа пройденных циклов.

На основе многочисленных исследований [47, 70, 87] установлено, что усталостное разрушение металлоконструкций инициируется дефектами. Дефекты могут быть эксплуатационные и технологические – дефекты сварки, закалочные трещины, коррозионные язвы, следы механической обработки, забоины и т.д. Наличие дефектов типа трещин в металлоконструкциях приводит к постепенному снижению уровня разрушающих нагрузок.

Заводом-изготовителем при расчете конструкций карьерных автосамосвалов, как правило, проводятся испытания на статическую и динамическую нагрузки, здесь учтены и большие коэффициенты запаса, однако реально металлоконструкции эксплуатируются с трещинами, что не учитывается при их проектировании.

На сегодняшний день полностью исключить образование трещин в металлоконструкциях карьерных автосамосвалов не представляется возможным, по-

скольку их появление связано даже с возникновением микроповреждений на стадии изготовления автосамосвала [56].

При изучении усталости металлов трещинам всегда уделялось особое внимание [47]. В связи с появившимися новыми перспективными методами оценки напряженно-деформированного состояния в вершине трещины предоставляется возможность перейти к количественному описанию условий страгивания трещин и более детальному изучению законов их развития с такими параметрами, как геометрия элемента конструкции и трещины, свойства материала, условия нагружения. Наблюдения Морозова Е.М. за формами трещин и изломов при разрушении образцов и элементов конструкций навели на мысль, что линия, вдоль которой распространяется трещина (её траектория), подчиняется определенному закону, в виде вариационного условия оптимальности.

В процессе эксплуатации карьерного автосамосвала его несущие металлоконструкции подвергаются внешним воздействиям в форме стационарных и нестационарных случайных процессов, являющихся следствием дискретных и непрерывных нагружений. Дискретное нагружение может быть однократным и многократным [3].

В работе Галкина В.А. [19], оперируя показателями надежности узлов автомобиля, устанавливалась связь между долговечностью несущих конструкций автомобилей общего назначения и качеством дорог. Однако результаты этой работы не могут быть реализованы применительно к карьерным автосамосвалам, ввиду существенной разницы в конструкциях и габаритах.

В работе [23] выполнено исследование, посвященное анализу связей скорости движения автосамосвалов в зависимости от ровности карьерных дорог. Даны рекомендации по скоростным режимам движения автосамосвалов грузоподъемностью 75-180 тонн. Однако, не были учтены различия между моделями различной грузоподъемности, что не совсем приемлемо.

Интерес представляет работа Диллок Б., Синг Ч. [24], где по нагруженности рамы и качеству карьерной дороги устанавливались рациональные скорости движения для автосамосвала HD-1200 фирмы KOMATSU. Механический перенос

этих требований к равному по грузоподъемности автосамосвалу БелАЗ-7512 не совсем верен из-за конструктивных различий этих машин.

Нагрузки, действующие на задний мост автосамосвала БелАЗ при определенных режимах движения (переезд через препятствие, движение на подъем) исследованы в работе Хубаева Б.Г. и Твертиева М.В. [91], но при этом не устанавливается связь со скоростями движения. Предложена методика прогнозирования долговечности картера заднего моста автосамосвала.

Методика прогнозирования ресурса ходовой части автомобилей общего назначения предложена в работе Гольд Б.В. [20]. Для деталей и узлов, работающих в динамических режимах нагружения, расчет ведется на основе теории усталостной прочности. Все эти работы посвящены исследованию влияния микропрофиля карьерных дорог на механическую нагруженность несущих конструкций, не принимая во внимания влияние поворотов и поперечного профиля дороги.

Рамные конструкции карьерных автосамосвалов при расчетах на прочность и жесткость, согласно классическим методам расчета, рассматриваются как плоские стержневые системы. Адаптации этих методов к конструкциям автосамосвалов посвящена значительная доля исследований Красноштанова Р.Ф. [36].

Несущие металлоконструкции автосамосвала в процессе работы испытывают 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 загрузки экскаватором взорванной горной массой, несущие металлоконструкции подвергаются динамическим нагрузкам. Существенные динамические напряжения в конструкциях автосамосвала возникают в элементах подвески, поперечинах, лонжеронах, и местах их соединения. Движение по колеям с различным микропрофилем приводит к скручиванию и излому элементов металлоконструкций автомобиля [51].

Исследованию пространственных тонкостенных конструкций посвящены труды И.Г. Бубнова, Е.Н. Никольского, П.Ф. Папковича, А.А. Уманского, Ю.А. Шиманского и др.

Анализ научных работ позволил 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, а также металлоконструкции подвески автосамосвалов, испытывающие изгибно-крутильные колебания.

Вопросы влияния динамических нагрузок на ресурс несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов рассматриваются в работах А.А. Кулешова [39], Н.В. Зырянова [32], И.В. Зырянова [30], В.П. Смирнова [80], З.Л. Сироткина [78].

Многочисленные научные исследования посвящены анализу напряженно-деформированного состояния металлоконструкций рамы и кузова карьерных автосамосвалов, однако, к элементам подвески подобного интереса проявлено не было.

1.3 Анализ существующих методик оценки энергоемкости автомобильного карьерного транспорта, комплексный мониторинг условий эксплуатации автосамосвалов

Особое значение энергетический анализ имеет для горной промышленности, характеризующейся значительной удельной энергоемкостью по сравнению с другими отраслями. Энергетический подход при оценке эффективности процессов и технологий открытых горных работ нашел отражение в исследованиях многих ученых [17, 43, 81]. Вместе с тем, несовершенство применяемых методик привело к тому, что до настоящего времени у специалистов не сформировалось единого мнения по данной проблеме.

При энергетической оценке транспортных систем глубоких карьеров возникают два ключевых вопроса, требующих решения.

Первый связан с приведением тепловой энергии дизельного топлива, потребляемой автотранспортом, и электрической энергии, расходуемой конвейерным и железнодорожным транспортом, в сопоставимый вид. В этом направлении в отечественной литературе существует несколько подходов. Один из них, предложенный проф. Тангаевым И. А. [83], заключается в переводе расхода дизтоплива автосамосвалами из натуральных единиц (г, кг) в кДж или кВт·ч путем умножения на удельную теплоту сгорания дизтоплива $Q_{д.т}$ ($Q_{д.т}$ = 43,5 кДж/г = 12,08 кВт·ч/кг) и сравнении с фактическим расходом электроэнергии электрифицированными видами транспорта. Такой подход нельзя признать методически правильным, так как он приводит к энергетической «дискредитации» автомобильного транспорта [43].

При другом подходе, получившем достаточно широкое распространение в практике, расход электроэнергии приводится к расходу дизтоплива путем умножения на коэффициент, характеризующий удельный расход дизтоплива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на дизельных электростанциях (230-250 г/кВт·ч) [6]. В этом случае завышается энергоемкость электрифицированных видов транспорта, поскольку основной объем электроэнергии горнодобывающие предприятия получают с электростанций, работающих на природном газе, угле и мазуте [43].

Наиболее объективное решение вопроса предлагает проф. Ю.И. Лель [43], при котором расход электроэнергии и дизельного топлива приводится к расходу первичных энергоресурсов, т.е. к «условному топливу» (у.т.), с учетом соответствующих затрат энергии на их добычу, переработку и транспортирование.

Второй вопрос связан с выбором и обоснованием критерия оценки энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров и отдельных видов транспорта. Исходя из основных функций транспорта глубоких карьеров, в качестве критерия может быть принята величина удельных затрат энергии на транспортирование 1 т горной массы.

Исходя из изложенного, следует отметить, что предложенная проф. Ю.И. Лель методика оценки энергоемкости процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами, где расход электроэнергии и дизельно-

го топлива приводится к расходу первичных энергоресурсов – условному топливу, является наиболее предпочтительной, позволяющей учесть затраты энергии на добычу полезного ископаемого, его переработку и транспортирование.

Энергоемкость является универсальным показателем, характеризующим расход энергии автосамосвалом, затраченной на транспортирование горной массы, движение к месту загрузки, ожидание загрузки. Энергопотребление карьерного автотранспорта зависит от взаимосвязи управляемых и неуправляемых показателей эксплуатации.

К неуправляемым относятся в большей степени природно-климатические и горно-технические условия разработки месторождения полезного ископаемого: расстояние перевозки, грансостав, тип груза, качество взрывных работ. Под управляемыми факторами, влияющими на энергоемкость, подразумевают тип автосамосвала, скорость движения на маршруте, грузоподъемность и объем кузова, тип экскаватора, вместимость ковша, продолжительность цикла, соотношение объема кузова и объема ковша и т.д.

Для диагностики и мониторинга состояния большегрузных автосамосвалов на сегодняшний день разрезы Кузбасса оснащены различным современным оборудованием.

Наиболее эффективным является использование спутниковых GPS-систем, что позволяет контролировать расход топлива автосамосвала, беспрерывную работу автопарка согласно плану, скорость движения автосамосвала, расстояние транспортирования и загруженность автосамосвала, начало и окончание основных процессов цикла транспортирования. В таблице 1.2 приведен пример учета технологических параметров эксплуатации автосамосвалов посредством GPS-навигации.

Из таблицы 1.2 видно, что с помощью спутниковой системы мониторинга состояния автосамосвала производился комплексный анализ всех параметров, на базе которых оценивалась энергоемкость: вид груза, расстояние транспортирования, вес горной массы в кузове, время движения. Значения показателей эксплуатации автотранспорта изменялись в процессе работы.

Таблица 1.2 - Учет технологических параметров эксплуатации автотранспорта посредством системы мониторинга состояния автосамосвала на разрезе ЗАО «Черниговский»

А/м	Экск-р	Вид	П/разгрузки	Расст-е	Вес	Простой	Нач погр	Погрузка	Зав погр	Разгрузка	В движении
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,15	115	00:17:01	08:15:08	00:01:55	08:17:03	08:27:18	00:09:15
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,17	126	00:01:18	09:31:26	00:04:38	09:36:04	09:46:09	00:09:09
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,16	123	00:05:24	09:59:03	00:03:07	10:02:10	10:12:25	00:09:23
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	120	00:00:00	10:20:51	00:02:53	10:23:44	10:34:20	00:09:38
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	121	00:04:11	10:45:33	00:02:32	10:48:05	10:58:17	00:09:08
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,17	121	00:02:14	11:08:02	00:02:40	11:10:42	11:20:47	00:09:17
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,15	129	00:01:11	11:32:22	00:03:34	11:35:56	11:45:52	00:09:02
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,15	119	00:04:10	11:56:02	00:02:43	11:58:45	12:09:19	00:09:25
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,19	123	00:18:56	12:34:59	00:02:28	12:37:27	12:47:40	00:09:20
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,19	119	00:03:10	12:58:03	00:02:16	13:00:19	13:11:47	00:09:27
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	131	00:02:34	13:21:44	00:02:23	13:24:07	13:34:50	00:09:49
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	123	00:00:00	13:43:30	00:02:17	13:45:47	13:56:13	00:09:33
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,2	122	00:00:00	14:05:23	00:05:14	14:10:37	14:20:38	00:09:09
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	123	00:00:00	14:28:47	00:03:48	14:32:35	14:42:30	00:08:58
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,18	117	00:00:00	14:57:07	00:02:30	14:59:37	15:09:34	00:09:06
368	39	Порода	Вне отвала	0,06	123	00:00:00	15:17:12	00:02:05	15:19:17	15:20:51	00:00:54
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,16	120	00:02:53	15:24:29	00:03:19	15:27:48	15:37:30	00:08:56
368	39	Порода	Отвал_1_1	3,17	141	00:06:12	15:50:03	00:04:09	15:54:12	16:04:20	00:09:14

Для анализа расхода топлива по окончанию смены в программе спутниковой системы мониторинга состояния автосамосвала строится график изменения уровня топлива в баке за все время эксплуатации (рисунок 1.6).

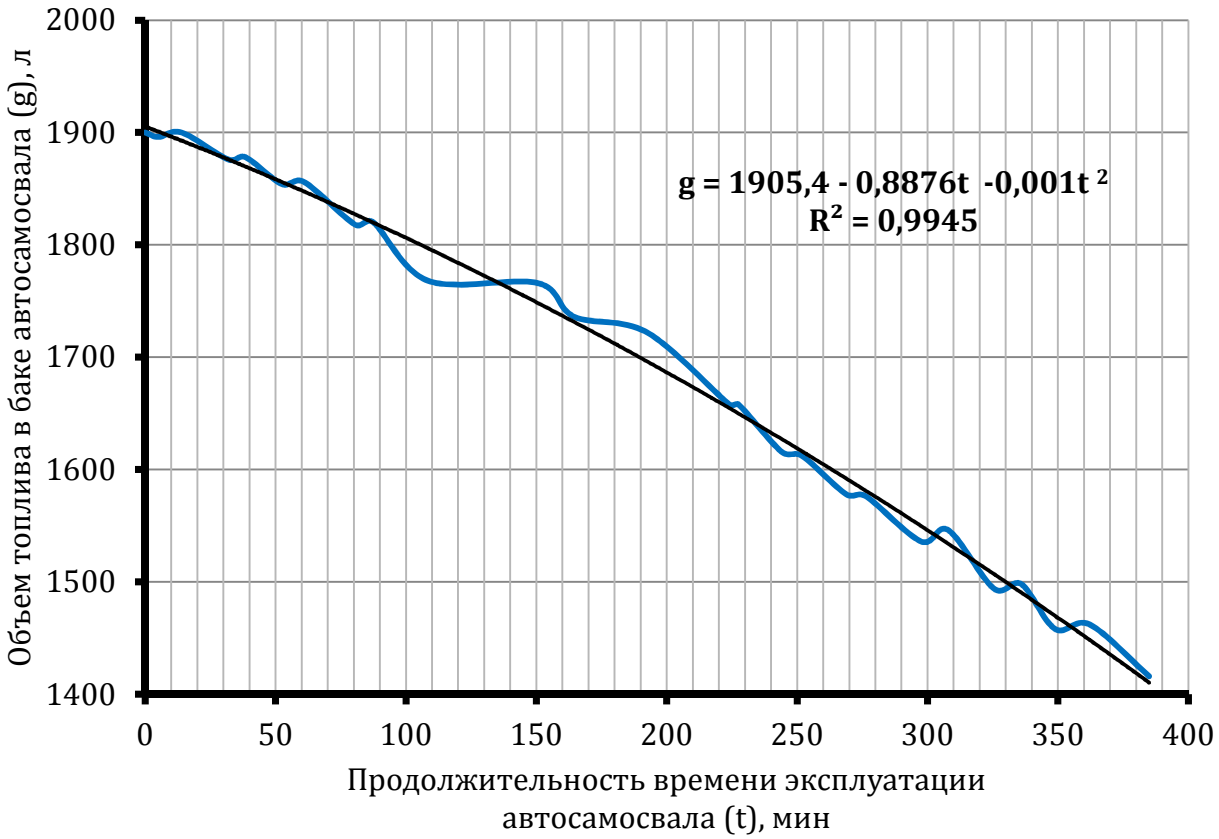


Рисунок 1.6 - Расход топлива автосамосвала БелАЗ-75306 за 1 смену при расстоянии транспортирования 1,89 км по данным GPS-навигации

Характер расхода топлива во времени соответствует параболическому закону распределения, для которого коэффициент детерминации составляет 0,9945. Это позволяет установить количество дизтоплива в баке автосамосвала на определенный момент времени, объем которого меняется в зависимости от условий эксплуатации и технического состояния системы. Полученные посредством системы мониторинга состояния автосамосвала графики расхода топлива использовались при анализе энергоемкости процесса транспортирования карьерным автотранспортом.

В результате анализа работы автосамосвалов на разрезах Кузбасса установлены необходимые данные расхода топлива за каждый рейс (рисунок 1.7).

Рисунок 1.7 - Изменение расхода топлива в течение рабочей смены автосамосвала БелАЗ-75131

Из рисунка видно, что всплески показаний расхода топлива имеют различную амплитуду. В точках, где наблюдается резкое увеличение показаний расхода топлива, в производственных условиях произошло существенное отклонение в плавности и стабильности работы автосамосвала: увеличение скорости транспортирования на различных участках карьерной дороги, перегруз автосамосвала, кратковременное ухудшение дорожного покрытия и т.п. Перечисленные причины являются результатом возрастания рабочих напряжений, возникающих в металлоконструкциях автосамосвала, что приводит к образованию, росту трещин и последующему сокращению ресурса и долговечности элементов металлоконструкций подвески. Современные приборы и приспособления не позволяют оперативно определять рабочие напряжения в металлоконструкциях большегрузных автосамосвалов при транспортировании горной массы на разрезах Кузбасса.

В связи с этим актуальным является исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций задних мостов автосамосвалов посредством постоянного мониторинга удельных затрат энергии в различных условиях эксплуатации.

1.4 Постановка цели, задач и основных положений исследования

Цель работы – оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов на разрезах Кузбасса.

Задачи исследования:

- исследовать напряженно-деформированное состояние металлоконструкций заднего моста автосамосвалов;

- оценить энергоемкость процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами;

- провести мониторинг и обосновать ресурс балки заднего моста подвески автосамосвалов при эксплуатации.

Основные положения методики:

- анализ параметров эксплуатации большегрузных автосамосвалов в условиях разрабатываемого месторождения, полученных с помощью средств спутникового мониторинга состояния автотранспорта;

- определение удельных затрат энергии процесса транспортирования взорванной горной массы карьерным автотранспортом;

- исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций заднего моста автосамосвалов на основе взаимосвязи математического ожидания амплитуды напряжений и удельных затрат энергии;

- определение наработки на отказ большегрузных автосамосвалов по критерию энергоемкости процесса транспортирования горной массы;

- составление алгоритма мониторинга ресурса металлоконструкций заднего моста подвески большегрузных автосамосвалов.

1.5 Выводы

1 Разнообразие горно-технологических и технических условий при открытой разработке угольных месторождений, включающих среднее расстояние транспортирования горной массы, уклоны карьерных дорог, расширение автопар-

ка, существенно влияет на коэффициент использования автосамосвалов и плановый грузооборот карьерного автомобильного транспорта.

2 В результате анализа эксплуатации парка большегрузных автосамосвалов на разрезах Кузбасса установлено, что основная часть временного фонда затрачивается на ремонт узлов и деталей автосамосвалов, где 30-35 % общего времени относится к элементам подвески.

3 Комплексный мониторинг условий эксплуатации автосамосвалов позволяет производить оперативную оценку ресурса металлоконструкций заднего моста на основании взаимосвязи возникающих в них напряжений и удельных затрат энергии, необходимой для перевозки горной массы.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛОВ

2.1 Задний мост подвески автосамосвала БелАЗ-75131 как объект исследования

Опыт проектирования и эксплуатации большегрузных автосамосвалов на разрезах Кузбасса показывает, что основные конструктивные параметры (выбор типа подвески, трансмиссии и других систем) а также технико-экономические показатели зависят от условий эксплуатации карьерных автомобилей. Большие нагрузки при транспортировании горной массы на элементы конструкции задней подвески могут быть снижены путем управления гашением колебаний, в результате чего будут улучшены динамические и статические характеристики автосамосвала.

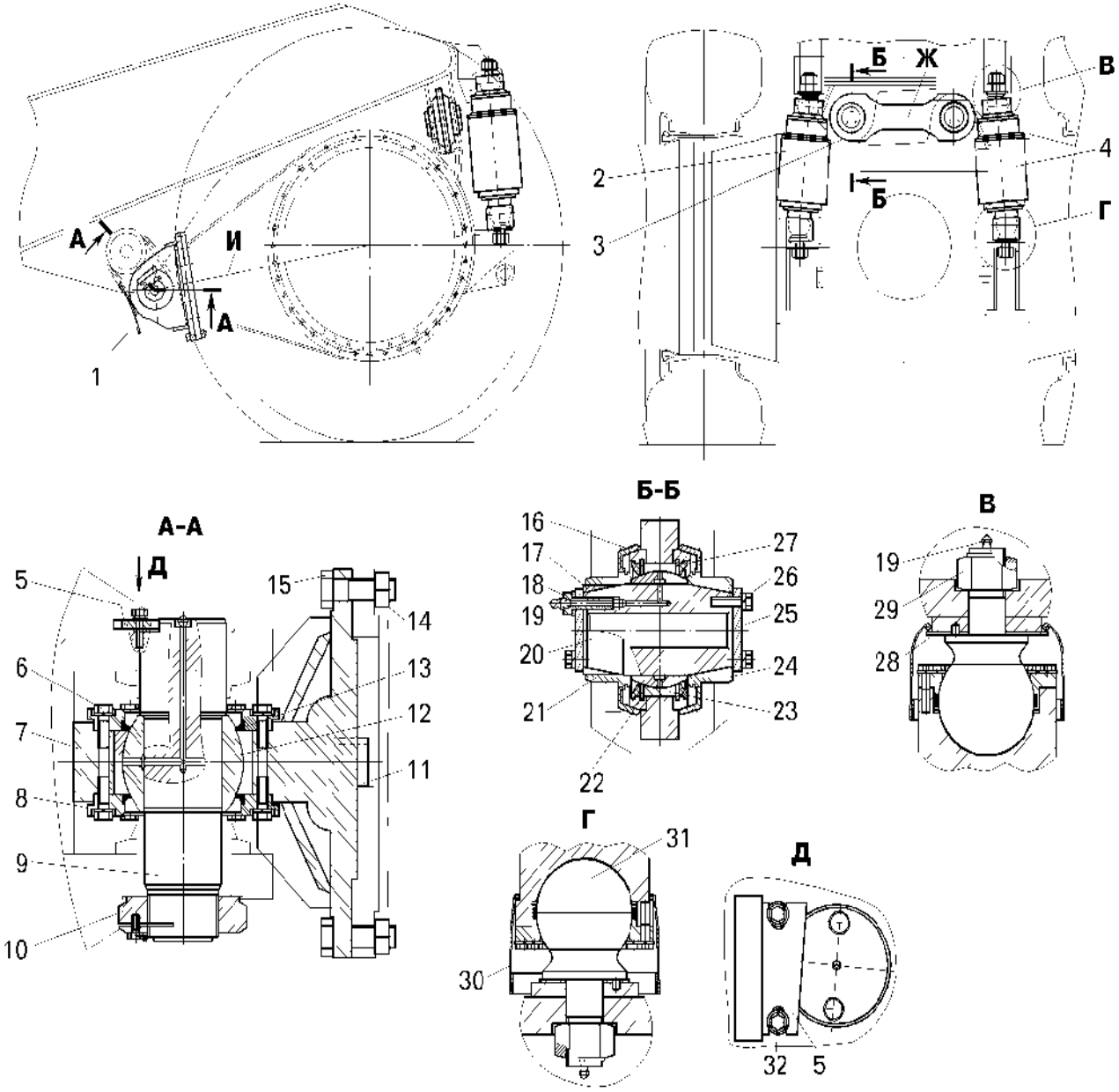
Задняя подвеска автосамосвала – зависимая, состоит из двух пневмогидравлических цилиндров 2 и 4 (рисунок 2.1), поперечной штанги подвески 3, рычага заднего моста и проушины 7 с центральным шарниром.

Нагрузки, действующие на колеса заднего моста, передаются на раму через цилиндры подвески, поперечную штангу и центральный шарнир. Цилиндры подвески воспринимают только вертикальные нагрузки, штанга – поперечные, а центральный шарнир – вертикальные, поперечные и продольные.

Пневмогидравлические цилиндры подвески крепятся к кронштейнам на раме и картере заднего моста самостопорящимися гайками 29.

Поперечная штанга подвески 3 закреплена к кронштейнам на раме и картере заднего моста с помощью шарнирных подшипников 23, закрепленных на пальцах штанги 20 через распорные втулки 17, прижимные пластины 25 и болты 18 и 26.

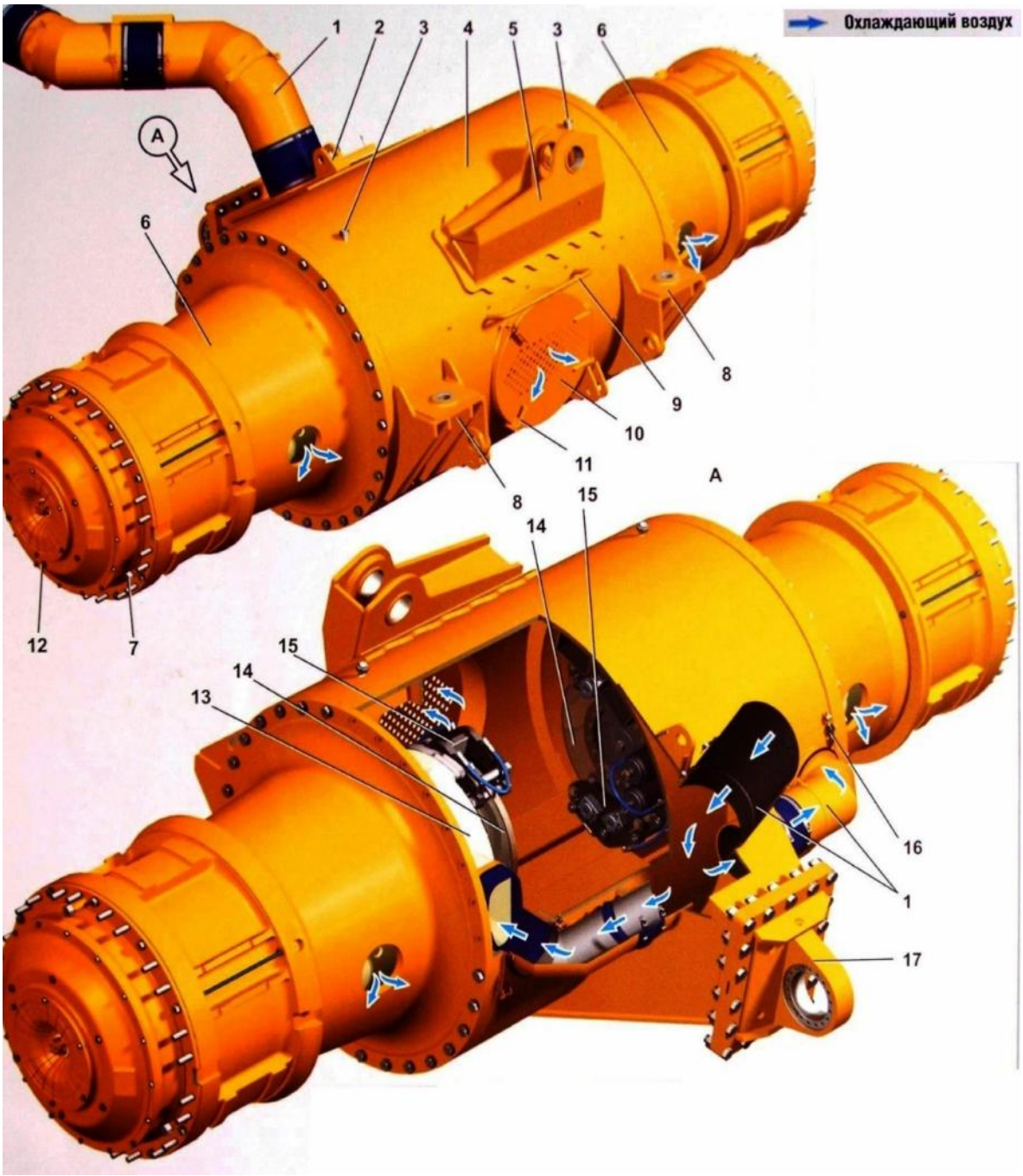
Проушина 7 центрального шарнира установлена на втулках 11 и закреплена к центральному рычагу с помощью болтов 15 и гаек 14, к кронштейну рамы шарнирно пальцем 9.



1 – брызговик; 2 – цилиндр подвески пневмогидравлический левый; 3 – штанга подвески; 4 – цилиндр подвески пневмогидравлический правый; 5 – пластина стопорная; 6, 15, 26, 32 – болты; 7 – проушина с основанием; 8 – крышка; 9 – палец; 10, 14, 29 – гайки; 11, 21, 24 – втулки; 12, 23 – подшипники шарнирные; 13 – сальник центрального шарнира; 16 – кольцо уплотнительное; 17 – втулка распорная; 18 – болт специальный; 19 – масленка; 20 – палец штанги; 22 – кольцо; 25 – пластина прижимная; 27 – сальник штанги; 28 – диск; 30 – чехол; 31 – шаровая опора цилиндра подвески

Рисунок 2.1 – Задняя подвеска автосамосвала БелАЗ-75131

Задний мост подвески автосамосвала БелАЗ-75131 представлен на рисунке 2.2, где отображены стойки крепления гидроцилиндров, области установки редукторов мотор-колес и места крепления с рамой. Основные металлоконструкции заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 выполнены из стали 30Л.



1 – воздухопровод; 2 – кронштейн; 3 – упор; 4 – картер заднего моста; 5 – кронштейн крепления поперечной штанги и подвески заднего моста; 6 – электромотор-колесо; 7 – пробка сливная; 8 – кронштейн крепления цилиндра подвески заднего моста; 9 – поручень; 10 – крышка люка; 11, 16 – защелка; 12 – пробка контрольная; 13 – электродвигатель тяговый; 14 – диск тормозной; 15 – механизм рабочей и стояночной тормозных систем; 17 – кронштейн центрального шарнира.

Рисунок 2.2 – Задний мост автосамосвала БелАЗ-75131

Наблюдения за состоянием металлоконструкций заднего моста подвески с использованием средств и методов визуального контроля и тензометрии проводились на разрезах Кузбасса (Кедровском, Бачатском, Томусинском) в период

2010-2013 годов, в результате которых были установлены зоны повышенного трещинообразования, располагавшиеся в местах крепления с рамой, на картере и воздухораспределительной коробке (рисунок 2.3).

Рисунок 2.3 - Трещина основного металла картера заднего моста в районе крепления цилиндра подвески и реактивной штанги БелАЗ 75131

Из результатов диагностики в производственных условиях трещины в области соединения картера заднего моста и площадки крепления гидроцилиндра подвески установлен закон её роста:

$$\frac{dl}{dN} = 8{,}7 \cdot 10^{-14}(\Delta K)^{3{,}5}. \quad (2.1)$$

Учитывая геометрические размеры элемента задней подвески, параметры напряженного состояния и характеристики материала, уравнение роста трещины (2.1) принимает вид:

$$l_{кр} = (5{,}26 - 2{,}7 \cdot 10^{-5} \cdot N)^{-1{,}33}. \quad (2.2)$$

Для исследования напряженно-деформированного состояния в элементах конструкции заднего моста автосамосвала была разработана 3D-модель.

2.2 3D-моделирование металлоконструкций заднего моста ходовой части автосамосвала БелАЗ-75131: статический расчет

В каждой точке балки заднего моста автосамосвала численным методом определялись компоненты напряжений, деформаций и перемещений путем создания замкнутой системы, состоящей из уравнений статики, физических уравнений и уравнений Коши, используемых в методе конечных элементов (МКЭ). Для создания конечно-элементной модели выбирались тип конечных элементов и модель, характеризующая свойства материала конструкции (рисунок 2.4).

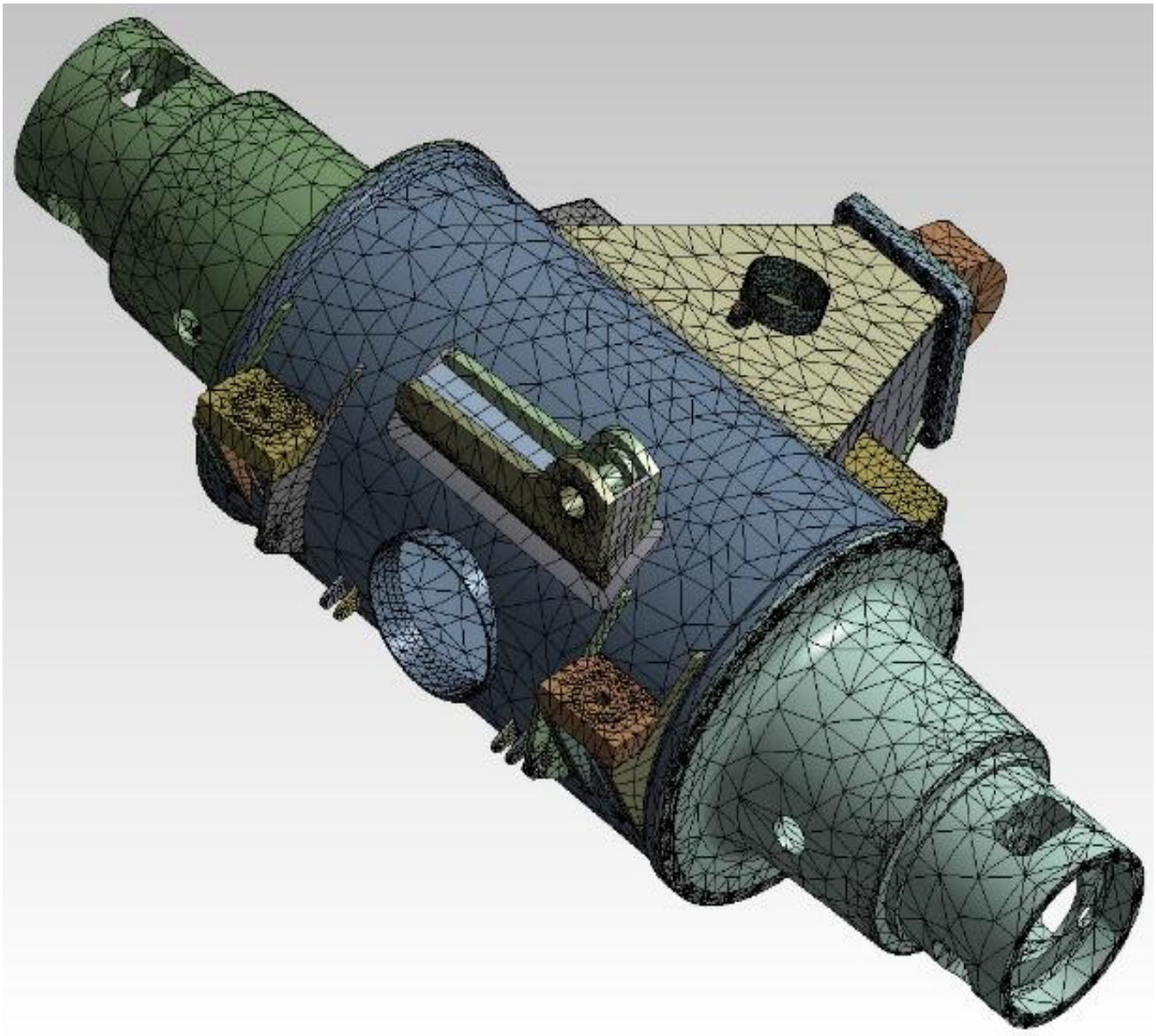
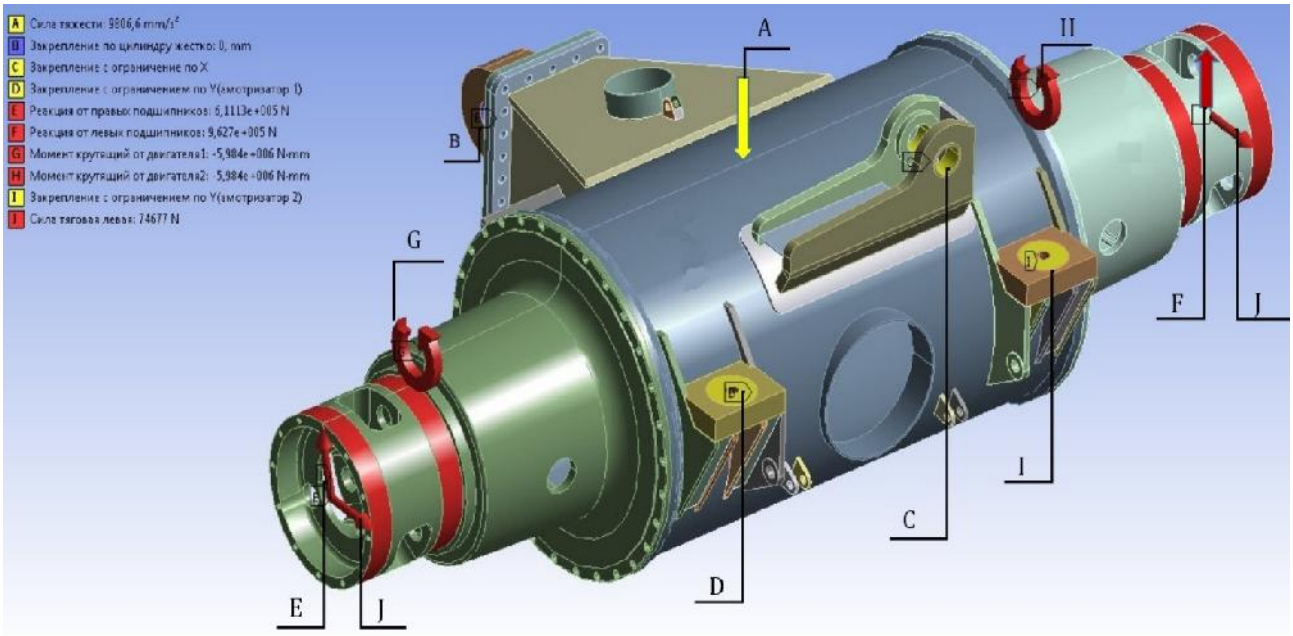


Рисунок 2.4 - Конечно-элементная модель балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

Минимальная длина элемента составила 1 мм, количество узлов в сетке 189613, количество элементов 90546.

На рисунке 2.5 представлена расчетная схема, где обозначены места закрепления балки заднего моста и действующие на него нагрузки.



A – сила тяжести; B – закрепление по цилиндру; C, D, I – закрепления с ограничением; E, F – реакция от опоры подшипников; G, H – крутящий момент от вала двигателя; J – тяговая сила.

Рисунок 2.5 - Расчетная схема элементов заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

Исходные данные для статического расчета напряжено-деформированного состояния металлоконструкций заднего моста представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Исходные данные автосамосвала БелАЗ-75131

Входные данные	
1. Полная масса с грузом (m), кг	237000
2. Допускаемый боковой угол наклона (α), °	10
3. Передаточное отношение редуктора колеса (u)	19
4. Мощность тягового электродвигателя ЭК-420А (Р), кВт	420

Входные данные	
5. Крутящий момент тягового электродвигателя ЭК-420А (М), Н·м	5984
6. Наружный диаметр шин (*D*), мм	3045
7. Смещение центра тяжести при боковом наклоне (*a*), мм	250
8. Расстояние между центрами колеи (*l*), мм	2210
9. Материал корпуса	Сталь 30Л
10. Материал приваренных деталей	Сталь 20

Сила, действующая на задние колеса при движении по горизонтальному участку, рассчитывалась по формуле

$$F_{\text{гор}} = \frac{0{,}67 \cdot m \cdot 9{,}8}{2} = 778865 \text{ Н}.$$

Отношение нагрузок на колеса при наклоне определялась как

$$k = \frac{l + a}{l - a} = 1{,}26.$$

Боковая сила при поперечном наклоне рассчитывалась по формуле

$$F_{\text{бок}} = F_{\text{гор}} \cdot sin\alpha = 135248{,}5 \text{ Н}.$$

Смещенная сила тяжести при поперечном наклоне определялась как

$$F_{\text{т}} = F_{\text{гор}} \cdot cos\alpha = 135248{,}5 \text{ Н}.$$

Силы, действующие на правое и левое колесо при поперечном наклоне, рассчитывались соответственно

$$F_{\text{т}}^{\text{пр}} = \frac{F_{\text{т}}}{k} = 611131{,}4 \text{ Н},$$

$$F_{\text{т}}^{\text{лев}} = F_{\text{т}} \cdot k = 962703{,}8 \text{ Н}.$$

Тяговое усилие, требуемое для разгона автосамосвала до 20 км/ч, определялось как

$$F_{\text{тяг}} = \frac{\text{М} \cdot 2 \cdot u}{D} = 74677{,}2 \text{ Н}.$$

Результаты статического расчета напряженного состояния элементов подвески заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 и зоны наибольшей концентрации напряжений представлены на рисунке 2.6 (при выполнении статического прочностного расчета не учитывались колебания машины от неровностей макропрофиля дороги и вибрационные нагрузки, возникающие в процессе работы редуктора мотор-колеса).

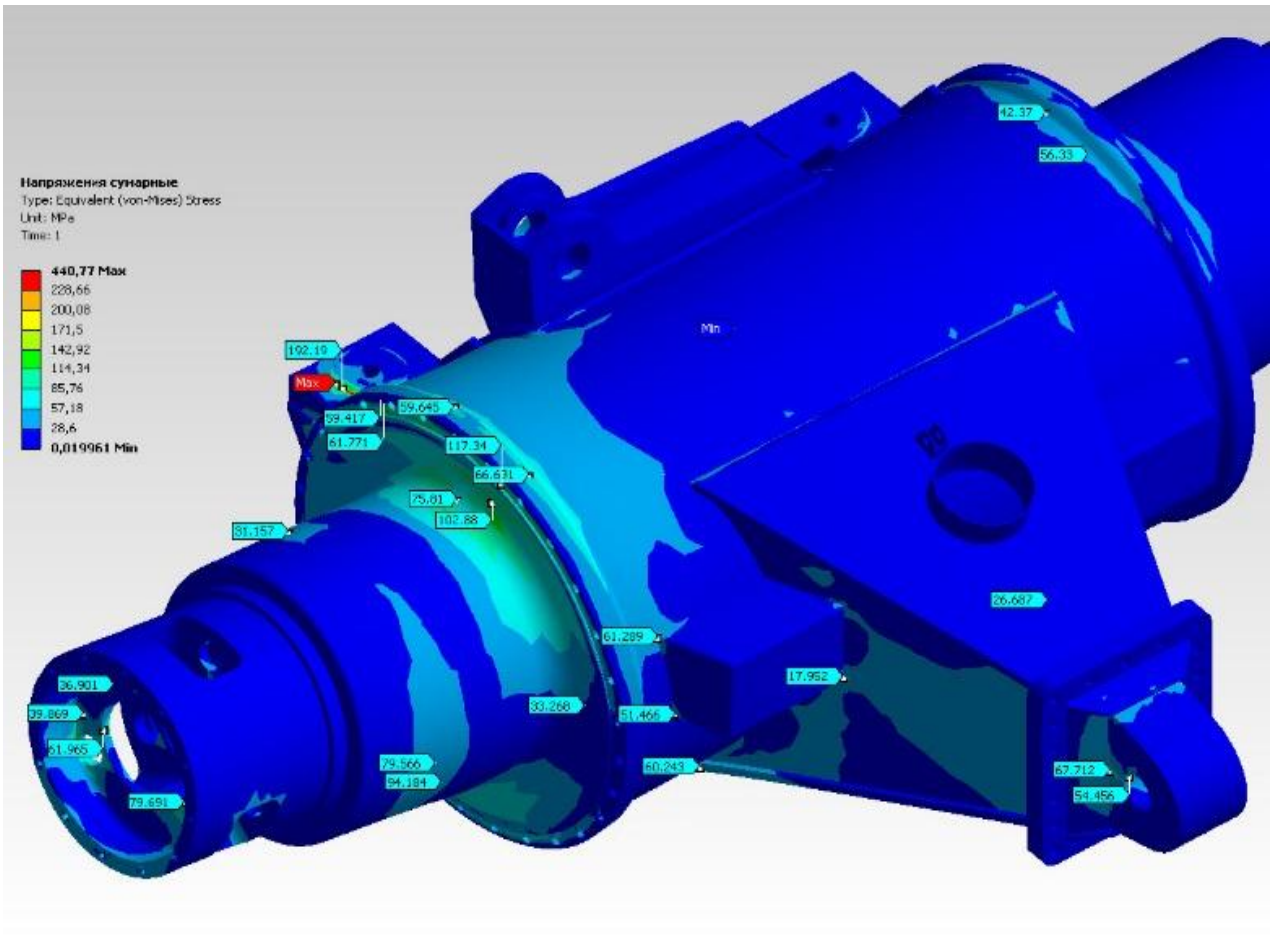


Рисунок 2.6 - Распределение напряжений в характерных зонах балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

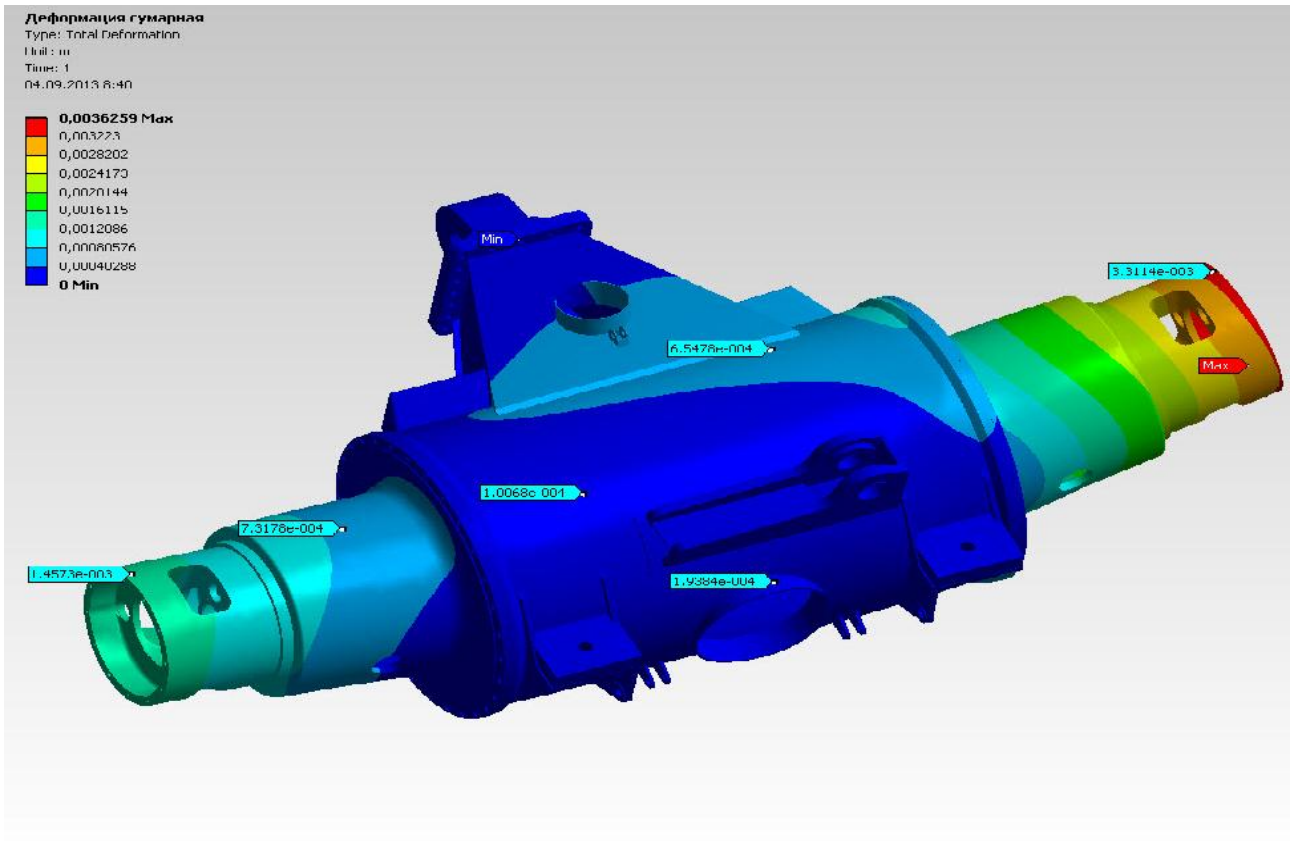
Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния балки заднего моста позволили установить поле напряжений, деформаций и перемещений при заданной геометрии конструкции с учетом свойств материала, действующих нагрузок и граничных условий.

По завершению конечно-элементного анализа и обработки полученных данных установлено, что значения напряжений составляют от 0,02 МПа до

228,66 МПа. Светлым фоном обозначена область распределения напряжений из интервала 85,76-142,92 МПа.

При анализе деформированного состояния учитывались зоны с ограничением деформаций (см. рисунок 2.5): закрепление по цилиндру B, закрепление с ограничением по оси X C (место закрепления с рамой), закрепления с ограничением по оси Y D и I (место крепления цилиндров подвески).

На рисунке 2.7 представлена балка заднего моста при максимально допустимом боковом угле наклона автосамосвала, равном 10°, и распределение суммарных деформаций.



Рисунке 2.7 - Общий вид конструкции заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 и распределение деформаций в его характерных зонах

Из рисунка 2.7 видно, что наибольшие значения деформаций достигаются в зонах установки правого колеса, потому что при поперечном наклоне автосамосвала происходит смещение всей массы в его сторону. Менее всего деформируются под воздействием приложенных нагрузок корпус заднего моста и воздухо-

распределительная коробка. Деформации в местах установки тягового электродвигателя и редукторов мотор-колес заднего моста изменяются в пределах от 0 до 3,626 мм.

Расчетные нагрузки влияют лишь на образование такого вида износа, как усталость металла. В результате большого количества переменных нагрузок возникают зоны концентрации напряжений, что приводит к тому, что макротрещины в материале становятся глубже и прогрессируют до полного разрушения.

2.3 Определение деформаций и напряжений в металлоконструкциях автосамосвалов в процессе их эксплуатации на разрезах Кузбасса

В простейших случаях удается установить некоторые закономерности в изменении напряжений во времени и даже описать их аналитически. Однако чаще всего закон изменения напряжений устанавливается только экспериментально при испытании автосамосвалов в эксплуатационных условиях с непосредственной записью деформаций (напряжений) на ленту осциллографа. Для оценки напряженного состояния заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 в процессе эксплуатации на разрезах Кузбасса (Кедровский, Бачатский, Томусинский) проведены экспериментальные работы с использованием экспериментально-вычислительного центра, в состав которого входят ноутбук, восьмиканальная тензостанция А-17-18, фольговые тензорезисторы 2ФКРВ-3×400, экранированный кабель НВПЭ, предварительный усилитель ZET410, аналого-цифровой преобразователь E14-140D, усилитель напряжения для тензомоста LP-04, аккумуляторная батарея, балансировочная коробка, электромагнитный экран [55]. Для приварки металлической подложки тензорезисторов использовался сварочный аппарат для точечной сварки. Запись измеренных сигналов осуществлялась с помощью программного обеспечения PowerGraph v. 3.3.6 Professional и Zetlab.

Тензорезисторы наклеивались в зонах повышенных напряжений (рисунок 2.8), которые устанавливались на основании результатов статического расчета

3D-модели заднего моста. Затем в процессе эксплуатации автосамосвала их показания передавались на тензостанцию.

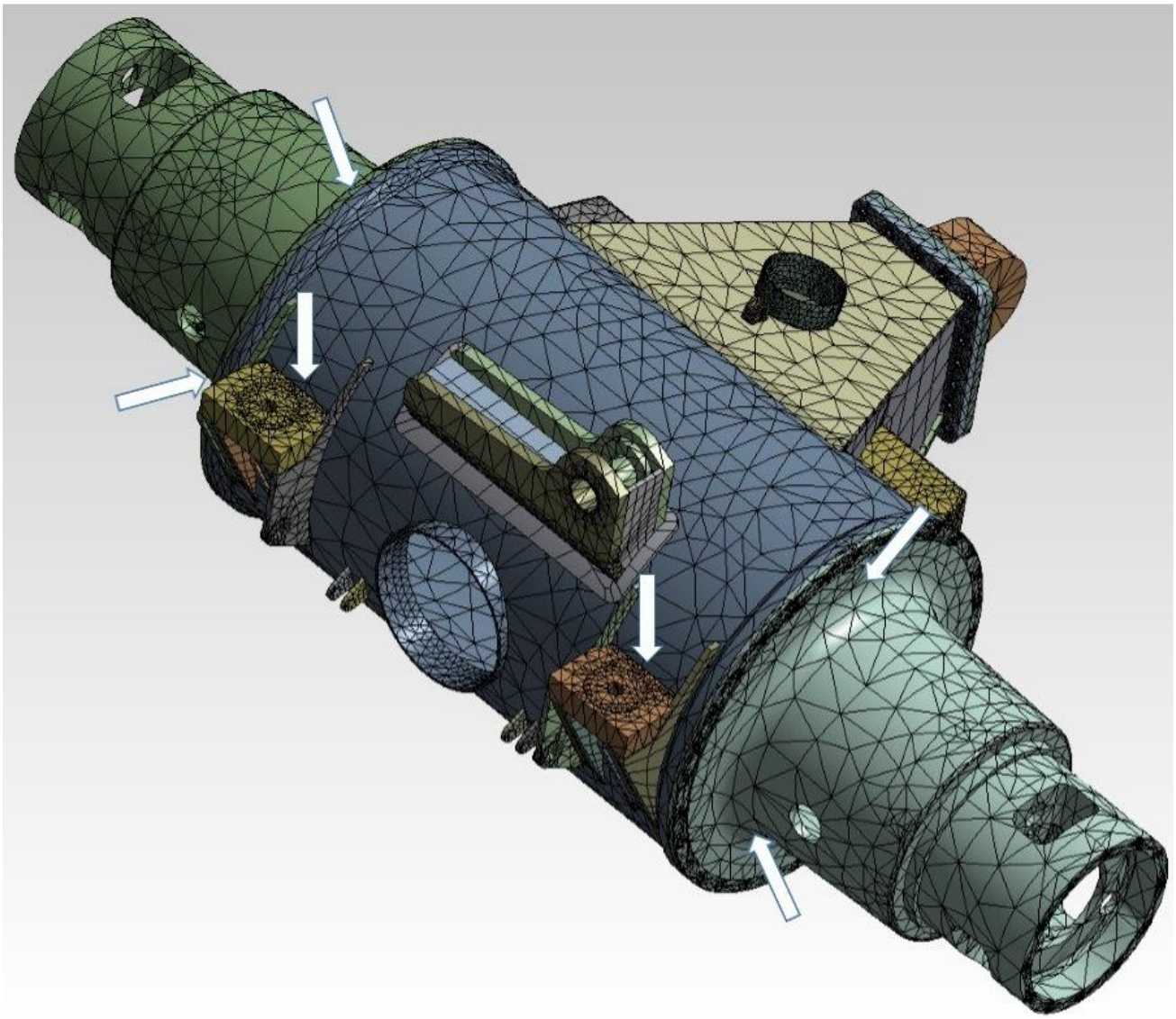


Рисунок 2.8 – Участки крепления тензорезисторов (указаны стрелками) на балке заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

В результате экспериментальных работ получены осциллограммы напряжений во времени при разных циклах нагружения. На рисунке 2.9 представлена отфильтрованная осциллограмма напряжений заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 при транспортировании горной массы от места погрузки до места разгрузки на разрезе ОАО «Кедровский филиал».

Из рисунка 2.9 видно, что участки с наибольшими значениями напряжений характеризуют движение груженого автосамосвала на уклоне с подъемом трассы с поворотом.

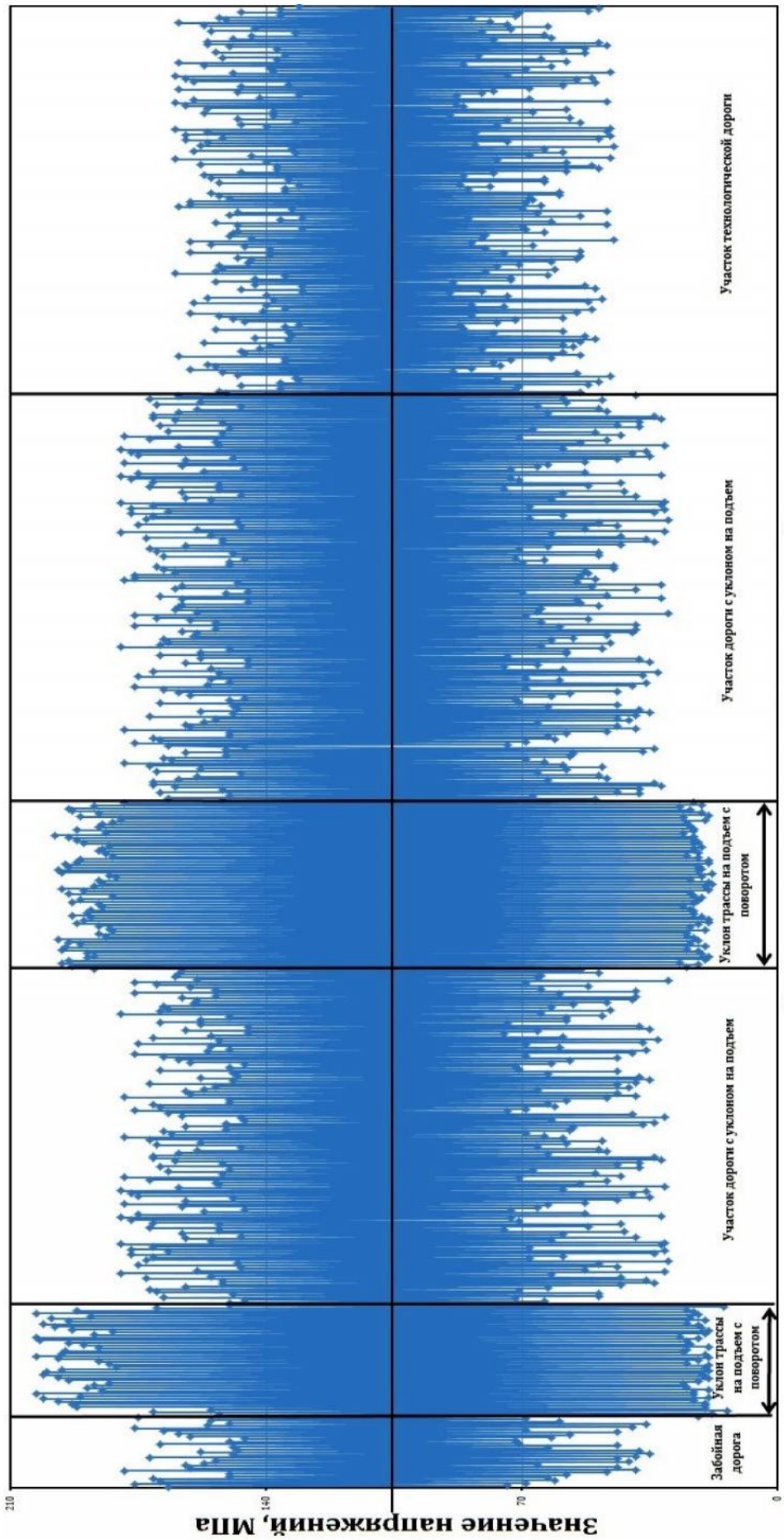


Рисунок 2.9 – Отфильтрованная осциллограмма напряжений заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 при движении от пункта загрузки до пункта разгрузки

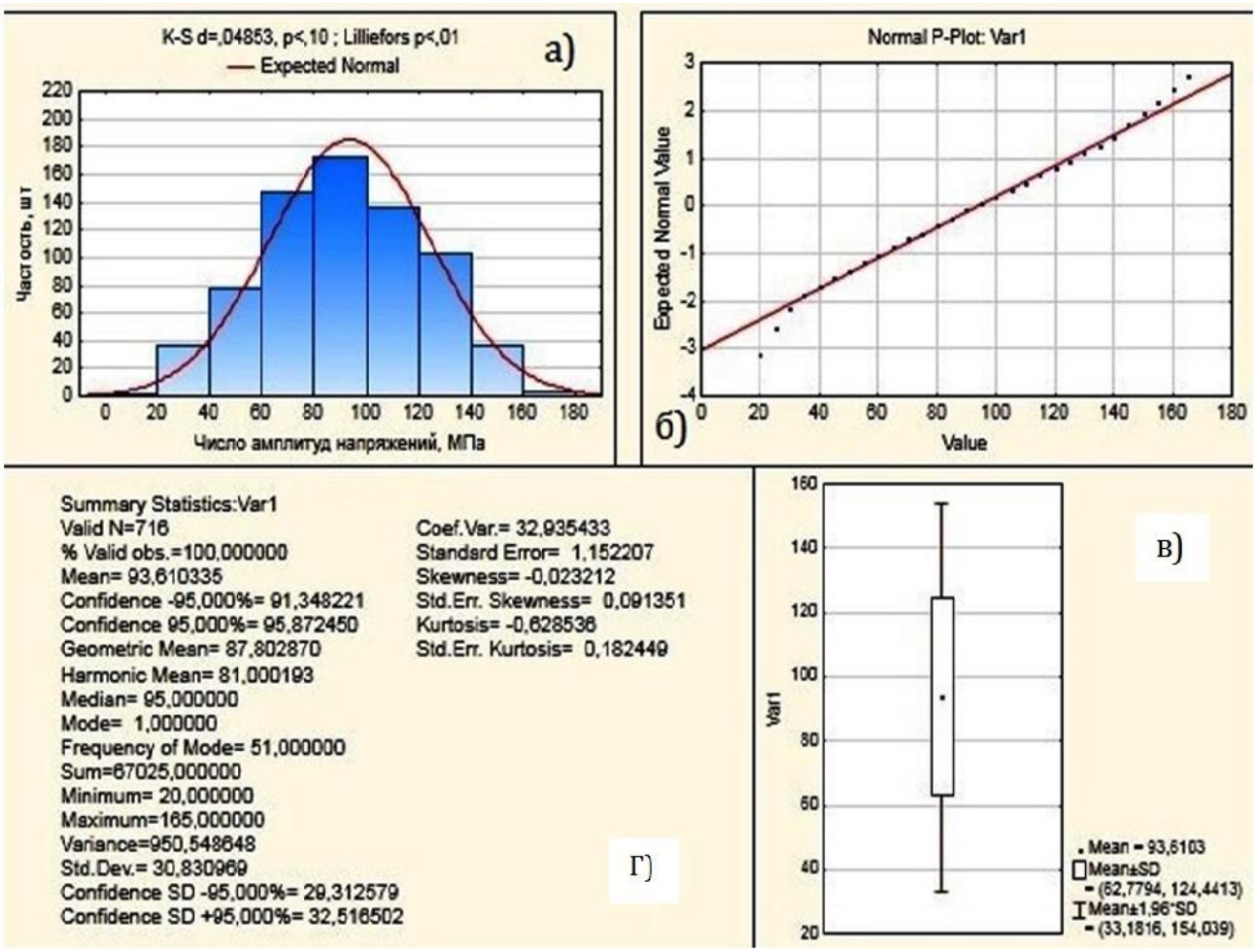
При прохождении участка трассы на подъем с поворотом груженого автосамосвала в металлоконструкциях балки заднего моста возникают более высокие рабочие напряжения, чем при движении по прямым забойным и технологическим дорогам. Влияние неровностей макропрофиля дороги отображаются на диаграмме всплесками напряжений.

Обработка полученных осциллограмм производилась путем разметки точек максимума и минимума. Каждая последующая полуразность между максимальным и минимальным напряжениями принималась за амплитуду очередного цикла. Полученное в результате обмеров множество значений амплитуд характеризовалось блоком, число амплитуд (500-700) в котором было репрезентативным для статистической обработки.

Отфильтрованная осциллограмма разбивалась на блоки. За блок принимался цикл эксплуатации автосамосвала – время от погрузки автосамосвала до погрузки. То есть, цикл эксплуатации состоит из погрузки автосамосвала, транспортирования горной массы до места разгрузки, разгрузки автосамосвала, движения до места погрузки, ожидания погрузки. При фильтрации осциллограммы учитывалось то, что при ожидании разгрузки и погрузки и в момент разгрузки напряжения в элементах подвески заднего моста автосамосвала не существенно влияют на его ресурс. Число амплитуд в блоке является репрезентативным. Подсчет циклов, имеющих определенную амплитуду в пределах заданного интервала напряжений. Все замеренные амплитуды разбивались на группы с определенным интервалом. По полученным результатам строилась ступенчатая диаграмма и определялось распределение, которому соответствовал спектр гистограммы. Спектр является основной характеристикой нестационарных циклов. Далее по гистограмме для каждого блока выбиралось значение амплитуды, которое соответствовало данному циклу эксплуатации.

Анализируя работу автосамосвала БелАЗ-75131 на разрезе ОАО «Кедровский филиал» при транспортировании горной массы от забоя до отвала и обратно в забой в течение одного месяца, было установлено количество циклов эксплуатации. Расстояние перевозки при этом варьировалось от 1,5 км до

3 км, среднее количество циклов за один рабочий день составляло 51. На рисунке 2.10 представлен суммарный анализ нормального распределения.



а) ступенчатая гистограмма; б) нормальный вероятностный график; в) диаграмма размаха; г) коэффициенты и характеристики статистической обработки.

Рисунок 2.10 - Суммарный статистический анализ амплитуд напряжений

На рисунке 2.10а представлена ступенчатая гистограмма нормального распределения амплитуд напряжений. При проверке их распределения показатель теста Колмогорова-Смирнова составил p <0,1, что доказывает соответствие нормальности распределения. На нормальном вероятностном графике (рисунок 2.10б) отображено достаточно малое количество выбросов, которыми можно пренебречь. Это свидетельствует о том, что распределение амплитуд напряжений максимально близко к нормальному закону.

На рисунке 2.10в представлена диаграмма размаха. Отсутствие выбросов и асимметрии также подтверждает максимальное соответствие нормальному закону распределения.

Все характеристики и параметры статистического анализа нормального распределения представлены на рисунке 2.10г. Наибольший интерес представляют коэффициенты асимметрии (Skewness) и эксцесса (Kurtosis). Коэффициент асимметрии составил минус 0,02, что свидетельствует о левостороннем смещении, однако, числовое значение коэффициента меньше 0,25. Следовательно, асимметрия незначительна, а ее наличие обусловлено влиянием случайных обстоятельств. Коэффициент эксцесса составил минус 0,62, что доказывает отсутствие «островершинности» распределения.

2.4 3D-моделирование металлоконструкций заднего моста ходовой части автосамосвала БелАЗ-75131: расчет при циклических нагрузках

При движении автосамосвала по забойным и технологическим дорогам в металлоконструкциях его заднего моста под действием переменных во времени нагрузок возникают напряжения, величина которых часто превышает предел выносливости. То есть в итоге в конструкциях образуются микро- и макротрещины, которые со временем прогрессируют и приводят к полному разрушению элемента конструкции.

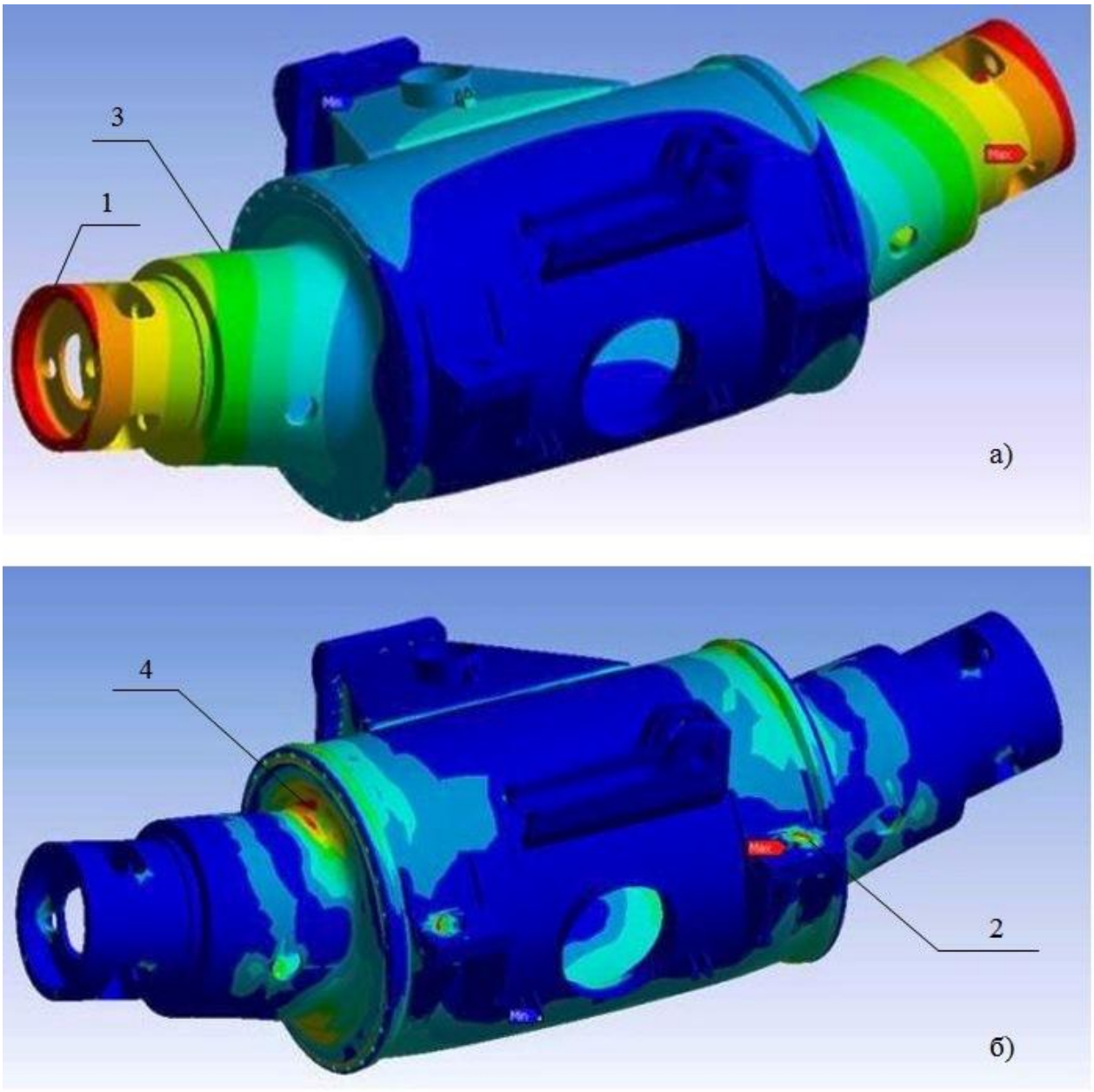
Оценка интенсивности суммарных деформаций и напряжений в металлоконструкциях заднего моста за один рейс эксплуатации производилась с использованием диапазона точек отфильтрованных осциллограмм напряжений, с помощью которых устанавливался график нагружения его элементов. Часть данных, необходимых для построения графика нагружения, представлена в таблице 2.2.

Из таблицы 2.2 видно, что в процессе эксплуатации автосамосвала БелАЗ-75131 крутящий момент двигателя и тяговая сила остаются постоянными, а сила тяжести на правое и левое колеса изменяется во времени.

Таблица 2.2 – Часть данных графика нагружения заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

Точка замера, с	**Сила тяжести на левое колесо, Н**	**Сила тяжести на правое колесо, Н**	**Крутящий момент двигателя, Н·м**	**Тяговая сила, Н**
1	685841	536421	3590	44806
2	697225	525037	3590	44806
3	654537	567725	3590	44806
4	665921	556341	3590	44806
5	591929	630333	3590	44806
6	560625	661637	3590	44806
7	620388	601874	3590	44806
8	583392	638870	3590	44806
9	648846	573416	3590	44806
10	563471	658791	3590	44806
11	563471	658791	3590	44806
12	600467	621795	3590	44806
13	523630	698632	3590	44806
14	557780	664482	3590	44806
15	600467	621795	3590	44806
16	549242	673020	3590	44806
17	682996	539266	3590	44806
18	631771	590491	3590	44806
19	591929	630333	3590	44806
20	620388	601874	3590	44806

Путем расчета 3D-модели производилась оценка напряженно-деформированного состояния балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 в процессе транспортирования горной массы (рисунок 2.11).



а) суммарные деформации; б) суммарные напряжения.

Рисунок 2.11 - Графическое представление напряженно-деформированного состояния металлоконструкций заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 (расчет при циклических нагрузках)

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 при нестационарном цикле нагружения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Суммарные деформации и напряжения металлоконструкций балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131

Точка расчета	**Суммарные деформации, мм**	**Суммарные напряжения, МПа**
1. Левая (правая) область установки колес (1)	1,9	0,1
2. Левая (правая) стойка крепления цилиндра подвески (2)	0,2	240
3. Центральная область корпуса редуктора мотор-колеса (3)	0,6	38,7
4. Соединительная стенка корпуса редуктора мотор-колеса с картером (4)	0,4	200

Из таблицы 2.3 видно, что значения суммарных деформаций кручения и изгиба не превышают 2 мм, а суммарные напряжения достигают 240 МПа. Следовательно, возникающие во время эксплуатации суммарные деформации и напряжения влияют на образование и рост трещин.

На рисунке 2.11а графически отображены суммарные деформации балки заднего моста. Наибольших значений деформации достигают на корпусе редуктора мотор-колеса и в местах установки колес.

На рисунке 2.11б показаны области распределения наибольших напряжений. В отличие от расчета при статическом нагружении, когда максимальные напряжения возникают лишь в местах крепления цилиндров подвески, при нестационарной нагрузке наиболее опасные области образуются и в местах соединения картера заднего моста и корпуса электромотор-колеса.

В процессе диагностики в производственных условиях была исследована трещина, образовавшаяся в области соединения стойки для крепления цилиндра подвески и картера. Для расчета параметров усталостной долговечности в балке заднего моста использовалась модель установленной трещины, которая имела

прямоугольную форму размером 200х20 мм. По результатам расчета определялись такие показатели долговечности, как коэффициент запаса по амплитудам напряжений, количество циклов нагружения до отказа.

Коэффициент запаса по амплитудам напряжений определялся по формуле

$$n_{SF}^{\sigma} = \sigma_{аэкв}/\sigma_{а}\ , \qquad (2.3)$$

где $\sigma_{а}$ – текущая амплитуда напряжений, МПа; $\sigma_{аэкв}$ - эквивалентная амплитуда напряжений, полученная после сведения к эквивалентному по повреждаемости симметричному циклу приведенных характеристик одноосного цикла нагружения, МПа.

Результаты расчета показателей долговечности металлоконструкций балки заднего моста в вершинах заданной трещины представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Показатели долговечности металлоконструкций балки заднего моста в вершинах заданной трещины

Вершины трещины	**Значения напряжений, МПа**	**Коэффициент запаса прочности по амплитудам напряжений**	**Количество циклов нагружения до отказа**
1. Нижняя	380,55	1,71	78764
2. Верхняя	525,74	1,58	32170

Из таблицы 2.4 видно, что с увеличением напряжений практически в 1,5 раза количество циклов нагружения до отказа уменьшается в 2 раза, что приводит к значительному снижению ресурса металлоконструкции.

С помощью полученных показателей долговечности была построена зависимость возникающих напряжений от числа циклов нагружения до отказа (рисунок 2.12).

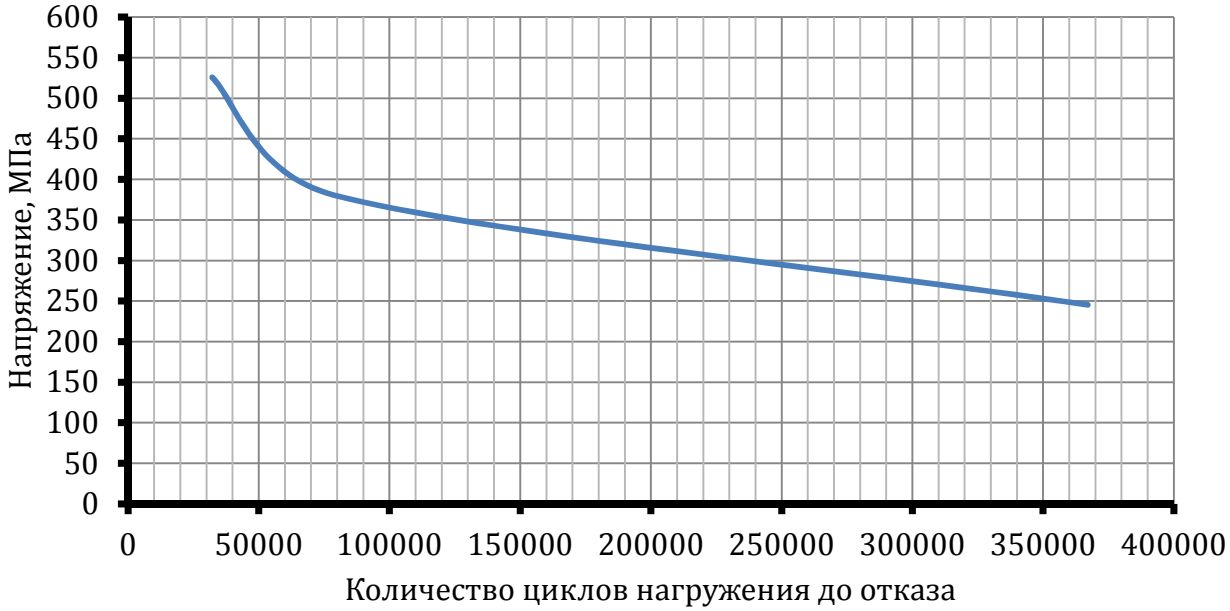


Рисунок 2.12 - Зависимость возникающих напряжений от циклов нагружения до отказа

С помощью полученной зависимости определялось количество циклов до отказа с учетом действующих в процессе эксплуатации автосамосвала напряжений, возникающих в конструкциях балки заднего моста при нестационарном режиме нагружения.

Предел выносливости для материала сталь 30Л, из которого изготовлены элементы корпуса заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131, составляет 215 МПа. Если рабочие напряжения, возникающие в металлоконструкциях во время эксплуатации, не превышают данное значение, количество циклов нагружения до отказа составляет 10^6 [5], то есть автомобиль работает на пределе выносливости.

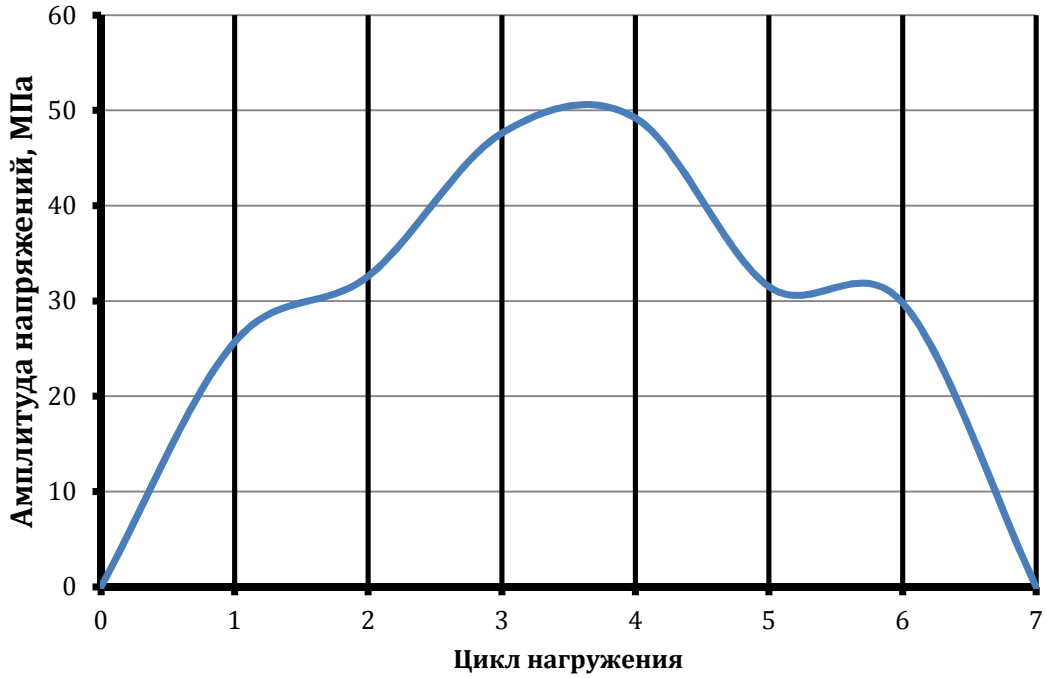
В промышленных условиях эксплуатация большегрузных автосамосвалов ведется в сложных горно-технологических условиях. Факторы, влияющие на значения рабочих напряжений в металлоконструкциях, непостоянны [54]. Количество циклов нагружения до отказа металлоконструкций заднего моста определялось из выражения, полученного путем аппроксимации данных:

$$N = 1 \cdot 10^{14} M_{\sigma a}^{-3,52}, \quad (2.5)$$

где $M_{\sigma a}$ - математическое ожидание амплитуды напряжений, МПа.

Коэффициент детерминации составляет 0,97. Полученной зависимостью можно пользоваться при оперативном решении практических задач.

На рисунке 2.13 отображена однопараметрическая схематизация случайного нагружения, построенная с помощью результатов статистической обработки амплитуд напряжений, полученных экспериментально при исследовании напряженного и деформированного состояния металлоконструкций заднего моста большегрузных автосамосвалов при транспортировании взорванной горной массы от пункта загрузки до пункта разгрузки.



0-1 – погрузка автосамосвала;
1-2 – движение автосамосвала по забойной дороге;
2-4 – движение автосамосвала на подъем;
4-6 – движение автосамосвала по технологической дороге;
6-7 – разгрузка автосамосвала.

Рисунок 2.13 - Диаграмма распределения амплитуды напряжений по циклам нагружения при движении автосамосвала БелАЗ-75131 от забоя до отвала

Из диаграммы видно, что интенсивный рост напряжений в металлоконструкциях заднего моста подвески автосамосвала происходит на участках при движении на подъем.

2.5 Выводы

1 Получено уравнение роста трещины в местах крепления гидроцилиндров подвески $l_{кр} = (5{,}26 - 2{,}7 \cdot 10^{-5} \cdot N)^{-1{,}33}$.

2 Определены зоны повышенной концентрации напряжений: места установки гидроцилиндров подвески, корпуса редуктора мотор-колеса и крепления с рамой.

3 Установлено нормальное распределение амплитуд напряжений, для которого показатель теста Колмогорова-Смирнова составил p <0,1.

4 По результатам расчета показателей долговечности установлено, что коэффициент запаса прочности по амплитудам напряжений варьируется от 1,6 до 1,7 при изменении напряжений в элементах металлоконструкций в интервале 380-530 МПа.

5 Получена степенная зависимость между количеством циклов нагружений и амплитудой напряжений с коэффициентом детерминации 0,97, позволяющая оперативно оценивать долговечность металлоконструкций балки заднего моста.

3 ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ КАРЬЕРНЫМИ АВТОСАМОСВАЛАМИ

3.1 Методика оценки энергоемкости процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами

За критерий оценки энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров была принята величина удельных затрат энергии, которая определялась по формуле, предложенной профессором Ю.И. Лелем,

$$P_{\text{ф}} = \frac{g}{i} \cdot k_{пер} \cdot k_{уТ} \cdot k_{\text{д}} , \quad (3.1)$$

где $P_ф$ – удельные затраты энергии на транспортирование 1 т горной массы на 1 м, г.у. т./т·м (грамм условного топлива/т·м); g – удельный расход дизтоплива автосамосвала, г/т·м; i – уклон трассы, ‰; $k_{пер}$ – коэффициент переработки, учитывающий затраты энергии на получение дизтоплива из нефти ($k_{пер}$=1,18÷1,20) [74]; $k_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий затраты энергии на добычу и транспортирование топлива ($k_д$=1,04÷1,10) [5]; $k_{уТ}$ – коэффициент, учитывающий разницу удельной теплоты сгорания дизельного и условного топлива ($k_{ут}$=1,5).

Удельный расход дизтоплива автосамосвала вычислялся из выражения

$$g = \frac{Q}{m \cdot l}, \quad (3.2)$$

где Q – расход дизтоплива, г; m – масса перевозимого груза, т; l – расстояние транспортирования, м.

Коэффициент полезного использования энергии (η) определялся по формуле [43]

$$\eta = \frac{P_T}{P_{\text{ф}} \cdot Q_{у.Т}} \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

где $P_Т$ – теоретически необходимая величина расхода энергии на транспортирование 1 т горной массы на 1 м ($P_Т$ =9,81 кДж/т·м); $Q_{у.Т}$ – удельная теплота сгорания условного топлива ($Q_{у.Т}$ = 29,3 кДж/г).

Удельная работа по перевозке горной массы вычислялась из выражения [43]

$$A = P_{\text{ф}} \cdot k_T + 1 \cdot \frac{\omega_0}{i} + 1 \quad , \tag{3.4}$$

где A – удельная работа по перевозке горной массы, кДж/т·м; k_T – коэффициент тары автосамосвала; ω_0 – коэффициент сопротивления движению груженого автосамосвала; i – уклон трассы, ‰.

Такие составляющие, как коэффициент сопротивления движению груженого автосамосвала (ω_0), уклон трассы (i), удельные затраты энергии на транспортирование горной массы ($P_ф$) влияют, как на удельную работу, характеризующую энергоемкость, так и на долговечность автосамосвала.

Для определения расхода топлива на разрезе ОАО «Кедровский филиал» был проведен мониторинг работы автосамосвалов БелАЗ-75131 в течение одного месяца в различных горно-геологических и технологических условиях. Угол наклона при подъемах на борт изменялся от 20 до 60 ‰. Этот диапазон был разбит на участки с шагом 10 ‰. Анализ показал, что автосамосвалы большую часть времени работали на участках с углом подъема трассы 50-60 ‰.

Для обследования было принято два автосамосвала с разным сроком эксплуатации, пробег которых с начала эксплуатации составлял: БелАЗ-75131 №1207 – 200000 км, БелАЗ-75131 №1345 – 80000 км.

В результате проведенных расчетов были построены графики удельных затрат энергии для самосвалов БелАЗ-75131 различного пробега при уклоне 50-60 ‰ за декабрь 2012 года (рисунок 3.1, 3.2).

Из области распределения точек видно, что процесс транспортирования горной массы, характеризующийся удельными затратами энергии, является нестационарным и аналитическое описание его затруднительно. Поэтому задача по энергетической оценке эксплуатации карьерного автотранспорта решалась экспериментально в производственных условиях с использованием базовых моделей автосамосвалов БелАЗ (под базовыми моделями понимается автосамосвал БелАЗ, на базе которого были спроектированы различные модификации). При этом оценивалось влияние различных горно-технологических факторов на удельные затра-

ты энергии в процессе транспортирования взорванной горной массы автосамосвалами, а также проанализирована зависимость между такими показателями, как удельная работа по подъему горной массы и коэффициент полезного использования энергии, которые напрямую зависят от удельных затрат энергии.

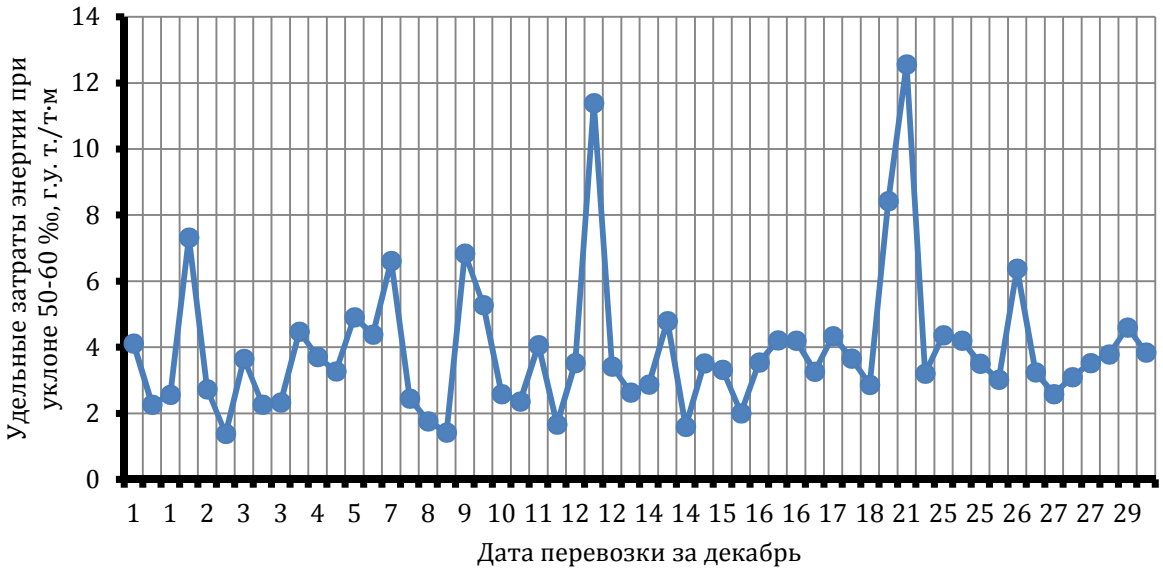


Рисунок 3.1 - График удельных затрат энергии автосамосвала БелАЗ-75131 № 1207 при уклоне 50-60 ‰

Рисунок 3.2 - График удельных затрат энергии автосамосвала БелАЗ-75131 № 1345 при уклоне 50-60 ‰

Анализируя работу автосамосвала БелАЗ-75131 в течение одного месяца, установлено количество циклов эксплуатации при варьировании расстояния пере-

возки от 1,5 км до 3 км, где среднее количество циклов за один рабочий день составило 51.

С целью определения удельной работы, затраченной на транспортирование горной массы, были проведены хронометражные наблюдения в процессе эксплуатации автосамосвалов в различных горно-технологических условиях. Коэффициент сопротивления движению груженого самосвала (ω_0) принимался равным 0,1; 0,2; 0,3.

После обработки и анализа результатов наблюдений в процессе транспортирования автосамосвалом БелАЗ-75131 в течение января и февраля месяцев построены зависимости, отображающие работу по перевозке горной массы (рисунок 3.3, 3.4).

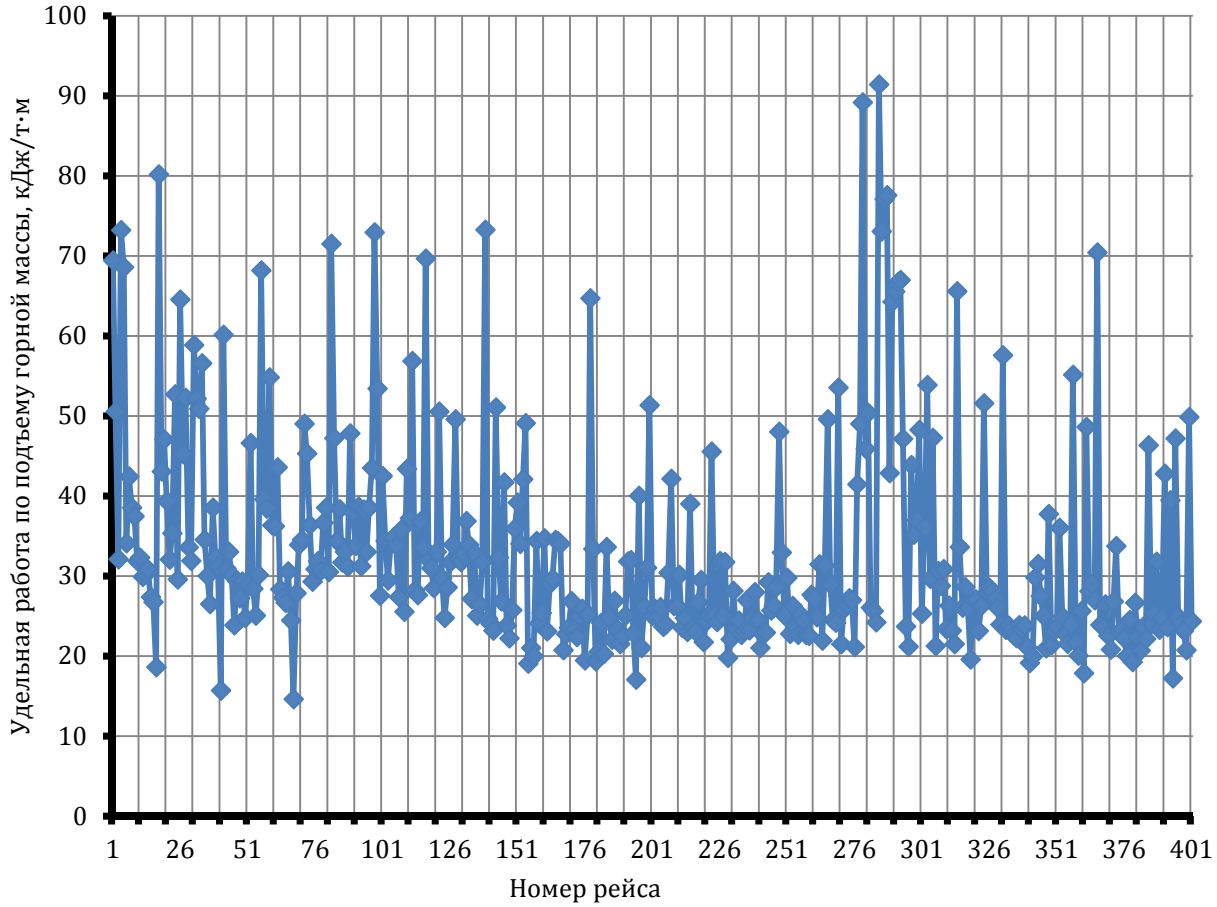


Рисунок 3.3 - Изменение удельной работы по перевозке горной массы автосамосвалом БелАЗ-75131 за январь 2011г при расстоянии транспортирования 1,75-2,5 км

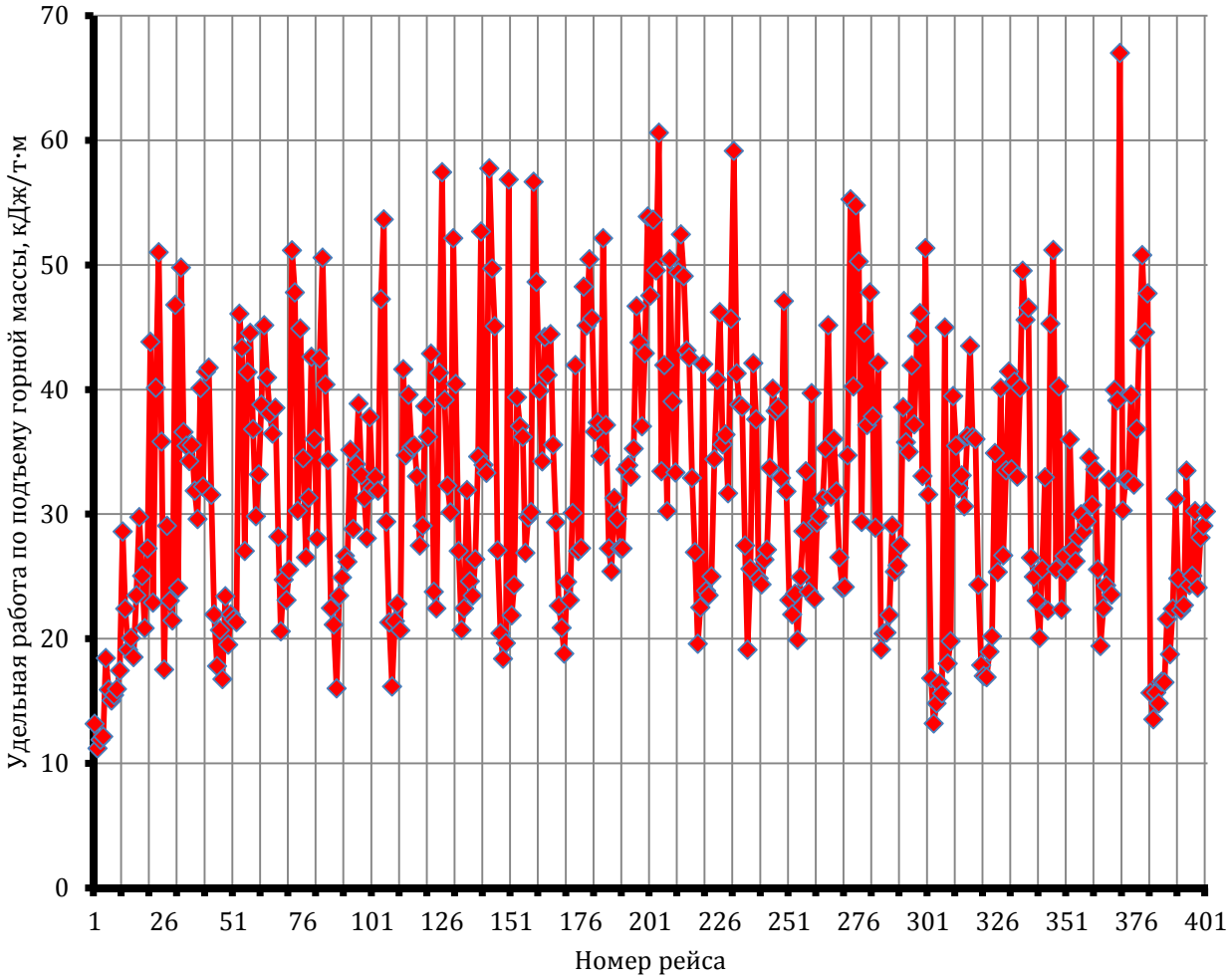


Рисунок 3.4 - Изменение удельной работы по перевозке горной массы автосамосвалом БелАЗ-75131 за февраль 2011 г при расстоянии транспортирования 2,75-3,5 км

Каждая точка на графике соответствует значению удельной работы на транспортирование взорванной горной массы за один цикл эксплуатации автосамосвала. Из области распределения точек видно, что изменение значений работы по перевозке горной массы за рейс невозможно описать функциональным законом.

В результате выполненных работ и анализа результатов расчета были построены зависимости коэффициента полезного использования энергии от удельной работы автосамосвала по транспортированию горной массы при ω_0 равном 0,1 (рисунок 3.5, 3.6). Из рисунков 3.5 и 3.6 видно, что коэффициент детерминации степенной функции составляет в среднем 0,99.

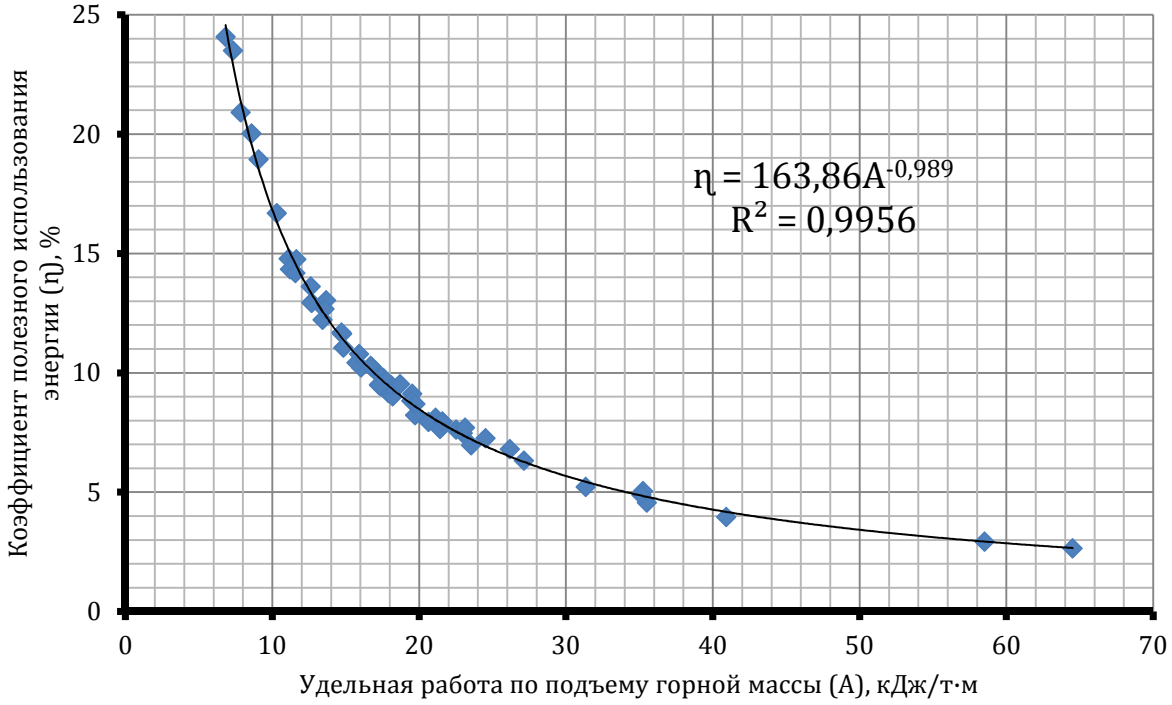


Рисунок 3.5 - Зависимость коэффициента полезного использования энергии (η) от удельной работы по транспортированию горной массы (А) автосамосвала БелАЗ-75131 № 1207

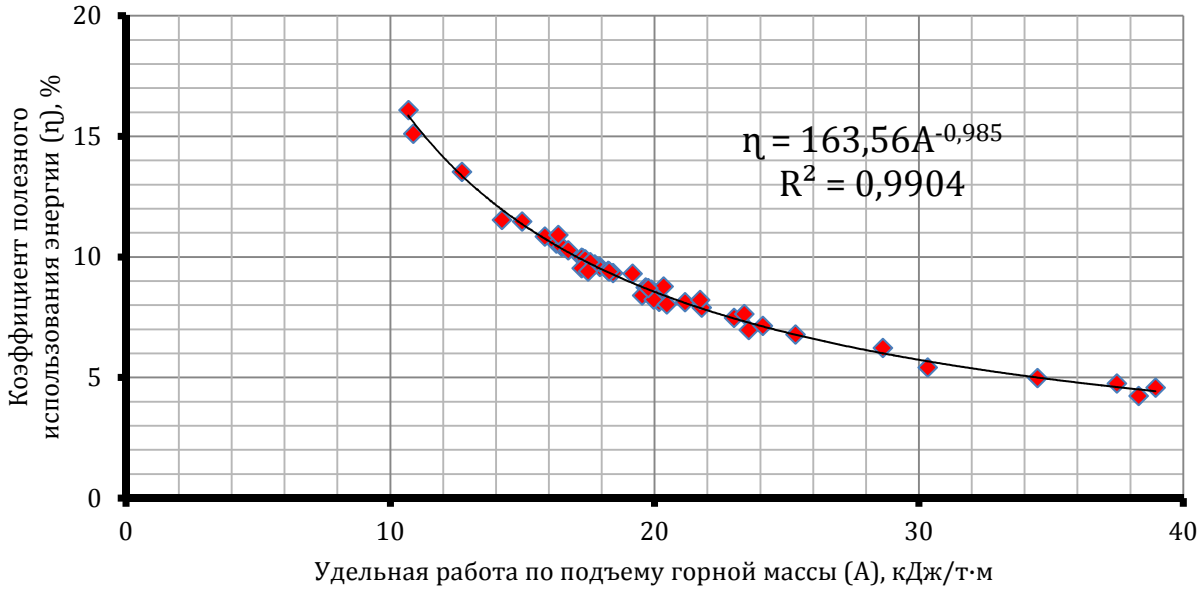


Рисунок 3.6 - Зависимость коэффициента полезного использования энергии (η) от удельной работы по транспортированию горной массы (А) автосамосвала БелАЗ-75131 № 1345

Результаты подбора математической модели для описания экспериментальной зависимости приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Законы распределения и функциональные зависимости

Вид функции	**Функциональная зависимость**		**Коэффициент детерминации**	
	БелАЗ-75131 № 1345	БелАЗ-75131 № 1207	БелАЗ-75131 №1345	БелАЗ-75131 №1207
Экспоненциальный	$\eta = 20{,}7e^{-0{,}04A}$	$\eta = 20{,}8e^{-0{,}04A}$	0,95	0,88
Линейный	$\eta = -0{,}34A + 16$	$\eta = -0{,}3A + 17{,}1$	0,83	0,62
Логарифмический	$\eta = -8{,}3\ln(A) + 33{,}6$	$\eta = -9{,}566\ln(A) + 38$	0,95	0,89
Параболический	$\eta = 0{,}02A^2 – 1{,}2A + 25{,}5$	$\eta = 0{,}02A^2 - 1{,}1A + 26{,}1$	0,98	0,89
Степенной	$\eta = 163{,}6A^{-0{,}99}$	$\eta = 163{,}9A^{-0{,}99}$	0,99	0,99

Примечание: БелАЗ-75131 № 1345 - пробег 80000 км;

БелАЗ-75131 № 1207 - пробег 200000 км.

Анализ математических моделей показал, что зависимость коэффициента полезного использования энергии от удельной работы по транспортированию горной массы для автосамосвала БелАЗ-75131 различного пробега описывается общей эмпирической зависимостью

$$\eta = \frac{163}{A}.$$

С учетом полученных результатов по изменению удельных затрат энергии, коэффициента полезного использования энергии и удельной работы на перевозку горной массы проведена комплексная оценка энергоемкости процесса транспортирования автосамосвалами БелАЗ-75131 (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Показатели энергоемкости автосамосвалов БелАЗ 75131 № 1207 (числитель) и № 1345 (знаменатель) за декабрь

Уклон, ‰	**Расстояние перевозки, км**	**Удельные затраты энергии, г.у.т./т·м**	**Коэффициент полезного использования энергии, %**	**Значение удельной работы по транспортированию горной массы, кДж/ т·м**		
				При коэффициенте сопротивления движению груженого автосамосвала		
				ω_0=0,1	**ω_0=0,2**	**ω_0=0,3**
51	1,1-2,9 / 1,1-2,8	2,6-6,6 / 3,1-7,3	5,1-13,1 / 4,6-10,9	13,7-35,2 / 16,3-38,9	22,7-58,6 / 27,2-64,8	43,5-81,9 / 38,0-90,6
54	1,2-5,0 / 1,75-4,65	2,0-12,6 / 2,1-6,7	2,7-20 / 4,9-16	7,3-64,5 / 10,7-34,5	12,1-106,4 / 17,6-56,9	16,8-148,3 / 24,6-79,3
58	1,0-3,5 / 1,7-3,7	1,4-6,4 / 2,2-6,1	5,2-24 / 5,4-15,1	6,8-31,3 / 10,9-30,3	11,1-51,2 / 17,7-49,5	15,4-71 / 24,6-68,7
59	0,8-1,5 / 1,15	4,1-8,4 / 7,9	3,9-8,2 / 4,2	19,7-40,9 / 38,3	32,1-66,6 / 62,4	44,5-92,4 / 86,5

Из таблицы 3.2 видно, что при изменении расстояния транспортирования в 2,5 раза удельные затраты энергии увеличиваются практически в 3 раза.

Определяющим фактором состояния карьерных дорог является коэффициент сопротивления движению. При увеличении его на 0,1 значение удельной работы по транспортированию горной массы возрастает в 2-2,5 раза.

Показатель удельных затрат энергии автосамосвалов в процессе транспортирования полезных ископаемых является универсальным параметром энергоемкости, учитывающим комплексное влияние различных горно-технологических факторов: расстояния перевозки, веса перевозимой горной массы, затрат дизтоплива, угла наклона трассы.

3.2 Влияние горно-технологических условий транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами на их энергоемкость

В настоящее время угольные разрезы Кузбасса в основном оснащены автосамосвалами различной грузоподъёмности ЗАО «БелАЗ» и рядом зарубежных фирм. Для энергетической оценки транспортирования горной массы с использованием большегрузных автосамосвалов принята величина удельных затрат энергии (г.у.т./т·м) на перевозку 1 т. Установлено, что на удельные затраты энергии существенное влияние оказывают такие показатели как перегруз автомобиля, уклон трассы на подъем и другие (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Факторы, влияющие на производительность автотранспорта

Горно-технологические	**Технические**
1. Состояние дорог	7. Мощность двигателя
2. Подъемы, спуски	8. Перегруз автосамосвала
3. Повороты	9. Скорость движения
4. Переезды	10. Пробег с начала эксплуатации
5. Уклон трассы на подъем	11. Исправность топливной системы
6. Расстояние перевозки	и двигателя

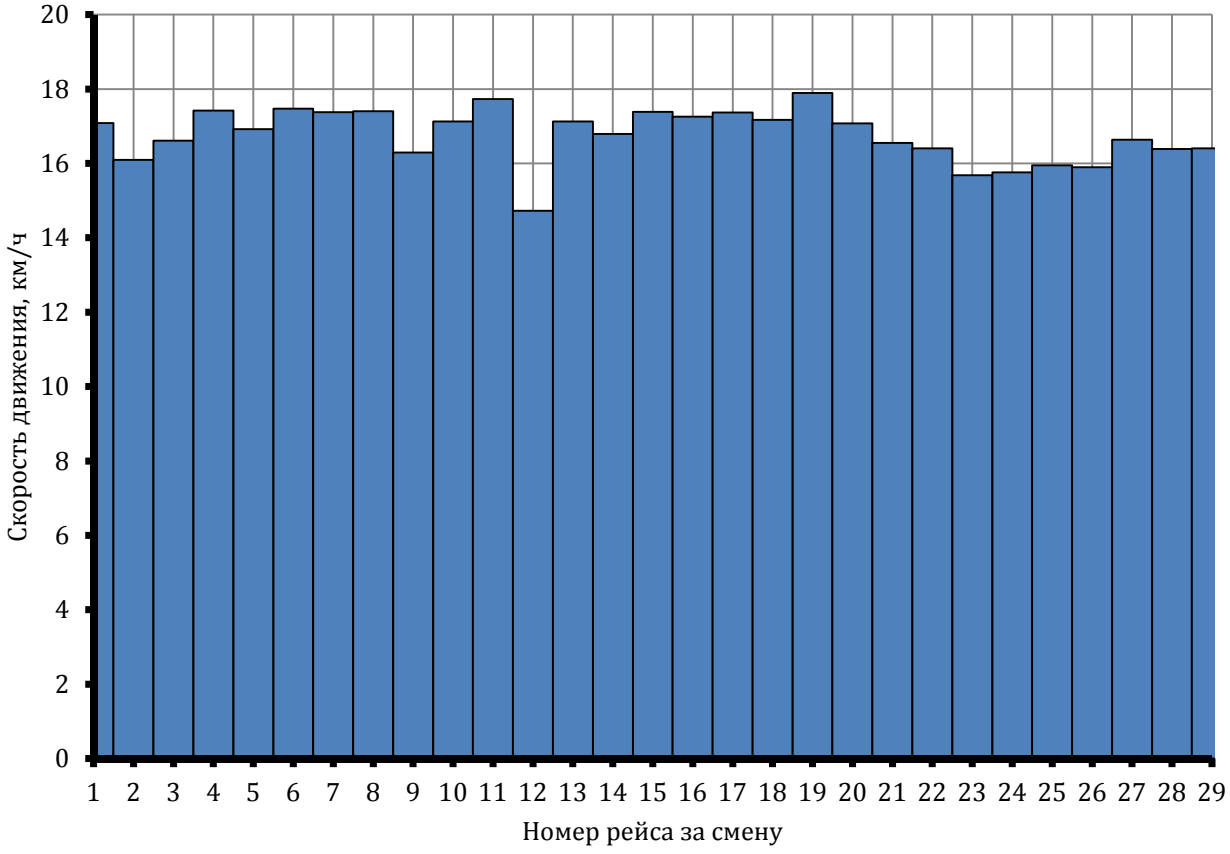
Транспортирование горной массы большегрузными автосамосвалами по показателям энергоемкости можно разделить на энергопотребляющие и энергосохраняющие режимы.

К энергосохраняющим относятся такие этапы транспортировки, как погрузка-разгрузка, ожидание погрузки, пересмена, обеденный перерыв. На этих этапах не происходит движения автосамосвала, двигатель работает на холостых оборотах, следовательно, нет существенных затрат энергии. Влияние на энергоемкость оказывает только исправность топливной системы и двигателя. Если данные узлы автосамосвала находятся в исправном состоянии, энергозатраты являются допустимыми.

Основное влияние на энергоемкость процесса транспортирования автосамосвалом и ресурс металлоконструкций оказывается на энергопотребляющих этапах эксплуатации. К таковым следует отнести движение машины по прямым технологическим дорогам, подъемам и спускам, поворотам и при движении через переезды. Однако следует заметить, что каждому из названных параметров движения соответствуют свои значения энергозатрат.

Наибольшее количество энергии затрачивается на подъемах и поворотах груженого автосамосвала при транспортировании горной массы. На данных этапах горно-технологические и технические факторы оказывают взаимосвязанное влияние, которое сказывается и на долговечности, и на энергоемкости.

При спуске порожнего автосамосвала основное влияние оказывают состояние дорог, расстояние от разгрузки до погрузки и скорость движения. На рисунке 3.7 представлена гистограмма изменения скорости движения автосамосвала.



Рисунке 3.7 - Изменение скорости движения автосамосвала БелАЗ-75600 за смену

Скоростной режим автосамосвала за всю рабочую смену практически не меняется (17 км/ч), что говорит о не существенном влиянии этого показателя на энергозатраты.

В процессе эксплуатации автомобильного транспорта горно-технологические и технические факторы оказывают комплексное влияние на ресурс автосамосвала и энергоемкость транспортирования взорванной горной массы.

Одним из важнейших параметров транспортирования горной массы является расстояние перевозки, которое влияет, как на энергоемкость процесса, так и на ресурс металлоконструкций. Для учета влияния данного фактора был произведен мониторинг работы автосамосвала БелАЗ-75131 на различных участках разреза «Кедровский». В течение месяца транспортировка горной массы осуществлялась данной машиной на расстояниях 1-2 км и 2-3 км. По полученным результатам была построена гистограмма изменений удельных затрат энергии на данных участках (рисунок 3.8).

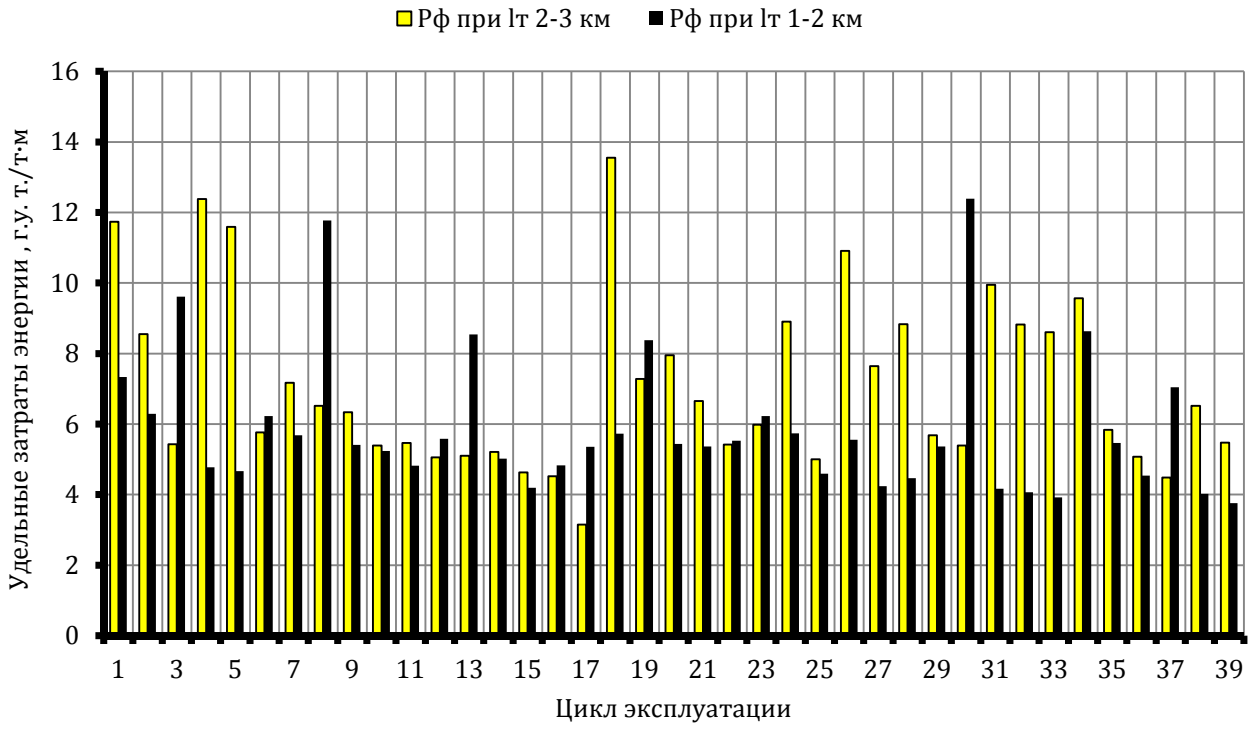


Рисунок 3.8 - Изменение удельных затрат энергии автосамосвала ($P_ф$) в зависимости от расстояния перевозки ($l_т$)

Из рисунка 3.8 видно, что перевозка горной массы на участках с большим расстоянием не всегда наиболее энергозатратна. Следовательно, на энергоемкость процесса транспортирования горно-технологические факторы влияют не по отдельности, а оказывают совместное влияние.

Зачастую увеличение расстояния транспортирования происходит вследствие понижения фронта горных работ, а, следовательно, сопутствует увеличению уклона трассы на подъем, поворотов и переездов. Соответственно, на тех участках, на которых столбцы гистограммы имеют одинаковую высоту, горная масса транспортировалась на одинаковом расстоянии.

Для учета совместного влияния расстояния перевозки и веса перевозимого груза на удельные затраты энергии была построена пузырьковая диаграмма (рисунок 3.9, 3.10).

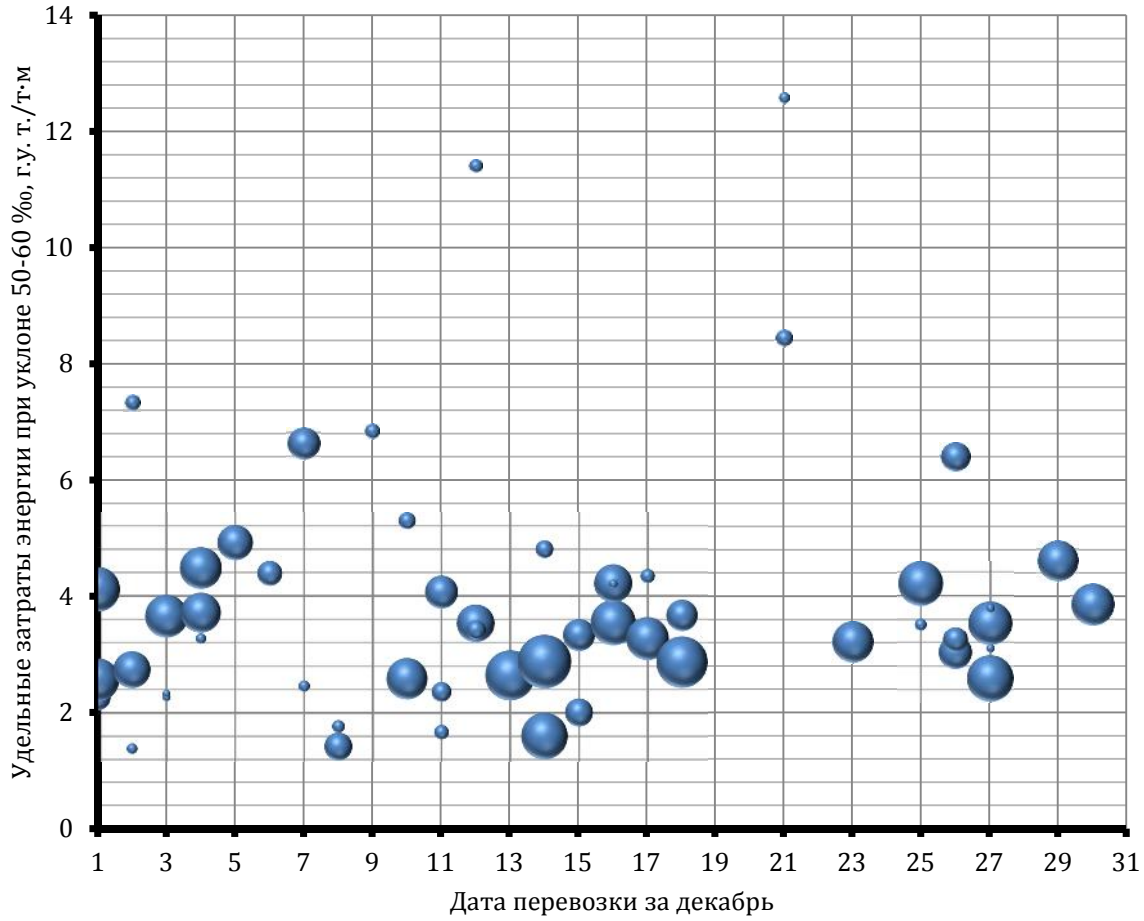


Рисунок 3.9 - Влияние расстояния перевозок на удельные затраты энергии автосамосвала БелАЗ-75131 № 1207 за декабрь

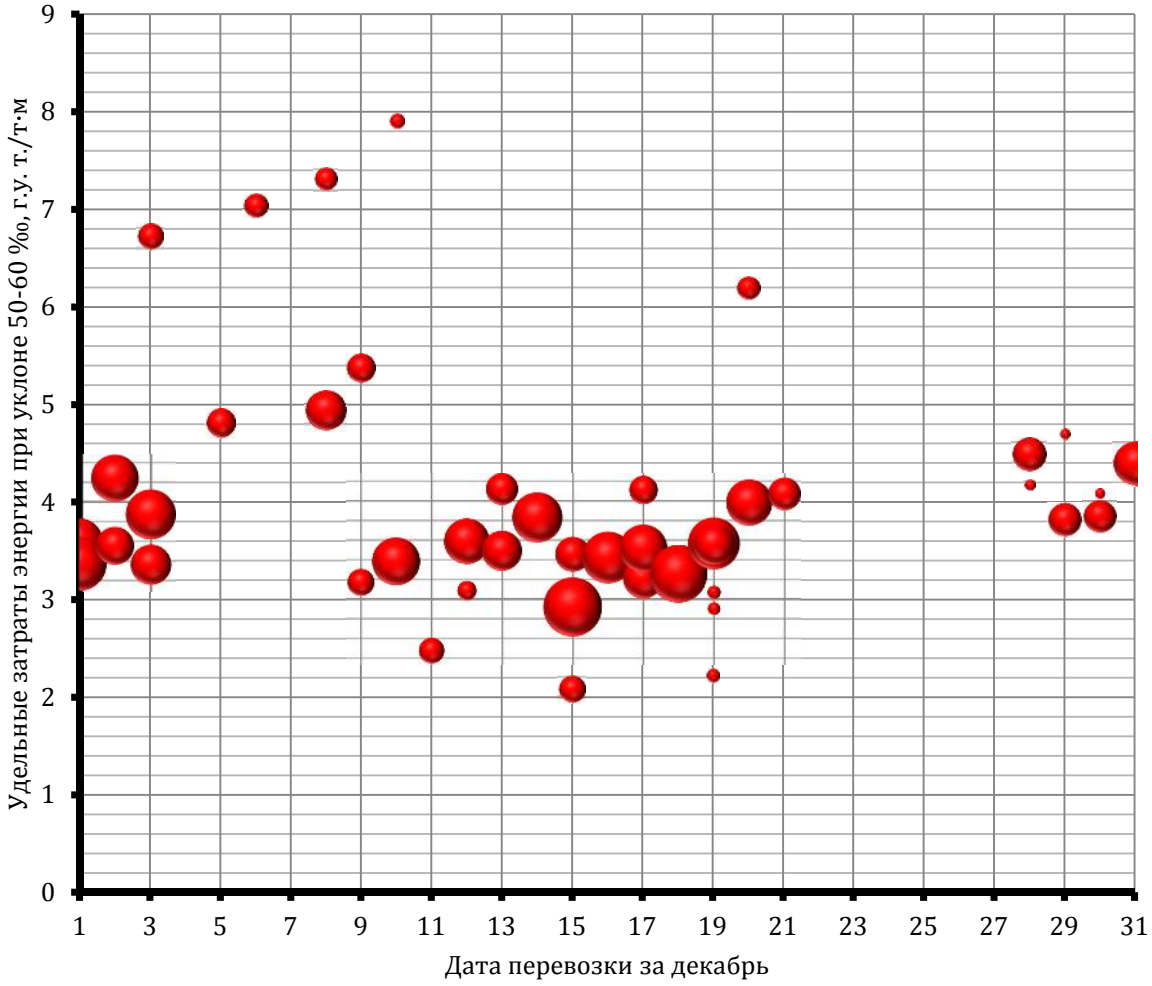


Рисунок 3.10 - Влияние расстояния перевозок на удельные затраты энергии автосамосвала БелАЗ-75131 № 1345 за декабрь

По вертикали количество пузырьков - количество маршрутов, по которым происходила транспортировка горной массы за один полный день. Пузырьки разных размеров позволяют визуально выделить значения, характеризующие расстояние перевозок. Этому соответствует область распределения точек, по которой можно сделать следующие выводы: маленькие пузырьки могут находиться очень высоко, что характеризует высокие удельные затраты при небольших расстояниях перевозки горной массы, а большие пузырьки, наоборот, располагаются в нижней части диаграммы, что характеризует малые удельные затраты при больших расстояниях перевозки горной массы. Диаграмма отчетливо показывает степень совместного влияния расстояния транспортирования и объема перевозимой горной массы, так как большие расстояния не всегда соответствуют большим удельным

затратам энергии. Это свидетельствует о существенном влиянии таких факторов, как перегруз автомобиля, квалификация машиниста экскаватора.

В результате анализа влияния различных параметров эксплуатации карьерного автотранспорта на энергоемкость процесса транспортирования установлено, что продольный уклон карьерных дорог является наиболее информативным параметром оценки удельных затрат энергии.

3.3 Оценка энергоемкости транспортирования взорванной горной массы при разработке угольных месторождений открытым способом

В процессе транспортирования горной массы автосамосвал работает как на подъемах, так и на спусках. По средним значениям результатов мониторинга работы в летний период автосамосвалов БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса (Кедровский, Бачатский, Томусинский) установлена зависимость расхода топлива от уклонов карьерных дорог при расстоянии транспортирования 4 км (рисунок 3.11) и 2 км (рисунок 3.12).

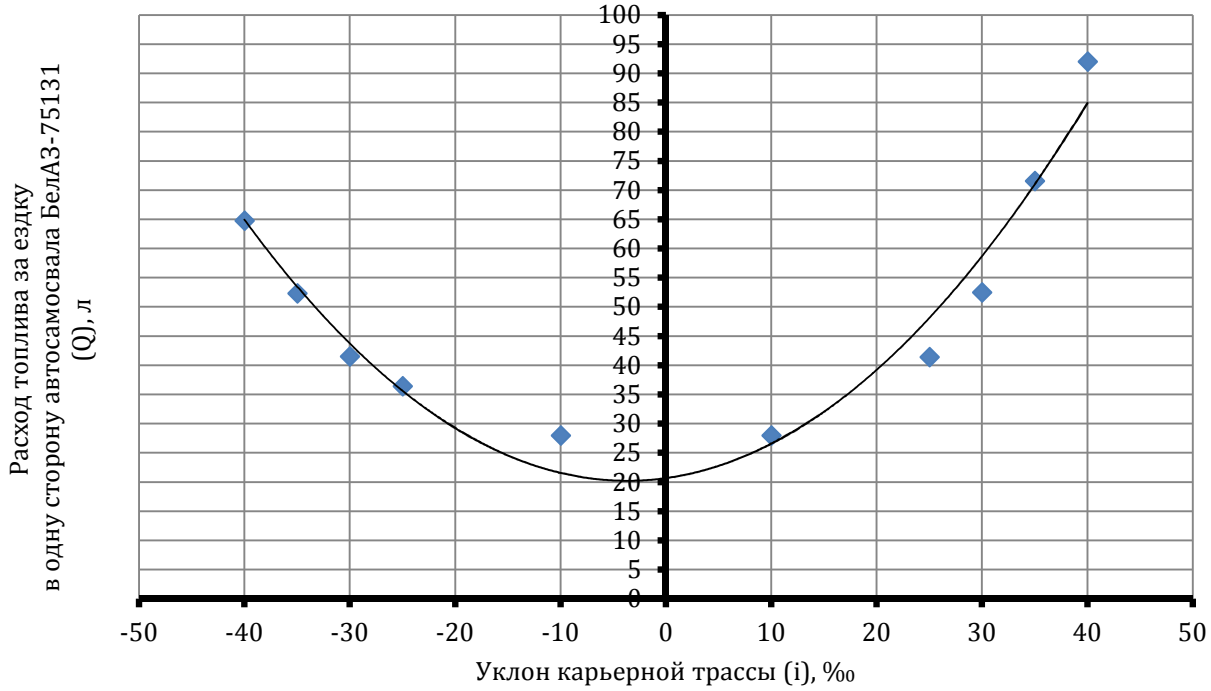


Рисунок 3.11 - График зависимости расхода топлива на спусках и подъемах автосамосвала БелАЗ-75131 от уклона трассы при расстоянии транспортирования 4 км

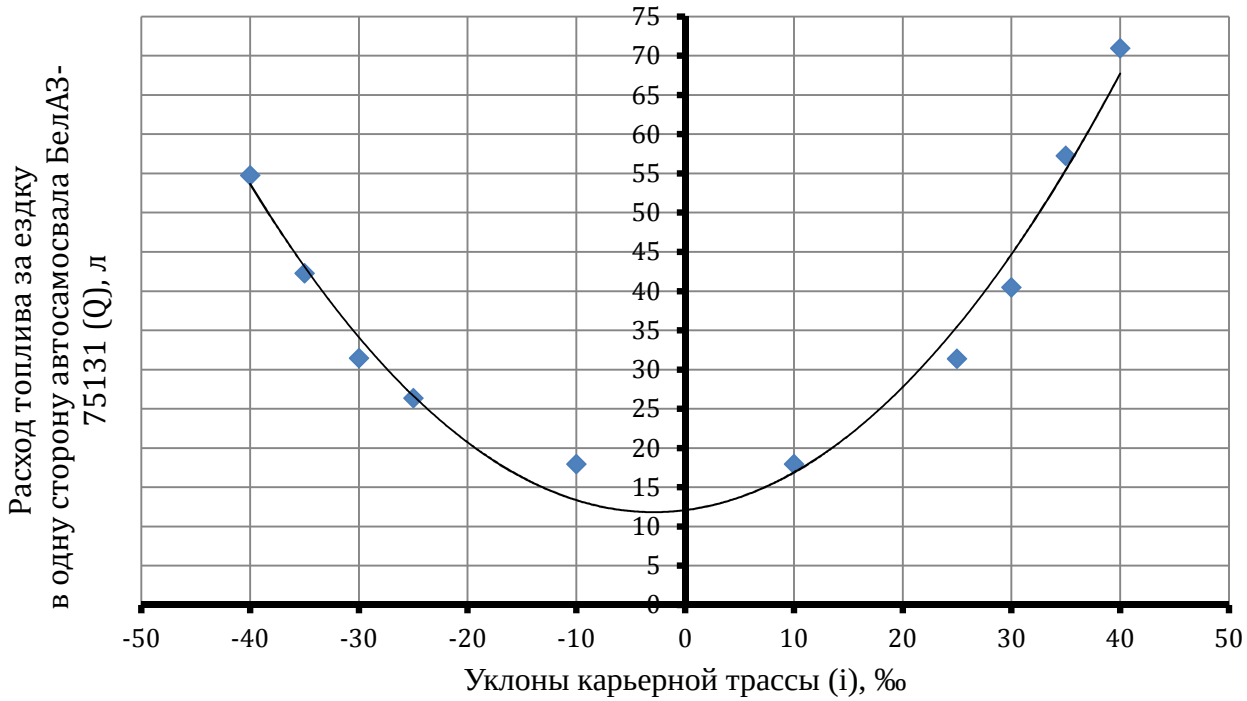


Рисунок 3.12 - График зависимости расхода топлива на спусках и подъемах автосамосвала БелАЗ-75131 от уклона трассы при расстоянии транспортирования 2 км

На оси абсцисс отложены значения уклонов: со знаком «-» - спуск, со знаком «+» - подъем. Анализ области распределения точек показал, что на спусках расход топлива имеет более постоянный и однородный характер. Что касается расхода топлива на подъемах, то здесь он значительно возрастает с увеличением уклона. Расход топлива, как величина, связанная с энергоемкостью процесса транспортирования, имеет параболический характер зависимости от уклонов трассы, что свидетельствует о взаимосвязи между удельными затратами энергии автосамосвалов и уклоном карьерных дорог.

Перевозка взорванной горной массы автотранспортом от места погрузки до склада или отвала осуществляется по забойным дорогам с наличием поворотов и железнодорожных переездов, по технологическим дорогам. Количество сложных участков за цикл перевозки определяется глубиной разработки месторождения. Энергоемкость на этих участках в основном зависит от угла наклона трассы.

На рисунке 3.13 приведен пример маршрута транспортирования горной массы автосамосвалами на разрезе ОАО «Бачатский филиал».

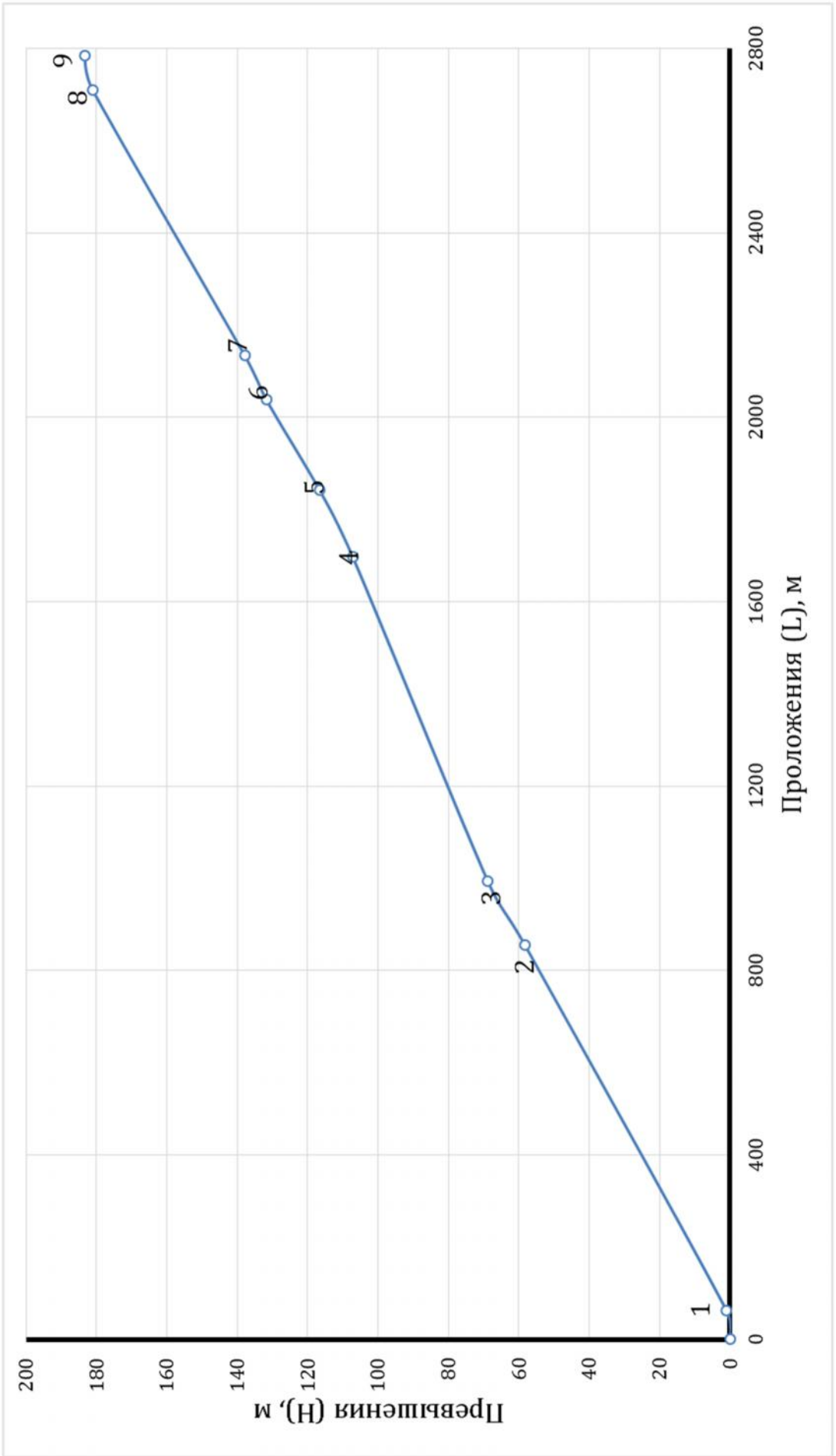


Рисунок 3.13 – Характерные участки профиля трассы одного из маршрутов транспортирования горной массы автосамосвалами на разрезе ОАО «Бачатский филиал»

Параметры характерных участков профиля трассы (рисунок 3.13) приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Параметры характерных участков профиля трассы

Характерные участки (участок на графике)	**Проложения (L), м**	**Превышения (H), м**	**Средневзвешенный уклон ($i_{св}$), ‰**
Забойная дорога (0-1)	62,1	1	20
Траншейная дорога на подъем (1-2)	793	57,3	74,5
Траншейная дорога на подъем с поворотом (2-3)	137,8	10,5	80
Траншейная дорога на подъем (3-4)	703,8	38,4	55,2
Траншейная дорога на подъем с поворотом (4-5)	145,9	9,5	62,5
Траншейная дорога на подъем (5-6)	195,6	15,1	80
Траншейная дорога на подъем с поворотом (6-7)	95,4	6,1	60
Дорога подъема на отвал (7-8)	576	43,2	80
Отвальная дорога (8-9)	74,5	2,3	25

Из таблицы 3.4 видно, что наибольшее расстояние транспортирования за весь маршрут составило 793 м при средневзвешенном уклоне 74,5 ‰. На протяжении всего маршрута уклон трассы на подъем варьировался от 20 до 80 ‰.

В результате мониторинга эксплуатации автосамосвалов БелАЗ-7555, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75600 с грузоподъемностью соответственно 55 т, 130 т и 320 т на разрезах Кузбасса (Кедровский, Бачатский, Томусинский) с уклоном трассы от 10 ‰ до 100 ‰ установлены зависимости удельных затрат энергии от уклона технологических дорог (3.5, 3.6, 3.7 соответственно).

$$P_ф = 0{,}0005i^2 + 0{,}0606i + 1{,}2596 \quad (3.5)$$

$$P_ф = 0{,}0004i^2 + 0{,}0259i + 2{,}3657 \quad (3.6)$$

$$P_ф = 0{,}0005i^2 - 0{,}0044i + 3{,}1853 \quad (3.7)$$

Формула 3.4 получена для самосвала БелАЗ-7555 с грузоподъемностью 55т, формула 3.5, соответственно, для самосвала БелАЗ-75131 с грузоподъемностью 130 т, формула 3.6 для самосвала БелАЗ-75600 с грузоподъемностью 320 т.

Полученные зависимости (3.5, 3.6, 3.7) графически представлены на рисунке 3.14.

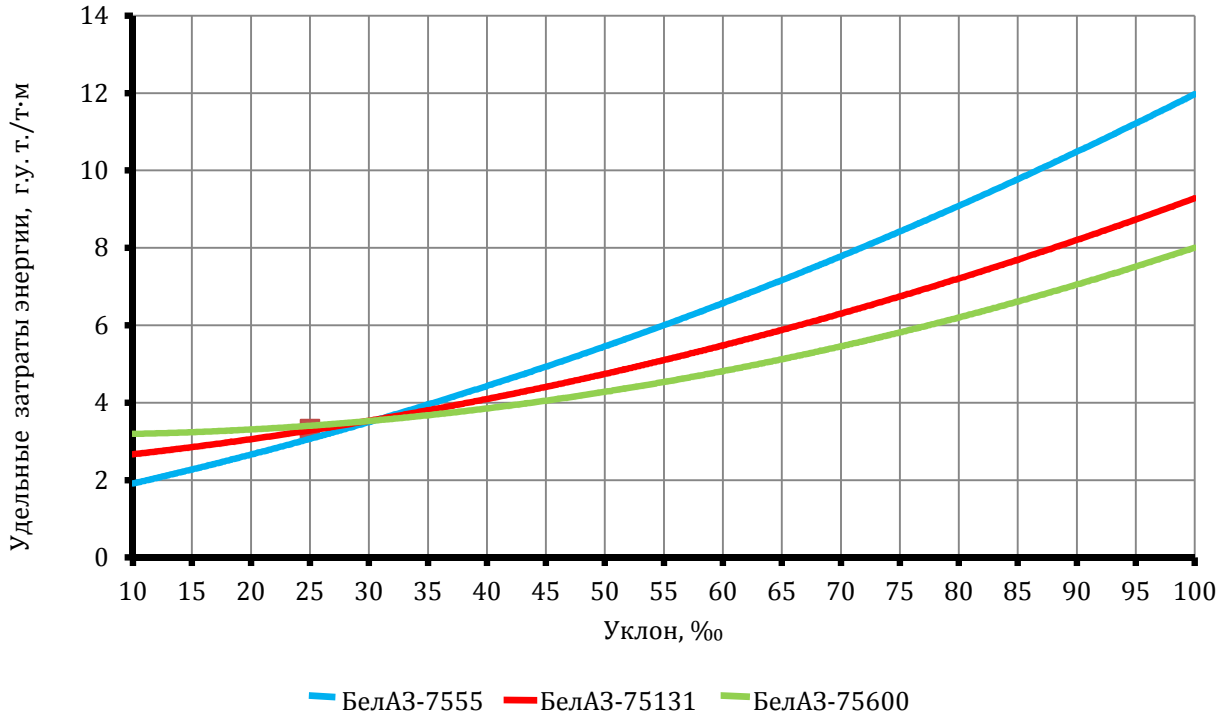


Рисунок 3.14 - Зависимости удельных затрат энергии автосамосвалов БелАЗ-7555, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75600 от уклона трассы

Из рисунка видно, что при увеличении угла наклона трассы удельные затраты энергии для БелАЗа-7555 увеличиваются наиболее интенсивно. Зависимости удельных затрат энергии от уклона трассы автосамосвалов БелАЗ-75131 и БелАЗ-75600 имеют практически параллельный вид на участке 70-90 ‰. Это объясняется тем, что влияние практически всех факторов на энергоемкость автосамосвалов в этом промежутке уклонов технологических дорог одинаково, но значения удельных затрат энергии автосамосвала БелАЗ-75600 меньше, так как грузоподъемность данной машины в 2,5 раза больше, чем грузоподъемность БелАЗ-75131. На участках 29-32 ‰ графики почти совпадают, следовательно, удельный расход дизтоплива автосамосвалов различной грузоподъемности одинаков.

3.4 Обоснование удельных затрат энергии при транспортировании горной массы на сложных участках карьерных дорог

С помощью полученных зависимостей (3.5, 3.6, 3.7) была установлена взаимосвязь коэффициентов уравнений от грузоподъемности автосамосвала или мощности двигателя, что позволяет оперативно оценивать энергоемкость автосамосвалов различной грузоподъемности.

С этой целью использовался метод параболической интерполяции. Каждый из трех коэффициентов определялся при трех различных значениях грузоподъемности (или мощности двигателя) автомобиля и был аппроксимирован квадратичной зависимостью, определяемой тремя коэффициентами. Для них отсюда получили следующие уравнения

$$F\ i,N\ =\ i^2\ 0{,}0001N^2 - 0{,}0003N + 0{,}0006\ +\ i\ 0{,}015N^2 - 0{,}078N + 0{,}098\ - 0{,}53N^2 + 2{,}58N + 0{,}024, \quad (3.8)$$

$$F\ i,q\ =\ i^2\ 0{,}007q^2 - 0{,}003q + 0{,}0006\ +\ i\ 1{,}144q^2 - 0{,}674q + 0{,}094\ - 39{,}374q^2 + 22{,}032q + 0{,}167, \quad (3.9)$$

где i – уклон трассы, ‰; N – мощность двигателя автосамосвала, МВт; q – грузоподъемность автосамосвала, тыс. т. Погрешность параболической интерполяции составила 0,58 % и 0,57 % соответственно.

Для анализа влияния уклона трассы на подъем горной массы из карьера рассматривались наиболее распространенные на разрезах Кузбасса модели автосамосвалов различных заводов-изготовителей.

Зависимость удельных затрат энергии от угла наклона трассы для большинства моделей автосамосвалов различной грузоподъемности получена с учетом формул 3.8, 3.9 (рисунок 3.15).

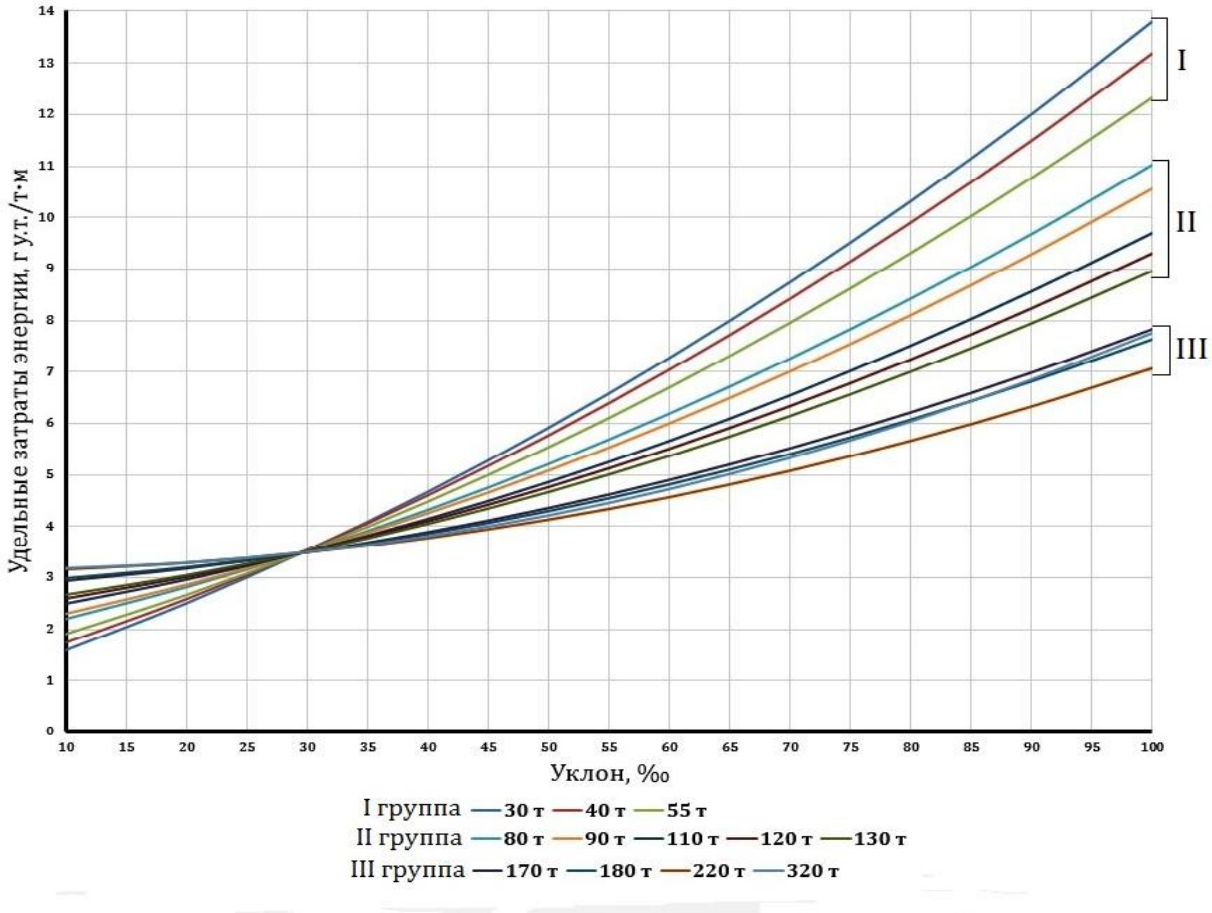


Рисунок 3.15 - Зависимость удельных затрат энергии автосамосвалов различной грузоподъемности от уклона трассы

Из рисунка 3.15 видно, что на участках, где уклон составляет 10-35 ‰, энергоэкономичнее транспортировать горную массу автосамосвалами с грузоподъемностью до 130 т, а на участках, где уклон составляет 35 ‰ и более, энерго-

экономичнее транспортировать горную массу автосамосвалами с грузоподъемностью свыше 130 т.

При уклоне трассы на подъем в 30 ‰ значение удельных затрат энергии для всех моделей автосамосвалов постоянно. Это объясняется тем, что удельный расход топлива g (см. формулу 3.2), который определяется отношением расхода топлива, затраченного на транспортирование горной массы, к производительности автосамосвала, на этом уклоне является рациональным.

Эффективной областью уклонов трассы для использования автосамосвалов любой грузоподъемности является 25-35 ‰.

Зависимости удельных затрат энергии от уклона трассы позволяют разделить технологическую линейку автосамосвалов по грузоподъемности на три группы: до 55 т, от 55 т до 130 т и свыше 130 т.

Первую группу целесообразно использовать на участках от 10 до 50 ‰. Так как на этих уклонах расход энергии является наименьшим по сравнению с другими группами. При увеличении уклона трассы свыше 50 ‰ наблюдается значительный рост энергопотребления, что является экономически не целесообразным.

Вторую группу автосамосвалов с грузоподъемностью до 130 т энергоэкономично эксплуатировать на участках от 50 до 80 ‰, где удельный расход энергии является наиболее полезным. Причем графики изменения удельных затрат энергии (см. рисунок 3.14) второй и третьей групп автосамосвалов на этом участке диаграммы практически параллельны. Однако, график автосамосвалов свыше 130 т немного ниже, что свидетельствует о наименьших затратах энергии. На участках дороги с уклонами более 80 ‰ наблюдается существенное увеличение энергопотребления, что свидетельствует о нецелесообразности использования моделей автосамосвалов второй группы.

Удельные затраты карьерных автосамосвалов с грузоподъемностью свыше 130 т являются наиболее эффективными на участках разрабатываемого месторождения, где уклон трассы на подъем составляет свыше 80 ‰. В связи с отработкой глубинной части месторождений обозначилась тенденция к применению

временных отвалов, что является энергоэкономичным при эксплуатации большегрузных автосамосвалов на больших уклонах.

Автосамосвалы, эксплуатирующиеся в условиях разрабатываемых месторождений, целесообразно распределять в зависимости от угла наклона трассы на подъем следующим образом (рисунок 3.16):

Рисунок 3.16 - Схема распределения автопарка по уклонам

Из рисунка 3.16 видно, что на больших глубинах энергоэкономичнее эксплуатировать автосамосвалы большой грузоподъемности.

3.5 Выводы

1 Эффективная эксплуатация автосамосвалов БелАЗ-75131 в сложных горно-технологических условиях определяется рациональными значениями удельной работы по перевозке горной массы, составляющими 12-23 кДж/т·м.

2 Параболическая зависимость расхода топлива от уклона карьерной дороги с коэффициентом детерминации 0,95 характеризует участки на подъем, которым соответствуют 75 % от общих энергозатрат за один цикл транспортирования, как наиболее энергозатратные.

3 Установлена взаимосвязь удельных затрат энергии от уклона трассы на подъем, коэффициенты которой зависят от грузоподъемности автосамосвала или мощности его двигателя.

4 Экскаваторно-автомобильной целесообразно формировать по критерию энергоемкости процесса транспортирования, где при углах наклона свыше 80 ‰ целесообразным является использование автосамосвалов с грузоподъемностью от 130 т и более.

4 ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСА БАЛКИ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ГОРНОЙ МАССЫ

4.1 Взаимосвязь напряжений в элементах конструкции балки заднего моста автосамосвалов и удельных затрат энергии

Оценка напряженного состояния заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса (Кедровский, Бачатский, Томусинский) при изменении угла наклона трассы (20-70 ‰) и расстояний перевозки (2-5 км) осуществлялась путем регистрации амплитудно-частотного цикла на различных участках дороги с помощью тензостанции А17-Т8 и ноутбука Acer Aspire 5630.

Измерения проводились при движении груженого автосамосвала от забоя до отвала (угольного склада). Для расчета удельных затрат энергии, характеризующих энергоемкость процесса транспортирования, использовались средства системы мониторинга состояния автосамосвала.

Для получения эмпирической зависимости между удельными затратами энергии и математическим ожиданием амплитуды напряжений при разных условиях эксплуатации использовались методы аппроксимации.

На рисунке 4.1 представлена область распределения экспериментальных данных.

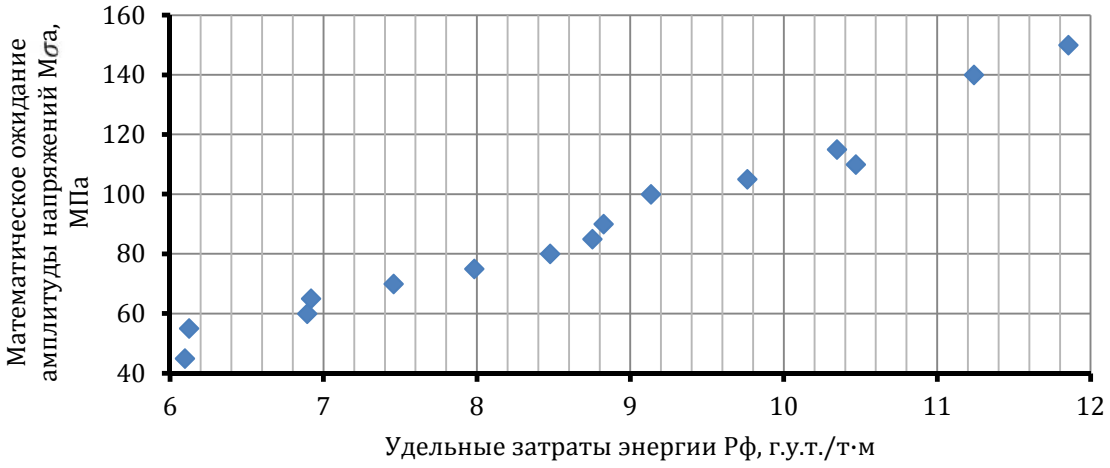


Рисунок 4.1 - Зависимость математического ожидания амплитуды напряжений от удельных затрат энергии

Из рисунка 4.1 видно, что напряжения, возникающие в металлоконструкциях заднего моста автосамосвала, достаточно хорошо коррелируют с удельными затратами энергии, затраченной на транспортирование горной массы.

Для проверки гипотезы о равенстве математических ожиданий двух независимых экспериментальных выборок был проведен двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями. Результаты расчета приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты двухвыборочного t-теста с различными дисперсиями

1. Гипотетическая разность средних	0
2. Число степеней свободы (df)	14
3.Значение критериальной статистики (t-статистика)	-10,28
4. Вероятность P (T<=t) одностороннее	$3{,}30 \cdot 10^{-8}$
5. Значение квантиля t критическое одностороннее	1,76
6. Вероятность P (T<=t) двухстороннее	$6{,}60 \cdot 10^{-8}$
7. Значение квантиля t критическое двухстороннее	2,15

Из результатов расчета видно, что величина вероятности случайного появления анализируемых выборок достаточно мала (P (T<=t) = $6{,}60 \cdot 10^{-8}$, что меньше, чем уровень значимости, равный 0,05), а это значит, что различия между выборками не могут быть случайными.

Для исследования влияния на измеряемую случайную величину (амплитуда напряжений) независимой величины (удельных затрат энергии) был выполнен однофакторный дисперсионный анализ, при котором рассчитываются межгрупповая сумма квадратов, число степеней свободы между группами, межгрупповая дисперсия и так далее. Результаты анализа приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

1. Межгрупповая сумма квадратов (SS)	49173,5
2. Число степеней свободы между группами (df)	1
3. Межгрупповая дисперсия (MS)	49173,5
4. Значение вероятности (P-значение)	$5{,}2 \cdot 10^{-11}$
5. Значение критериальной статистики (F)	105,8
6. F-критическое	4,2

Из анализа таблицы 4.2 следует, что критерий Фишера значим, и влияние исследуемой переменной можно считать доказанным, т.к. P-значение меньше, чем уровень значимости, равный 0,05.

Результаты анализа взаимосвязи математического ожидания амплитуды напряжений и удельных затрат энергии и постоянный мониторинг условий и параметров нагружения большегрузного карьерного автотранспорта способствуют принятию оперативных мероприятий по обеспечиванию работоспособности автосамосвала на длительный период его эксплуатации.

4.2 Влияние уклона трассы карьерных дорог на амплитуду напряжений, возникающих в металлоконструкциях подвески автосамосвалов

В результате мониторинга, выполненного на разрезах Кузбасса, установлено, что эффективность использования автосамосвалов различной грузоподъемности зависит от горно-технологических (состояние дороги, повороты и переезды, уклон трассы на подъем, расстояние перевозки) и технических (мощность двигателя, перегруз автосамосвала, скорость движения) факторов. Важнейшим энергозатратным параметром из названных горно-технологических факторов является уклон трассы

на подъем, когда резко возрастают нагрузки на элементы металлоконструкций автосамосвалов и, соответственно, прогрессирует рост трещин.

Для описания экспериментальной зависимости между напряжениями и величиной угла наклона трассы необходимо произвести выбор модели взаимосвязи математического ожидания амплитуды напряжений и удельных затрат энергии, а также воспользоваться полученной формулой

$$F\ i,q\ =\ i^2\ 0{,}007q^2 - 0{,}003q + 0{,}0006\ + i\ 1{,}144q^2 - 0{,}674q + 0{,}094 - 39{,}374q^2 + 22{,}032q + 0{,}167.$$

Результаты подбора математической модели для описания экспериментальной зависимости $M_{\sigma a} = f\ P_ф$ представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты подбора математической модели для описания экспериментальной зависимости

Вид функции	**Функциональная зависимость**	**Коэффициент детерминации**
Линейный	$M_{\sigma a} = -54{,}72 + 16{,}62P_ф$	0,969
Параболический	$M_{\sigma a} = 1{,}13P_ф^{\ 2} - 3{,}25P_ф + 29{,}45$	0,982

В результате статистической обработки данных установлено, что взаимосвязь математического ожидания амплитуды напряжений и удельных затрат энергии описывается, как линейной, так и параболической зависимостью.

На рисунке 4.2 графически представлены зависимости между напряжениями и величиной угла наклона трассы на подъем при параболической (а) и линейной (б) функциях взаимосвязи математического ожидания амплитуды напряжений и удельных затрат энергии.

Из рисунка 4.2б видно, что линейной зависимостью между амплитудой напряжений и удельными затратами энергии нельзя пользоваться при расчетах взаимосвязи напряжений и угла наклона трассы на подъем, так как в диапазоне уклона от 10 до 30 ‰ в металлоконструкциях возникают отрицательные напряжения, в

следствие чего теряется физический смысл. Следовательно, для дальнейших расчетов принимается параболическая зависимость (рис. 4.2а).

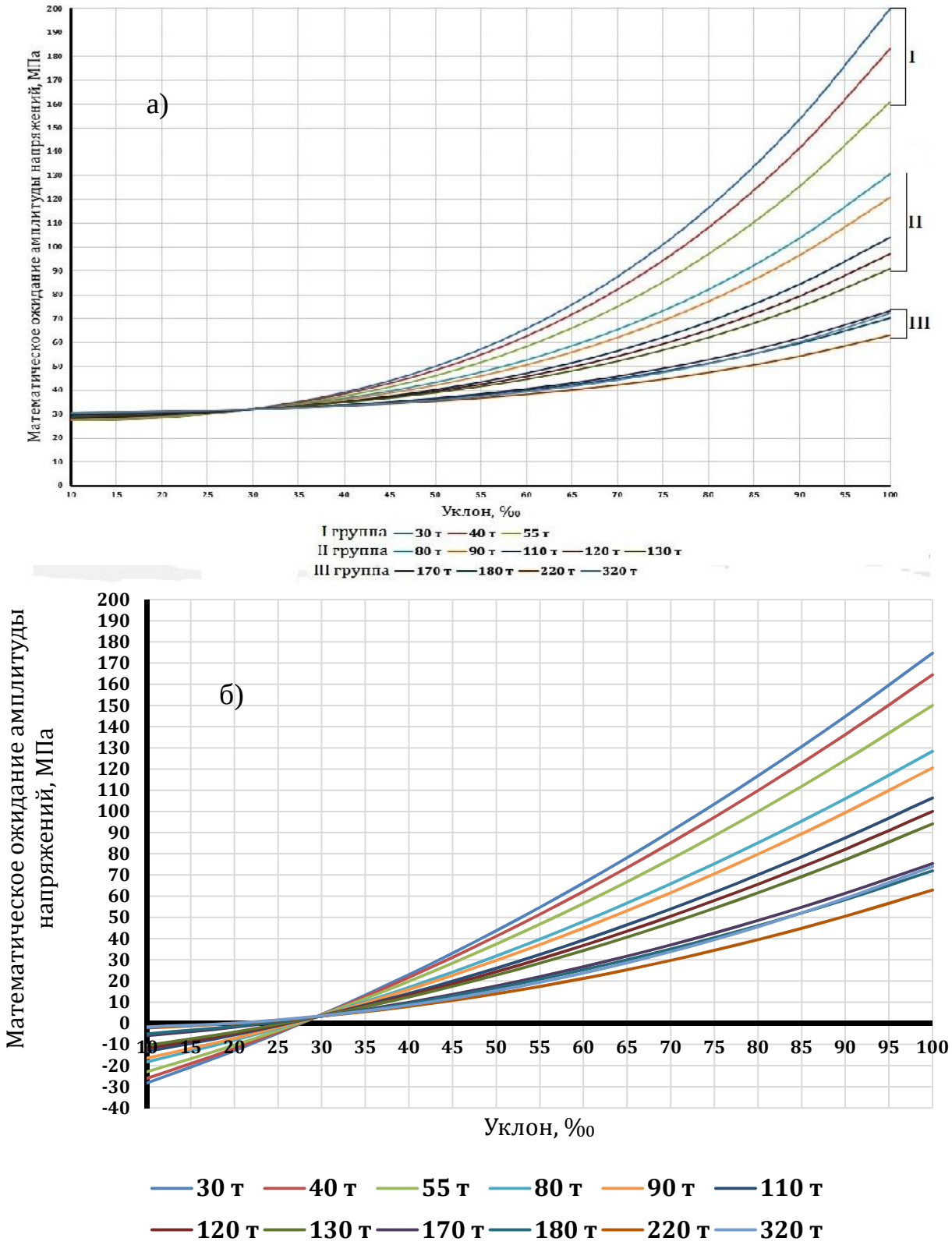


Рисунок 4.2 - Зависимости математического ожидания амплитуды напряжений от уклона трассы для самосвалов различной грузоподъемности

Из рисунка 4.2а видно, что значения $M_{\sigma a}$ значительно возрастают с увеличением уклона трассы. На участках от 10 до 40 ‰ напряжения в металлоконструкциях заднего моста практически одинаковы и составляют 30-40 МПа для автосамосвалов любой грузоподъемности. На уклонах трассы свыше 70 ‰ напряжения для каждой группы автосамосвалов различны и составляют 50-80 МПа. При дальнейшем увеличении уклона трассы (100 ‰) напряжения достигают 75, 130 и 200 МПа соответственно для каждой группы автосамосвалов.

У карьерных автосамосвалов, грузоподъемностью до 55 т, после уклона в 70 ‰ происходит резкое увеличение математического ожидания амплитуды напряжений, что свидетельствует о наступлении интенсивного трещинообразования в металлоконструкциях, и, как следствие, сокращении ресурса автосамосвала.

В результате анализа зависимостей (рисунок 4.2а) установлено, что автосамосвалы до 55 т целесообразно эксплуатировать на уклонах до 85 ‰, карьерные автомобили с грузоподъемностью 55-130 т на уклонах до 100 ‰, а самосвалы большей грузоподъемности (свыше 130 т) на уклонах более 100 ‰.

Закон распределения математического ожидания амплитуды напряжений от величины уклона трассы по каждому самосвалу является параболическим. Коэффициент детерминации зависимостей варьируется от 0,98 до 0,99, что позволяет получить обобщенные уравнения для автосамосвалов определенной грузоподъемности. Коэффициентами уравнения является среднее значение зависимостей соответствующей группы автосамосвалов. Результаты анализа представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Обобщенные уравнения зависимости математического ожидания амплитуды напряжений от величины уклона трассы для каждой группы

Грузоподъемность автосамосвала, т	**Уравнение зависимости математического ожидания амплитуды напряжений ($M_{\sigma a}$, МПа) от уклона трассы (i, ‰)**
До 55	$M_{\sigma a} = 0{,}024i^2 - 1{,}07i + 39{,}1$

Грузоподъемность автосамосвала, т	**Уравнение зависимости математического ожидания амплитуды напряжений ($M_{\sigma a}$, МПа) от уклона трассы (i, ‰)**
55 - 130	$M_{\sigma a} = 0{,}012i^2 - 0{,}5i + 33{,}9$
Свыше 130	$M_{\sigma a} = 0{,}006i^2 - 0{,}23i + 32{,}7$

Полученные зависимости математического ожидания амплитуды напряжений в металлоконструкциях заднего моста от угла наклона трассы способствуют оперативному и рациональному выбору группы автосамосвалов для эксплуатации в сложных горно-технологических условиях.

4.3 Основные положения методики определения предельно-допускаемых параметров условий эксплуатации большегрузных автосамосвалов

Наиболее значимым горно-технологическим фактором, влияющим на показатели работы автосамосвалов, является угол наклона трассы. По результатам выполненного анализа условий эксплуатации карьерных автомобилей построена совместная диаграмма зависимостей математического ожидания амплитуды напряжений ($M_{\sigma a}$) и удельных затрат энергии от уклона трассы для автосамосвалов БелАЗ трех основных групп по грузоподъемности (до 55 т, 55-130 т и более 130 т) (рисунок 4.3).

Коэффициент запаса прочности (n) для большинства металлоконструкций принимается в интервале 1,2-2. При принятом n=2 горизонтальная черная (допускаемая) линия ED на диаграмме соответствует допускаемому напряжению, равному 120 МПа. Абсцисса точек пересечения этой линии с кривыми графика 1, 2, 3 (A, B, C) характеризуют уклоны трассы для каждого из названных типов автосамосвалов, при превышении которых возникающие в металлоконструкциях подвески напряжения приводят к росту трещин, сокращению долговечности и ресурса элементов балки заднего моста.

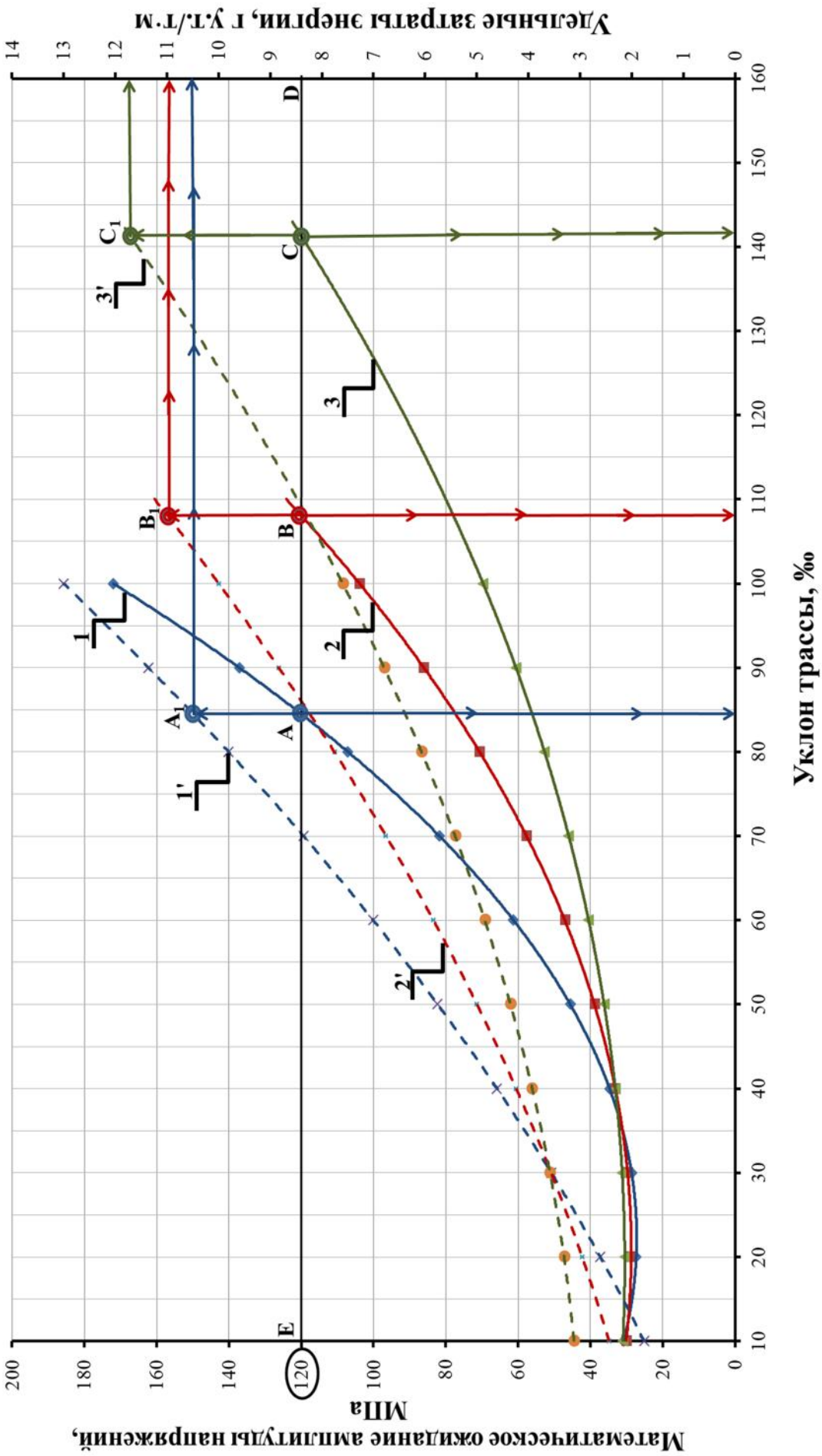


Рисунок 4.3 - Совместная диаграмма зависимостей математического ожидания амплитуды напряжений (1, 2, 3) и удельных затрат энергии (1', 2', 3') от уклона трассы для автосамосвалов БелАЗ с грузоподъемностью менее 55 т, 55-130 т и свыше 130 т соответственно

Для вычисленных по диаграмме значений уклонов точки A_1, B_1, C_1 соответствуют значениям удельных затрат энергии. Для автосамосвалов грузоподъемностью менее 55 т удельные затраты энергии составили 10,5 г.у.т./т·м при эксплуатации на уклоне трассы в 85 ‰, для БелАЗов с грузоподъемностью от 55 т до 130 т - 11 г.у.т./т·м при уклоне трассы в 108 ‰, для большегрузных автосамосвалов с грузоподъемностью свыше 130 т удельные затраты энергии при уклоне трассы в 149 ‰ составили 11,9 г.у.т./т·м (см. таблица 4.6).

Полученная диаграмма позволяет графически определить допускаемые углы наклона трассы при транспортировании горной массы и удельные затраты энергии с учетом повышения ресурса металлоконструкций подвески, узлы которой изготовлены из сталей с пределом текучести 245 МПа и выше.

Для комплексной оценки эффективности эксплуатации каждой группы автосамосвалов на определенных углах наклона введено понятие «полезного» расхода топлива, вычисляемого с учетом удельных затрат энергии (УЗЭ). «Полезный» расход топлива - количество дизтоплива, затраченное на транспортировку горной массы от пункта загрузки до пункта разгрузки. В таблице 4.5 приведен расчет «полезного» расхода топлива для БелАЗов с грузоподъемностью 55 т, 130 т и 320 т.

Таблица 4.5 – «Полезный» расход топлива для БелАЗов трех групп грузоподъемности

Уклон трассы, ‰	**Расстояние перевозки, км**	**Удельные затраты энергии, г.у.т./т·м**			**«Полезный» расход топлива, л**		
		БелАЗ 55 т	**БелАЗ 130 т**	**БелАЗ 320 т**	**БелАЗ 55 т**	**БелАЗ 130 т**	**БелАЗ 320 т**
10	1,8	1,76	2,44	3,118	0,912	2,989	9,405
20	2,44	2,61	2,96	3,312	3,668	9,832	27,084
30	3,08	3,56	3,56	3,582	9,472	22,389	55,463
40	3,72	4,61	4,24	3,928	19,753	42,943	97,945

Уклон трассы, ‰	Расстояние перевозки, км	Удельные затраты энергии, г.у.т./т·м			«Полезный» расход топлива, л		
		БелАЗ 55 т	БелАЗ 130 т	БелАЗ 320 т	БелАЗ 55 т	БелАЗ 130 т	БелАЗ 320 т
50	4,36	5,76	5	4,350	36,159	74,190	158,91
60	5	7,01	5,84	4,848	60,559	119,24	243,72

Из таблицы 4.5 видно, что на уклонах карьерных дорог до 50 ‰ удельные затраты энергии автосамосвалов трех основных групп по грузоподъемности практически одинаковые и варьируются в пределах от 2 до 5 г.у.т./т·м, причем «полезный» расход топлива на этих углах наклона для автосамосвалов с грузоподъемностью 320 т больше, чем у БелАЗов-7555 (55 т) в 3-4 раза и БелАЗов-75131 (130 т) в 2 раза. На больших глубинах (угол наклона трассы свыше 50 ‰) удельные затраты энергии БелАЗов-75600 (320 т) в 1,5-2 раза ниже. Чем у остальных автосамосвалов. Это объясняется высокой производительностью при достаточно небольших затратах дизтоплива. Следовательно, большегрузные автосамосвалы эффективнее использовать при транспортировании горной массы в сложных горно-технологических условиях эксплуатации.

Для определения номинального «полезного» расхода топлива были проанализированы технические и эксплуатационные параметры автосамосвалов БелАЗ-7555, БелАЗ-75131, БелАЗ-75600. По номинальной мощности и удельному расходу двигателя определялся номинальный расход топлива за рейс ($Q_{\text{рейс}}^{\text{ном}}$)

$$Q_{\text{рейс}}^{\text{ном}} = \frac{N \cdot q \cdot T}{n}, \quad (4.2)$$

где N – номинальная мощность двигателя, кВт; q – удельный расход топлива двигателя, г/кВт·ч; T – время смены, ч; n – количество рейсов за смену.

Номинальная мощность является наибольшей, но не максимальной мощностью двигателя для данных условий эксплуатации, при которой гарантируется надежная работа в течение значительной части (или всего) срока службы двигателя,

тогда номинальный «полезный» расход топлива – это показатель экономичности и долговечности двигателя, характеризующий его ресурс.

Номинальная мощность и удельный расход топлива для двигателя рассматриваемых моделей определялись по техпаспорту, время смены принималось равным 12 ч, количество смен рассчитано по данным, полученным посредством системы мониторинга состояния автосамосвала.

Результаты выполненных расчетов (см. таблица 4.5) позволили установить зависимости «полезного» расхода топлива на различных участках дороги при использовании автосамосвалов различной грузоподъемности (рисунок 4.4).

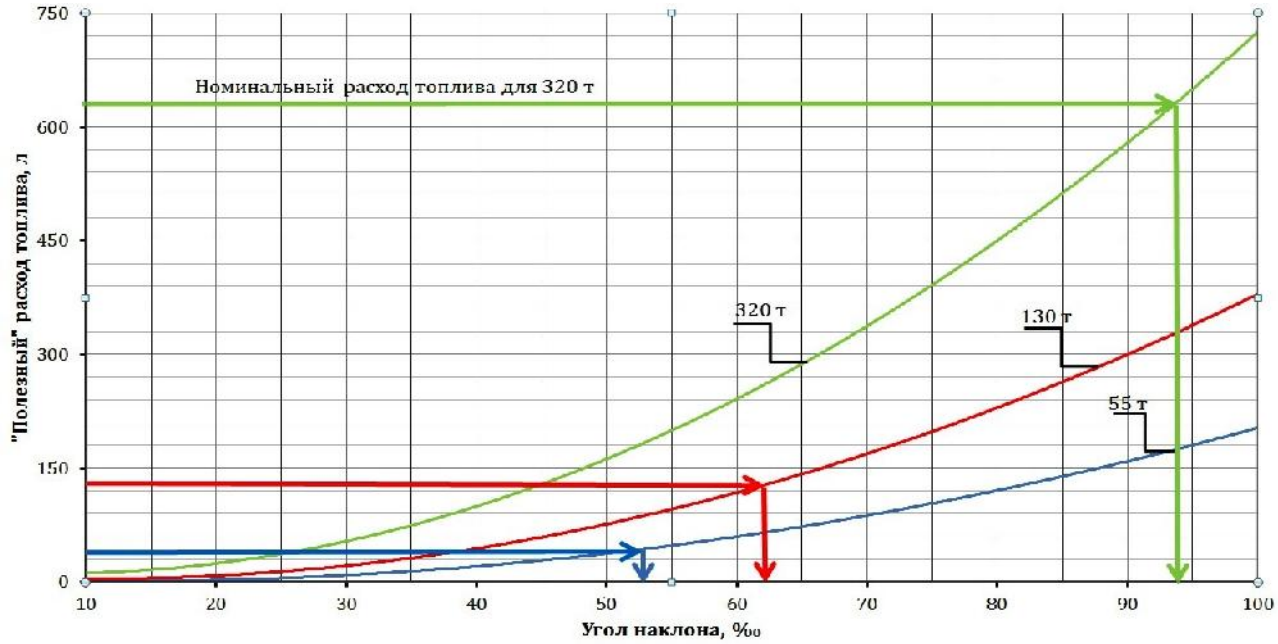


Рисунок 4.4 - Зависимость «полезного» расхода топлива от угла наклона трассы для автосамосвалов БелАЗ трех основных групп грузоподъемности

Из рисунка 4.4 видно, что характер полученных зависимостей для всех автосамосвалов – параболический (коэффициент детерминации составил 0,974). Установленные зависимости не являются точечными значениями для определенного угла наклона. Это предельно-допускаемое значение «полезного» расхода топлива, превышение которого приводит к сокращению ресурса двигателя. Например, при эксплуатации автосамосвалов БелАЗ-75131 на уклонах трассы до 63 ‰ расход топлива не должен превышать 129,5 л за смену.

Анализ полученных результатов исследования по определению «полезного» расхода топлива в зависимости от условий эксплуатации карьерного автотранспорта позволил установить допускаемый интервал уклонов трассы для эксплуатации автосамосвалов различной грузоподъемности, верхней границей которого является допускаемый угол наклона по номинальному «полезному» расходу топлива, а нижней – по допускаемому напряжению.

Установленные предельно-допускаемые параметры эксплуатации автосамосвалов приведены в таблице 4.6, которые разделялись на технические («полезный» расход топлива), технологические (уклон трассы, удельные затраты энергии) и физические (математическое ожидание амплитуды напряжений).

Таблица 4.6 - Предельно-допускаемые параметры эксплуатации автосамосвалов в допускаемых интервалах угла наклона трассы

Параметры эксплуатации	**Группа автосамосвалов по грузоподъемности**		
	БелАЗ до 55 т	**БелАЗ 55-130 т**	**БелАЗ свыше 130 т**
1. Допускаемые уклоны трассы (i), ‰	$\frac{52}{85}$	$\frac{63}{108}$	$\frac{94}{142}$
2. Математическое ожидание амплитуды напряжений ($М_{\sigma а}$), МПа	$\frac{48}{120}$	$\frac{50}{120}$	$\frac{62}{120}$
3. Удельные затраты энергии ($Р_ф$), г.у.т./т·м	$\frac{6,1}{10,5}$	$\frac{6,1}{11}$	$\frac{7}{11,9}$
4. «Полезный» расход топлива, л	$\frac{38,3}{140}$	$\frac{129,5}{450}$	$\frac{629,5}{1550}$

Примечание: $\frac{\text{значение для допускаемого уклона трассы при номинальном расходе топлива}}{\text{значение для допускаемого уклона трассы при допускаемом напряжении}}$

Из таблицы 4.6 видно, что для БелАЗов до 55 т допускаемые уклоны трассы варьируются от 52 до 85 ‰, для автосамосвалов 55-130 т – от 63 до 108 ‰, для большегрузных автосамосвалов свыше 130 т – от 94 до 142 ‰. Обеспечение эффективной и безотказной работы автосамосвалов достигается посредством эксплуатации карьерного транспорта на углах наклона, не превышающих 85, 108 и 142 ‰ для типоразмеров с грузоподъемностью до 55 т, от 55 т до 130 т и свыше 130 т соответственно.

При эксплуатации карьерного автотранспорта в интервале допускаемых уклонах трассы от верхней границы из табличного интервала до нижней границы срок службы двигателя сокращается примерно на 15-30 %, что приводит к внеплановым ремонтам и дополнительным простоям, увеличению затрат на закупку дизтоплива, ремонт и обслуживание двигателя.

Превышение нижнего предельно-допускаемого значения угла наклона трассы приводит к росту напряжений в элементах металлоконструкций автосамосвала в зонах повышенного трещинообразования, сокращению ресурса на 20-40 % и достижению предельного состояния конструкции или системы (такое состояние, когда она перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям).

На рисунке 4.5 построена диаграмма определения допускаемых условий эксплуатации автосамосвалов на разрезах Кузбасса.

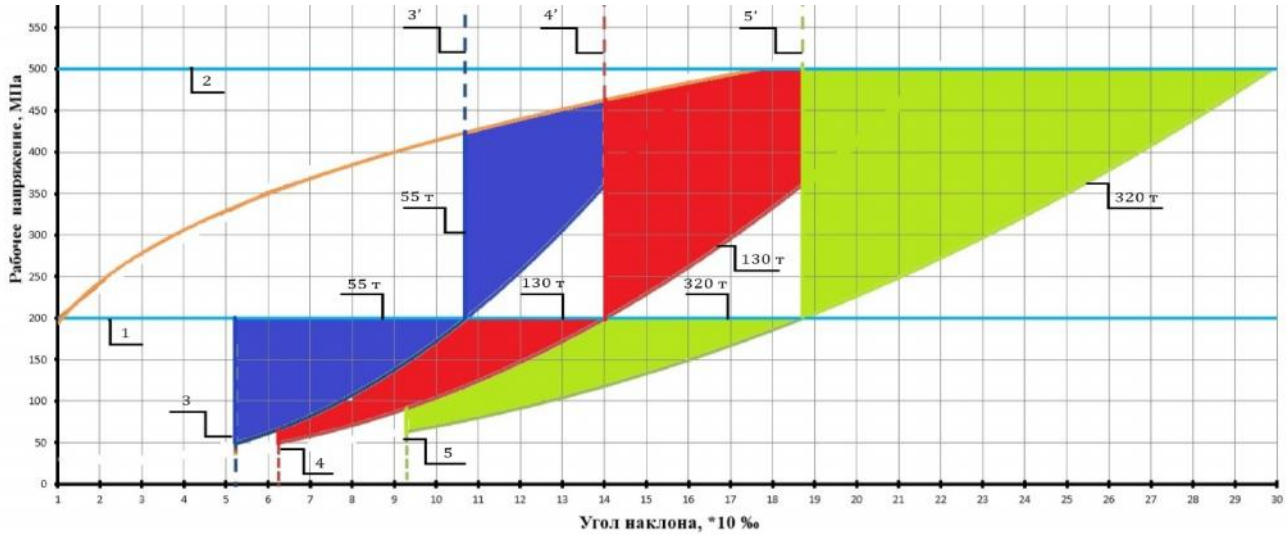


Рисунок 4.5 - Диаграмма определения допускаемых условий эксплуатации автосамосвалов различной грузоподъемности

Каждой группе автосамосвалов соответствует по две области на диаграмме определенного цвета: синий цвет – БелАЗ–7555 с грузоподъемностью 55 т, красный цвет – БелАЗ–75131 с грузоподъемностью 130 т, зеленый цвет – БелАЗ–75600 с грузоподъемностью 320 т. Оранжевая линия – это отношение длины элемента исследуемой металлоконструкции подвески к критической длине трещины. Голубым цветом обозначены две границы: нижняя (1) соответствует пределу выносливости, верхняя (2) – пределу прочности. Три области диаграммы, ниже предела выносливости, ограничены вертикальными прямыми линиями (3, 4, 5), соответствующими углам наклона при номинальном расходе топлива. То есть в интервале углов наклона нижних областей происходит увеличение расхода топлива, а, следовательно, происходит сокращение ресурса двигателя, но еще не происходит образования и роста трещин в металлоконструкциях. Вертикальные границы верхних областей диаграммы (3’, 4’, 5’) соответствуют росту пластических деформаций. В случае возникновения на интервалах углов наклона трассы напряжений, соответствующих области на диаграмме, происходит трещинообразование и рост трещин в металлоконструкциях заднего моста подвески.

4.4 Разработка алгоритма мониторинга ресурса металлоконструкций задних мостов большегрузных автосамосвалов посредством GPS-навигации

Заводом-изготовителем для определенных условий эксплуатации устанавливается наработка на отказ (Т) автосамосвала: например, для БелАЗ-75131 она составляет до капитального ремонта 30000 моточасов (в экстремальных условиях эксплуатации), а при дальнейшей эксплуатации до 60000 моточасов в большинстве случаев происходит списание самосвала. В настоящее время карьерный автотранспорт довольно часто работает в более сложных горно-геологических и горно-технологических условиях, которые не соответствуют рекомендованным заводом. Следовательно, происходит сокращение гарантированного ресурса металлоконструкций, который характеризуется долговечностью узлов, элементов и деталей данной конструкции.

За критерий долговечности принимается количество циклов нагружения до отказа, которое зависит от напряжений, возникающих в металлоконструкциях. По числу циклов нагружения автосамосвала устанавливается наработка на отказ автосамосвала, т.е. наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Для оценки наработки на отказ использовались данные системы мониторинга состояния автосамосвала БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса. Результаты расчета приведены в таблице 4.7.

Каждое значение удельных затрат энергии соответствует одному рейсу за смену. Математическое ожидание амплитуды напряжений рассчитывалось по формуле

$$M_{\sigma a} = 1{,}13P_{ф}{}^{2} - 3{,}25P_{ф} + 29{,}45.$$

Количество циклов нагружения за данный рейс $N_р$ соответствует затраченному времени перевозки. Количество циклов нагружения до отказа N определялось по зависимости

$$N = 1 \cdot 10^{14} M_{\sigma a}^{-3,52}.$$

Наработка на отказ рассчитывалась по формуле

$$T = \frac{N}{N_р} * 12. \quad (4.3)$$

Таблица 4.7 - Наработка на отказ автосамосвала БелАЗ-75131

Удельные затраты энергии $P_ф$, г.у.т./т·м	**Математическое ожидание амплитуды напряжений $M_{σa}$, МПа**	**Количество циклов нагружения за рейс $N_р$, цикл**	**Количество циклов нагружения до отказа N, цикл**	**Наработка на отказ Т, моточас**
2,6	28,7	544	$352*10^6$	$7,8*10^6$
3,2	30,6	558	$263*10^6$	$5,7*10^6$
2,6	28,7	573	$353*10^6$	$7,4*10^6$

Удельные затраты энергии $P_ф$, г.у.т./т·м	**Математическое ожидание амплитуды напряжений $M_{σa}$, МПа**	**Количество циклов нагружения за рейс $N_р$, цикл**	**Количество циклов нагружения до отказа N, цикл**	**Наработка на отказ T, моточас**
3,2	30,6	543	$259*10^6$	$5,7*10^6$
3,4	31,6	537	$226*10^6$	$5,1*10^6$
2,8	29,1	560	$330*10^6$	$7,1*10^6$
3,6	32,4	555	$202*10^6$	$4,4*10^6$
5,8	48,6	562	$31*10^6$	$0,7*10^6$
3,9	33,9	584	$164*10^6$	$3,4*10^6$
3,7	32,7	568	$193*10^6$	$4,1*10^6$
3,6	32,4	544	$197*10^6$	$4,3*10^6$
3,9	34,4	533	$153*10^6$	$3,5*10^6$
5,0	41,7	541	$63*10^6$	$1,4*10^6$
3,8	33,5	531	$173*10^6$	$3,9*10^6$
4,3	36,1	549	$122*10^6$	$2,7*10^6$
6,3	54,2	553	$19*10^6$	$0,4*10^6$
4,3	36,1	566	$113*10^6$	$2,4*10^6$
5,0	41,7	572	$62*10^6$	$1,3*10^6$
4,8	39,9	547	$77*10^6$	$1,7*10^6$

Из таблицы видно, что при увеличении удельных затрат энергии в 4,5 г.у.т./т·м количество циклов нагружения до отказа системы на порядок снижается, однако, значительного изменения математического ожидания амплитуды напряжений не наблюдается. Вместе с тем, происходит существенное сокращение наработки на отказ автосамосвала (примерно, в 2 раза) при достижении удельных затрат энергии в 5,3 г.у.т./т·м (рисунок 4.6).

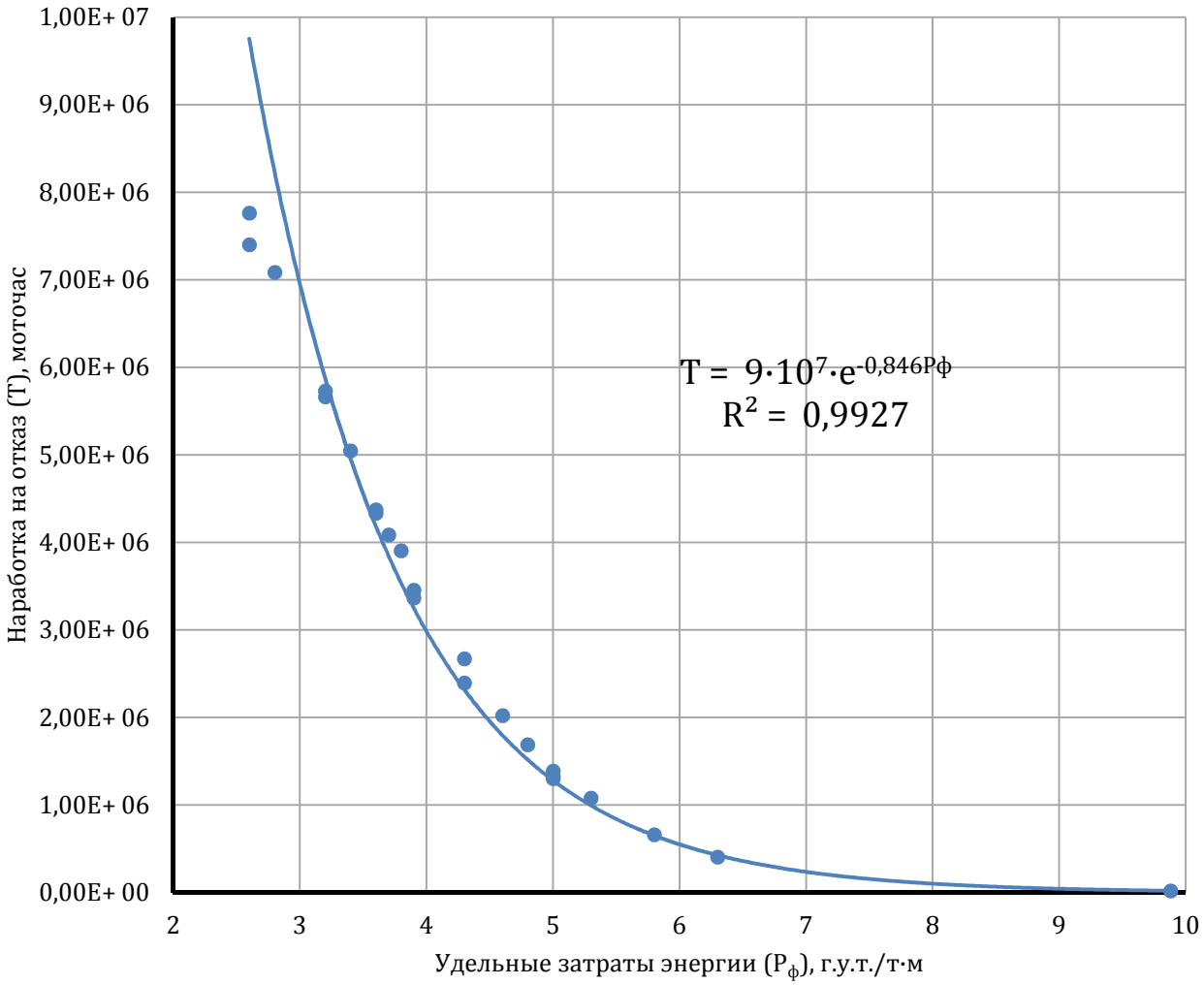


Рисунок 4.6 - Взаимосвязь удельных затрат энергии и наработки на отказ автосамосвала БелАЗ-75131

Коэффициент детерминации экспоненциальной зависимости наработки на отказ от удельных затрат энергии составил 0,9927.

Из рисунка 4.6 видно, что при эксплуатации автосамосвалов до значения удельных затрат энергии равного 5,3 г.у.т./т·м наработка на отказ варьируется в

пределах от $8 \cdot 10^6$ до $1 \cdot 10^6$ моточасов. С учетом полученной зависимости рассчитаны предельные значения удельных затрат энергии, при которых гарантируемая наработка еще сохраняется (8,6 г.у.т./т·м) и сокращается на 80-90 % (17,8 г.у.т./т·м).

На основании установленных предельно-допускаемых значений удельных затрат энергии определены предельно-допускаемые уклоны трассы (рисунок 4.7).

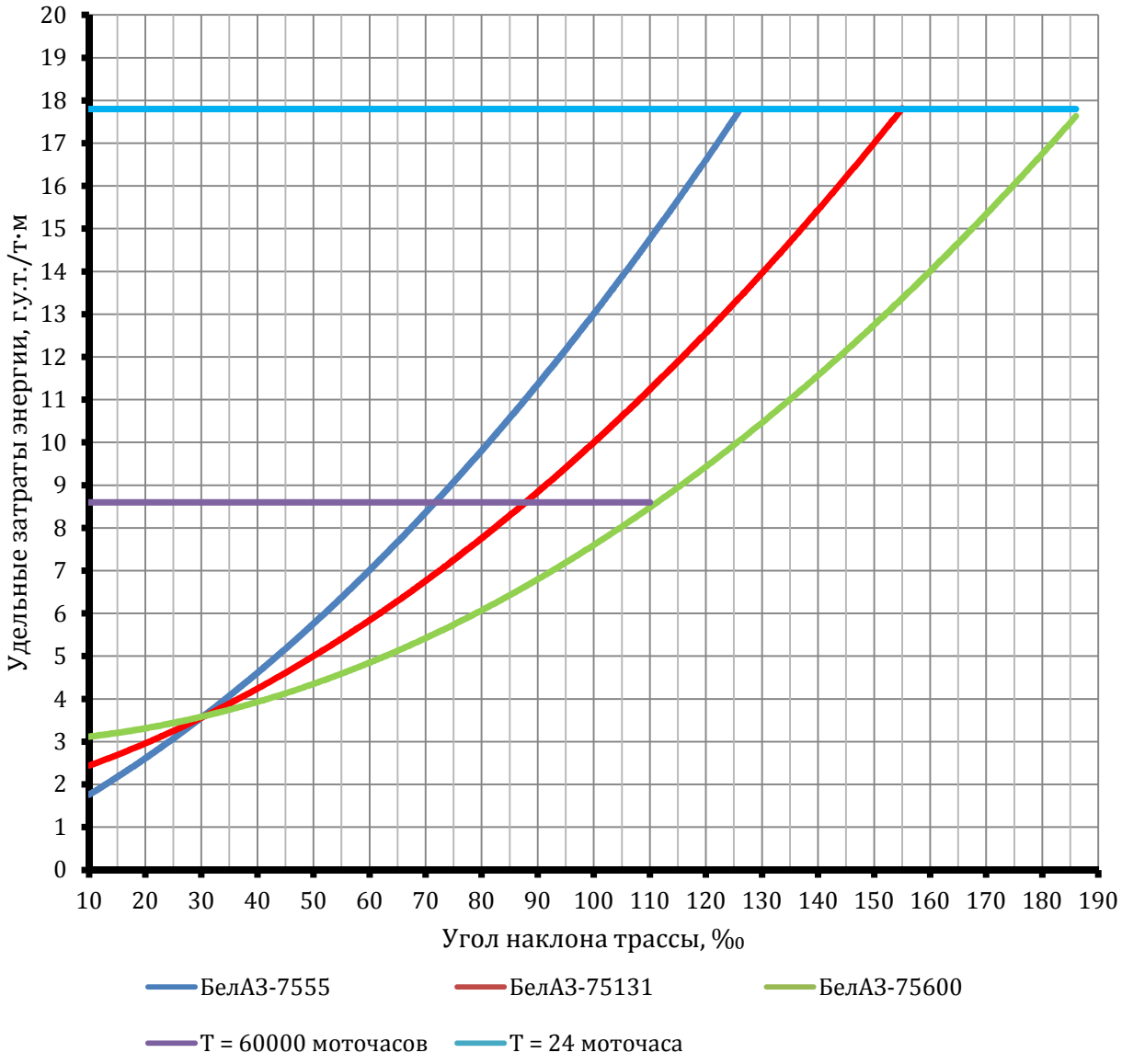


Рисунок 4.7 - Диаграмма определения предельно-допускаемых уклонов трассы по критерию наработки на отказ

Из рисунка видно, что для сохранения гарантируемой наработки автосамосвалы рекомендуется эксплуатировать при уклонах трассы: БелАЗ-7555 – 73 ‰, БелАЗ-75131 – 88 ‰, БелАЗ-75600 – 110 ‰. Сокращение наработки на 80-90 % у

автосамосвалов наступает при превышении уклонов: БелАЗ-7555 – 125 ‰, БелАЗ-75131 – 155 ‰, БелАЗ-75600 – 185 ‰.

Наработка на отказ является основным показателем надежности. Надежность работы автосамосвала определяет его срок службы, который в свою очередь определяется 90 % ресурсом автосамосвала до капитального ремонта. С увеличением удельных затрат энергии срок службы автосамосвала сокращается (рисунок 4.8).

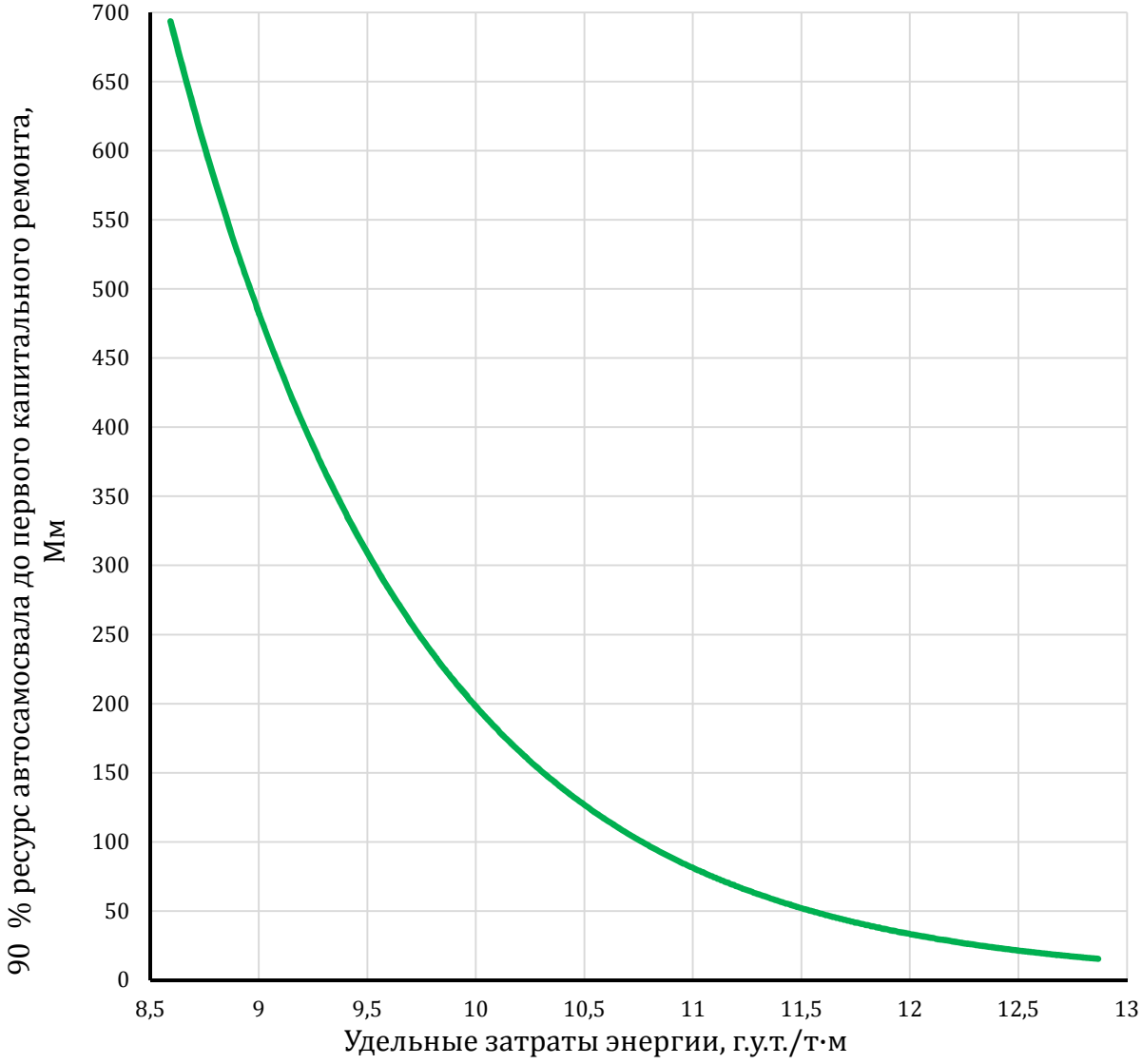


Рисунок 4.8 - Зависимость 90 % ресурса автосамосвала до капитального ремонта от удельных затрат энергии

При сохранении заданной заводом-изготовителем наработки на отказ 90 % ресурс автосамосвала до капитального ремонта составляет не менее 700000 км. Удельные затраты энергии при этом не должны превышать 8,6 г.у.т./т·м.

Для учета влияния основных показателей эксплуатации автосамосвалов (технических, технологических и физических) построена гистограмма характерных уклонов трассы, при достижении которых происходит заметное изменение в показателях эксплуатации, для автосамосвалов различной грузоподъемности (рисунок 4.9).

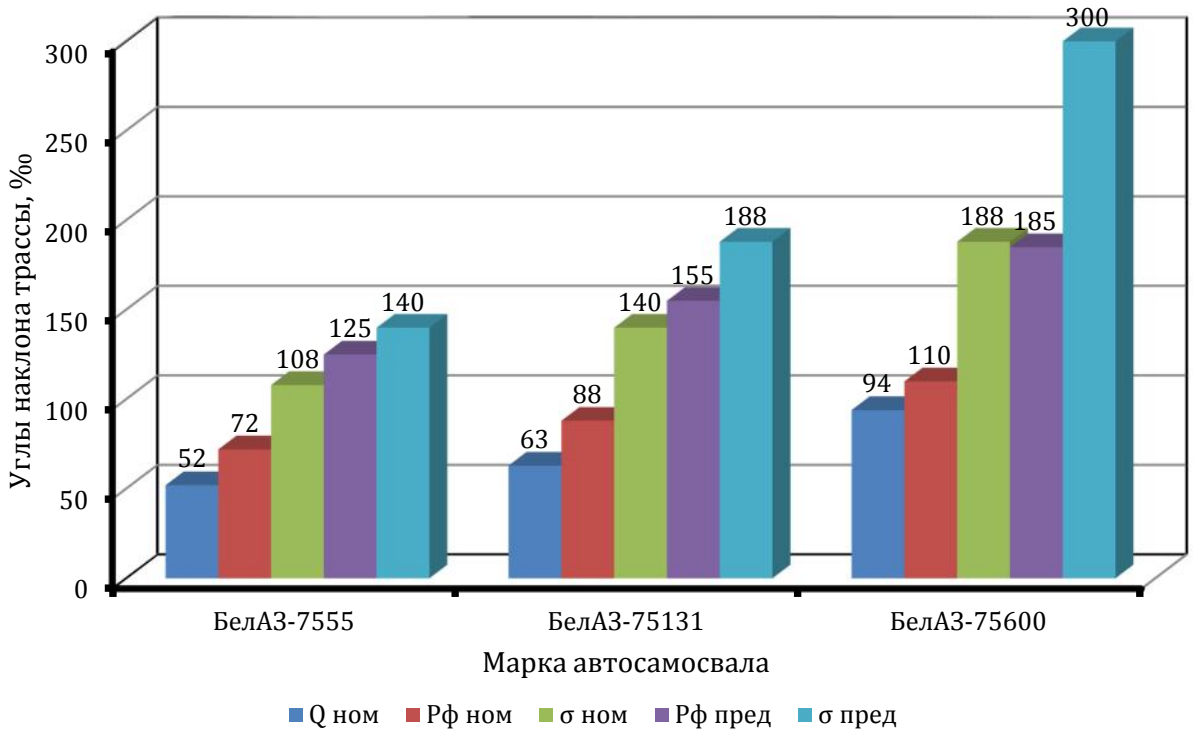


Рисунок 4.9 - Гистограмма характерных уклонов трассы

На рисунке 4.9 отображены характерные уклоны трассы для следующих параметров эксплуатации: $Q_{ном}$ – номинальное значение расхода дизтоплива, при котором двигатель работает на номинальной мощности (не сокращается ресурс двигателя, заданный заводом-изготовителем); $Р_{фном}$ – номинальное значение удельных затрат энергии, при котором еще сохраняется наработка на отказ, заданная заводом-изготовителем; $\sigma_{ном}$ – номинальное значение напряжений в металлоконструкциях подвески, равные пределу выносливости, при котором еще не происходит образования и роста трещин; $Р_{фпред}$ – предельное значение удельных затрат, при котором наработка на отказ составляет 20 % от гарантированной заводом-изготовителем; $\sigma_{пред}$ – предельное значение напряжений в металлоконструкциях подвески, при котором напряжения достигают предела прочности.

Подробный анализ характерных уклонов трассы представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Подробный анализ влияния характерных уклонов трассы на параметры эксплуатации автосамосвалов

Интервал уклонов трассы, ‰			**Комментарий**
БелАЗ – 7555 (55 т)	**БелАЗ – 75131 (130 т)**	**БелАЗ – 75600 (320 т)**	
До 52	До 63	До 93	Эксплуатация автосамосвала не ведет к сокращению ресурса двигателя, не происходит трещинообразования в металлоконструкциях подвески, расход топлива в пределах номинального.
52-72	63-88	93-110	Мощность автосамосвала выше номинальной, но еще не приводит к резкому сокращению ресурса двигателя. Значения напряжений не приводят к трещинообразованию. Значение наработки на отказ соответствует гарантируемому заводом.
72-108	88-140	110-188	Ресурс двигателя сокращается примерно на 15-20%, увеличивается расход топлива.
108-125	140-155	185-188	Наработка на отказ двигателя сокращается на 80-90 %, ресурс металлоконструкций сокращается на 15-25%.
125-140	155-188	185-300	Для работы на таких уклонах необходим более мощный и надежный двигатель, ресурс металлоконструкций сокращается на 80-90 %.

С целью уменьшения простоев и увеличения долговечности металлоконструкций заднего моста подвески и повышению эффективности использования большегрузных автосамосвалов путем постоянного анализа горно-технологических параметров и условий эксплуатации посредством GPS-навигации разработан алгоритм мониторинга ресурса металлоконструкций большегрузных автосамосвалов (рисунок 4.10).

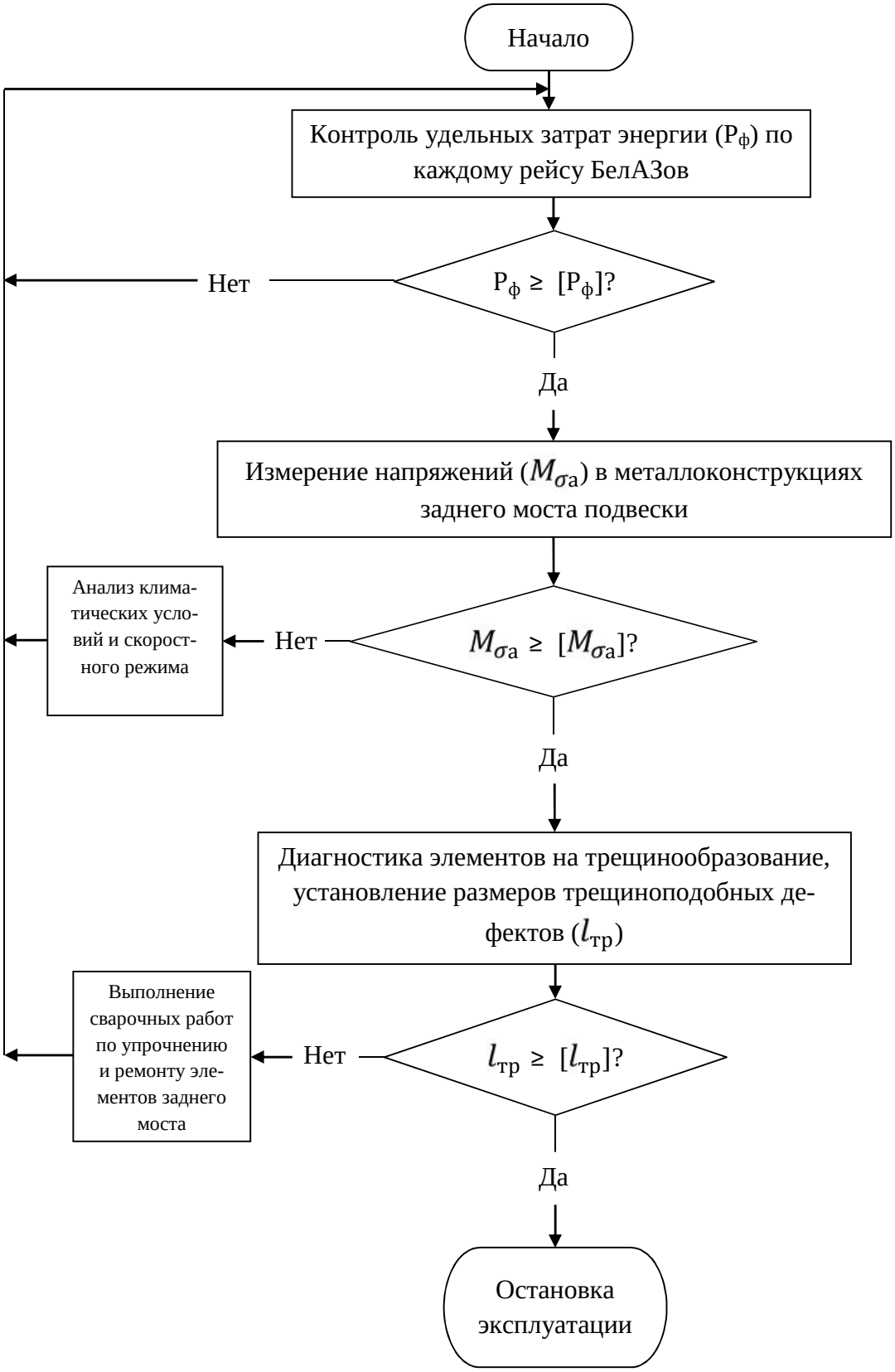


Рисунок 4.10 - Алгоритм мониторинга ресурса металлоконструкций заднего моста подвески большегрузных автосамосвалов

Для использования предложенного алгоритма в производственных условиях была разработана программа расчета удельных затрат энергии. Параметры эксплуатации автосамосвалов, которые являются исходными данными, GPS-центром выводятся на компьютер в формате файла Microsoft Excel. Далее рассчитывается расход топлива, по количеству топлива в баке в данный момент времени, и удельные затраты энергии.

Применение разработанного алгоритма мониторинга ресурса металлоконструкций заднего моста подвески автосамосвалов различной грузоподъемности посредством анализа показателей эксплуатации способствует предотвращению внеплановых простоев и сокращению затрат на ремонт и диагностику системы.

4.5 Выводы

1 Получена зависимость математического ожидания амплитуды напряжений, возникающих в металлоконструкциях балки заднего моста, и удельных затрат энергии при транспортировании горной массы большегрузными автосамосвалами, которая характеризует и аналитически описывает взаимосвязь двух нестационарных процессов (энергоемкости и долговечности) с коэффициентом детерминации 0,982.

2 Установлено, что с учетом возникающих в металлоконструкциях подвески заднего моста напряжений автосамосвалы до 55 т целесообразно эксплуатировать на уклонах до 85 ‰, карьерные автомобили с грузоподъемностью 55-130 т на уклонах до 110 ‰, а самосвалы большей грузоподъемности (свыше 130 т) на уклонах более 110 ‰.

3 Установлено, что при превышении значения удельных затрат энергии, составляющих 8,6 г.у.т./т·м, 90 % ресурс автосамосвала до капитального ремонта не достигает рекомендованного значения заводом-изготовителем, равном 700000 км.

4 Эффективность и безотказность работы автосамосвалов, увеличение ресурса металлоконструкций и срока службы системы, снижение энергозатрат на

транспортирование горной массы обеспечивается посредством эксплуатации карьерного транспорта на углах наклона, не превышающих 108, 140 и 185 ‰ для типоразмеров с грузоподъемностью до 55 т, от 55 т до 130 т и свыше 130 т соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой 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.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1 Установлено распределение амплитуд напряжений, возникающих в металлоконструкциях подвески заднего моста большегрузных автосамосвалов при эксплуатации в сложных горно-технологических условиях, которое подчиняется нормальному закону, показатель теста Колмогорова-Смирнова составил $p < 0{,}1$.

2 По результатам расчета при циклических нагрузках установлены опасные зоны конструкции заднего моста, где значения суммарных напряжений превышают условный предел текучести материала (для стали 30Л $\sigma_{0,2} = 245$ МПа).

3 Посредством мониторинга параметров эксплуатации большегрузных автосамосвалов с использованием спутниковой системы GPS-навигации установлено, что энергозатраты и напряжения в металлоконструкциях ходовой части возрастают в 1,5-2 раза при прохождении участка дороги на подъем с уклоном, превышающим 60 ‰.

4 Установлена параболическая зависимость удельных затрат энергии от уклона трассы для разных типоразмеров автосамосвалов, коэффициенты которой

определяются с учетом грузоподъемности или мощности двигателя с погрешностью параболической интерполяции, составляющей 0,58 % и 0,57 % соответственно.

5 Обосновано, что математическое ожидание амплитуды напряжений, возникающих в металлоконструкциях заднего моста автосамосвалов, изменяется по параболическому закону в зависимости от удельных затрат энергии с коэффициентом детерминации 0,98.

6 При формировании экскаваторно-автомобильного комплекса рекомендовано предельное значение уклона трассы на подъем в 185 ‰ для автосамосвалов с грузоподъемностью 320 т по критериям энергоемкости процесса транспортирования взорванной горной массы и долговечности элементов металлоконструкций ходовой части.

7 Разработан алгоритм мониторинга ресурса металлоконструкций балки заднего моста автосамосвалов посредством постоянного анализа условий эксплуатации, использование которого позволяет повысить ресурс на 15-25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. / Ю.П. Андлер, И.В. Маркова, Ю.В. Грановский - М.: Наука, 1976 - 280 с.

2. *Артамонов П.В.* Расчет напряженно-деформированного состояния элементов несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов в среде T-FLEX. //. Вестник КузГТУ, 2010. - № 4. - С.15-18.

3. *Артамонов П.В.* Влияние эксплуатационных факторов на параметры долговечности металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов. // Горное оборудование и электромеханика–2010. - №5. – С.43-47.

4. *Баловнев Г.Г.* Усталостная прочность сварных соединений рамного типа при изгибе. // Автомобильная промышленность. - 1969. - № 2. - С. 30-33.

5. *Березин И.Я.* Сопротивление материалов. Усталостное разрушение металлов и расчеты на прочность и долговечность при переменных напряжениях: учебное пособие. / И.Я. Березин, О.Ф. Чернявский; под общей редакцией О.Ф. Чернявского. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 47 с.

6. *Бесчинский А.А,* Экономические проблемы электрификации. / А.А. Бесчинский, Ю.М. Коган – М.: Энергия, 1976. – 424 с.

7. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний. - М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.

8. *Биргер И.А.* Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. / И.А. Биргер, Я.Г. Пановко. – Изд-во Машиностроение, 1968.

9. *Болотин. В.В.* Прогноз ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 334 с.

10. *Броек Д.* Основы механики разрушения: Пер. с анг. – М.: Высш. шк., 1980. – 368 с.

11. *Бунимович Е.А.* Вероятность и статистика. / Е.А. Бунимович, В.А. Булычев - Электронное учебное пособие на CD- ROM. - М.: «Дрофа», 2002.

12. *Васильев М.В.* Эксплуатация карьерного автотранспорта. / М.В. Васильев, В.П. Смирнов, А.А. Кулешов; под общ. ред. М.В. Васильева. – М.: Недра, 1979. - 280 с.

13. *Васильев М.В.* Автомобильный транспорт карьеров. – М.: Недра, 1973. – 280 с.

14. *Васильев М.В.* Транспортные процессы и оборудование на карьерах. – М.: Недра, 1986. – 240 с.

15. *Васильев М.В.* Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках. – Свердловск, 1962. – 332 с.

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

17. *Ворошилов Г.А.* Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных разрезов. - Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук по специальности 25.00.22 «Геотехнология». – Екатеринбург. – 2008. – 24 с.

18. *Ворошилов Г.А.* Особенности эксплуатации горнотранспортного оборудования нагорно-глубинных карьеров. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2007. - № 7. – С. 3-8.

19. *Галкин В.А.* Исследование технологических особенностей эксплуатации большегрузного транспорта на карьерах цветной металлургии. // Тез. докл. и сообщ. Всесоюзн. науч-техн. конф. по карьерному транспорту. - Свердловск, 1984. - С. 117-120.

20. *Гольд Б.В.* Прочность и долговечность автомобилей. / Б.В. Гольд, В.П. Оболенский. – М.: Машиностроение, 1974. - 345 с.

21. *Горбачев Л.Л.* Прогнозирование долговечности металлов под действием циклических нагрузок [Текст] / WORK / Библиотека / МУ НТБ/ Авиация / Усталость / ft_gorac.htm. – С. 1–8.

22. Датчики для автоматизации в угольной промышленности. / Под редакцией Ульшина В.А. - Недра, 1984. - 245 с.

23. *Дергунов Н.И.* Математическая модель анализа и синтеза динамических и статистических характеристик автосамосвала с активной подвеской. / Н.И. Дергунов, А.Г. Чернильцев. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 1993. - № 4. – С. 84-89.

24. *Диллок Б.* Инженерные методы обеспечения надежности систем. / Б. Диллок, Ч. Синг. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

25. *Еремеев В.И.* Скорость движения автосамосвалов по карьерным дорогам / В.И. Еремеев, В.В. Забелин, В.В. Шурыгин; под общ. ред. В.И. Еремеева // Горный журнал. - 1995. - № 4. - С. 51-52.

26. *Зажигаев А.С.* Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. / А.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, Ю.И. Романьков. - М.: Атомиздат, 1978.

27. *Замрий А.А.* Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АРМ Structure3D. - М.: Издательство АПМ, 2006. - 288 с..

28. *Зотов А.А.* Нормы расхода запасных частей автосамосвалов грузоподъемностью 120-136 т, в условьях АК «АСРОСА». / А.А. Зотов, И.В. Зырянов, С.Ф. Пацианский. // Горный журнал, № 2, 2000. - С. 39-40.

29. *Зырянов И.В.* Определение динамических нагрузок в опорных конструкциях автосамосвалов и пути их снижения/ И.В. Зырянов// Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук по специальности 05.05.06 «горные машины». – Ленинград. – 1989. – 20 с.

30. *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.

31. *Зырянов И.В.* Моделирование динамических процессов при загрузке и движении карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности. / И.В. Зырянов, А.А. Кулешов, В.Ф. Терентьев. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 1989, № 3. - С. 31-33.

32. *Зырянов Н.В.* Исследование динамики движения карьерных автосамосвалов БелАЗ–7519. // Записки Санкт-Петербургского горного института им. Г.В. Плеханова. Т. 141. – СПб. – 1995. – С. 104-107.

33. *Зырянов Н.В.* Методика определения влияния условий эксплуатации на долговечность конструкций карьерных автосамосвалов. // Цветная металлургия. – 1994. – № 4-5. – С. 22-23.

34. *Зырянов Н.В.* Определение влияния динамических нагружений на ресурс карьерных автосамосвалов. // Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. по специальности 05.05.06 «горные машины». – СПб. – 1995. – 20 с.

35. Карьерные самосвалы БелАЗ-75131, БелАЗ-75306. Руководство по эксплуатации. – М.: Автоэкспорт, 1994.

36. *Красноштанов Р.Ф.* Технологический транспорт на карьерах. / Р.Ф. Красноштанов, И.В. Зырянов. // Горный журнал. - 1994. - № 9. - С. 30 –33.

37. *Кулешов А.А.* Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта. // Справочник: Часть II. – СПб. – 1995. – 203 с.

38. *Кулешов А.А.* Выбор оптимальной типажной структуры экскаваторно-автомобильных комплексов для условий конкретного карьера. – Ленинград, 1989. – 70 с.

39. *Кулешов А.А.* Теоретические основы высокоэффективной эксплуатации мощных систем карьерного автотранспорта. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук по специальности 05.05.06 «горные машины». – М., 1982. – 31 с.

40. *Кулешов А.А.* Оценка ресурса базовых узлов карьерных автосамосвалов. / А.А. Кулешов, Н.В. Зырянов, И.В. Зырянов. // Цветная металлургия, 1994. - № 11-12. - С. 30-32.

41. *Лель Ю.И.* Горно-геологические и горнотехнические условия разработки глубоких карьеров. / Ю.И. Лель, И.Н. Сандригайло, Е.Ю. Терехин, Г.А. Ворошилов. // Известия Урал. гос. горно-геол. акад. Сер.: Горное дело. – 2000. – № 11. – С. 77-85.

42. *Лель Ю.И.* Формирование транспортной системы при вскрытии глубоких горизонтов внутрикарьерными железнодорожными тоннелями. / Ю.И. Лель, И.Н. Сандригайло. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2000. - № 4. - С. 72-78.

43. *Лель Ю.И.* Энергоемкость транспортных систем карьеров: оценка и перспективы. /Ю. И. Лель, Г. А. Ворошилов. //Горная техника – 2007: Каталог - справочник. – С.-Петербург: Изд-во ООО «Славутич», 2007. – С. 102-108.

44. *Лукинский В.С.* Прогнозирование надежности автомобиля. / В.С. Лукинский, Е.Н. Зайцев. – Л.: Машиностроение, 1984.

45. *Мариев П.Л.* Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2006. - .387 с.

46. *Морин А.С.* Изыскание эффективных аэростатно-канатных систем для открытых горных работ. // Автореф. дис. канд. техн. наук. – Иркутск, 1993. – 32 с.

47. *Морозов Е.М.* Введение в механику развития трещин. - М. Моск. инж-физ. ин-т, 1977.

48. *Нотт Дж. Ф.* Основы механики разрушения: Пер. с анг. – М.: Металлургия, 1978.

49. ОАО угольная компания «Кузбассразрезуголь» [электронный ресурс] URL: http://www.kru.ru/ru/

50. *Паначев И.А.* Оценка энергоемкости процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами на разрезах Кузбасса [Текст]. / И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов.** // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2011. - №4. - С. 35-40.

51. *Паначев И.А.* Анализ влияния угла наклона трассы на энергоемкость транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами [Текст]. / И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов.** // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2013. - №6. – С. 67-70.

52. *Паначев И.А.* Оценка безопасности работы металлоконструкций экскаваторов при наличии трещин [Текст]. / И.А. Паначев, М.Ю. Насонов. // Современные наукоемкие технологии. – 2004. - №6. – С. 43-44.

53. *Паначев И.А.* Влияние величины уклона трассы карьерных дорог на энергоемкость транспортирования горной массы автосамосвалами на больших глубинах [Текст]. / И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов.** //Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при обработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: 2-ая Российско-Китайская научная конференция. – Новосибирск, 2012. - №12. – С. 312-315.

54. *Паначев И.А.* Обоснование нагруженности элементов металлоконструкций большегрузных автосамосвалов при транспортировании горной массы на разрезах Кузбасса [Текст]. / И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов.** // Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., 8-11 октября 2013 г. – Кемерово, 2013. – С. 61-65.

55. *Паначев И.А.* К методике экспериментальных исследований нагруженности элементов конструкций экскаваторов-мехлопат [Текст]. / И.А. Паначев, А.А. Черезов. // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2013. - №1. – С. 19-23.

56. *Паначев И.А.* Анализ технического состояния технологических автомобилей БелАЗ на разрезах Кузбасса. / Природные и интеллектуальные

ресурсы Сибири. Сибресурс 2006: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 ноября 2006 г. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006. – С. 211-212.

57. *Паначев И.А.* Оценка остаточного ресурса горнотранспортных машин, отработавших нормативный срок эксплуатации. / И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, В.Д. Моисеенко, П.В. Артамонов. // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. - Кемерово: КузГТУ, 2005. - С.120-123.

58. *Паначев И.А.* Оценка уровня нагруженности металлоконструкций карьерных автосамосвалов, в зависимости от качества карьерных дорог. / Паначев И.А., Насонов М.И., Артамонов П.В. // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 2006. - С. 119-122.

59. *Паначев И.А.* Оперативное управление работой карьерных автосамосвалов по результатам мониторинга системы GPS. / И.А. Паначев, М.И. Насонов, П.В. Артамонов. // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». – Новосибирск: ИГД СОРАН, 2010.

60. *Паначев И.А.* Исследование динамических процессов в металлоконструкциях карьерных автосамосвалов. / И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, П.В. Артамонов. // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». – Новосибирск: ИГД СОРАН, 2008. - С 307-310.

61. *Паначев И.А.* Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкций балки заднего моста большегрузных автосамосвалов [Текст]/ И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов** //Вестник Кузбасского государственного университета – 2014. - №1. – С. 49-52.

62. *Паначев И.А.* Взаимосвязь напряжений в металлоконструкциях заднего моста большегрузных автосамосвалов и удельных затрат энергии при транспортировании горной массы [Текст]/ И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов**

//Вестник Кузбасского государственного университета – 2014. - №1. – С. 45-49.

63. *Паначев И.А.* К методике определения предельно-допускаемых уклонов карьерных дорог при эксплуатации карьерного автотранспорта на разрезах Кузбасса [Текст]/ И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов**//Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2014. – С. 71-76.

64. *Паначев И.А.* Распределение экскаваторно-автомобильного комплекса по критерию энергоемкости процесса транспортирования [Текст]/ И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов** // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы III Международной науч.- практ. конф. Междуреченск, 2-4 апреля 2014 г. – С. 74-76.

65. *Паначев И.А.* Обоснование распределения экскаваторно-автомобильного комплекса с учетом энергетических затрат на транспортирование горной массы [Текст]/ И.А. Паначев, Г.В. Широколобов, **И.В. Кузнецов** // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014. Материалы XV Международной науч.- практ. конф. Кемерово, 6-7 ноября 2014 г. – Кемерово, 2014.

66. *Паначев И.А.* Анализ напряженно-деформированного состояния и ресурса металлоконструкций подвески автосамосвала БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса [Текст]/ И.А. Паначев, Ю.Ф. Глазков, **И.В. Кузнецов** // Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности. Материалы XVI Международной науч.- практ. конф. Кемерово, 7-10 октября 2014 г. – Кемерово, 2014.

67. *Паначев И.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 и расчет количества циклов нагружения до отказа [Текст]/ И.А. Паначев, Г.В. Широколобов, **И.В. Кузнецов** //Вестник Кузбасского государственного университета – 2015. - №1. – С. 29-33.

68. *Паначев И.А.* Предельно-допускаемые параметры условий эксплуатации большегрузных автосамосвалов по критерию эффективности работы двигателя [Текст]/ И.А. Паначев, **И.В. Кузнецов** //Вестник Кузбасского государственного университета – 2015. - №1. – С. 34-37.

69. *Пановко Я.Г.* Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1989 – 252 с.

70. *Партон В.З.* Механика разрушения от теории к практике. – М.: Наука, 1990.

71. Производственное объединение БелАЗ **[**электронный ресурс] URL: http://belaz.minsk.by/

72. *Путятин А.Н.* Оценка долговечности металлоконструкций шагающих экскаваторов при разработке взорванных пород на угольных разрезах Кузбасса: Дис. канд. техн. наук по специальности 05.05.06 «горные машины». Кемерово, 2005. - 156 с.

73. *Реввель П.* Среда нашего обитания. В 4-х кн. Кн. 3. Энергетические проблемы человечества: Пер. с англ. / П. Реввель, И. Реввель. – М.: Мир, 1995. – 291 с.

74. *Резник Л.Г.* Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. - М.: Транспорт. 1989. - 133 с.

75. *Роней, М.* Усталость высокопрочных материалов / Разрушение. Ред. Г. Либовиц. Т.3. Инженерные основы и воздействие внешней среды. Под ред. Е.М. Морозова. – М.: Мир. 1976. – С. 473–527.

76. *Савельев И.В.* Механика, колебания и волны, молекулярная физика. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1970. - 508 с.

77. *Серенсен С.В.* Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. / С.В. Серенсен, В.П. Кагаев, Р.М. Шнейдерович. - М.: Машиностроение, 1975. - 317 с.

78. *Сироткин З.Л.* Надежность карьерных автосамосвалов. – М.: Цветметинформация, 1974. – 72 с.

79. *Сисин А.Г.* Основные резервы экономии дизельного топлива на карьерном транспорте. / А.Г. Сисин, Ю.Г. Лукин. // Разработка рациональных технологий добычи руд цветных металлов: Сб. научн. тр./Ин-т Унипромедь. – Свердловск, 1988. – С. 39–45.

80. *Смирнов В.П.* Теория карьерного большегрузного транспорта. / В.П. Смирнов, Ю.И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.

81. *Сорокин Л.А.* Энергетическая оценка средств карьерного транспорта. // Проблемы разработки месторождений глубокими карьерами: Тез. докл. Междунар. конфер. – Челябинск: НИИОГР, 1996. – С. 89–90.

82. *Ставров О.А.* Перспективы создания эффективного электромобиля. – М.: Наука, 1984. – 88 с.

83. *Тангаев И.А.* Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 231 с.

84. *Тарасов П.И.* Пути экономии дизельного топлива на карьерном автотранспорте [Текст]. // Горный журнал. 2006. – №2. – С. 72-75.

85. *Терентьев В.Ф.* Циклическая прочность металлических материалов: учеб. пособие. / В.Ф. Терентьев, А.А. Оксогоев. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 61 с.

86. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле: Пер. с анг. / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

87. *Трощенко В.Т.* Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагужении [Текст]. – К.: Наукова думка, 1981. – 344 с.

88. *Трощенко В.Т.* Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справ. / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. - М.: Наука, 1987.

89. *Хохряков В.С.* К оценке энергетической эффективности транспортных систем карьеров в условиях рыночной экономики. / В.С. Хохряков, Ю.И. Лель, Г.А. Ворошилов, Н.А. Николаев. // Мат-лы VII Междунар. науч.-

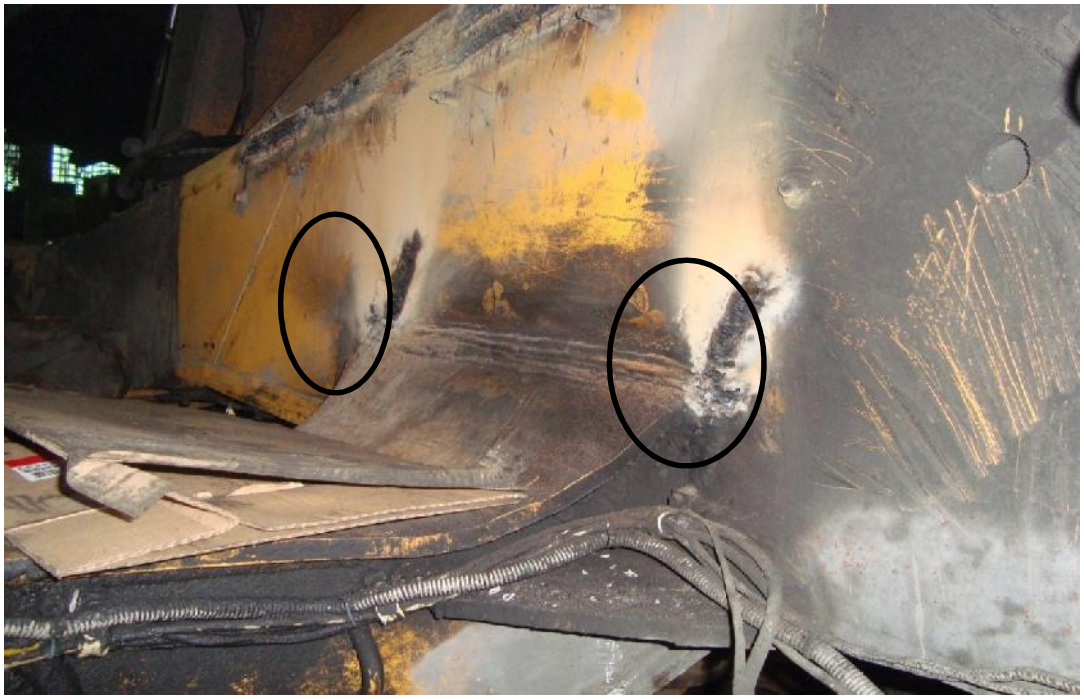
практ. конф. «Проблемы карьерного транспорта», 20-23 сентября 2005 г., г. Екатеринбург. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2005. – С. 18-25.

90. *Хевиленд*. *Р*. Инженерная надежность и расчет на долговечность: Пер. с анг. – М.: Выс. школа, 1965.

91. *Хубаев Б.Г*. Особенности конструкции и перспективы развития карьерных самосвалов грузоподъемностью свыше 30 т: обзорная информация. / Б.Г. Хубаев, М.В. Твертиев. – М.: НИИ «Автопром», 1985. – 60 с.

Приложение 1.

Характерные зоны трещинообразования в элементах металлоконструкций передней и задней подвески автосамосвалов БелАЗ на разрезах Кузбасса

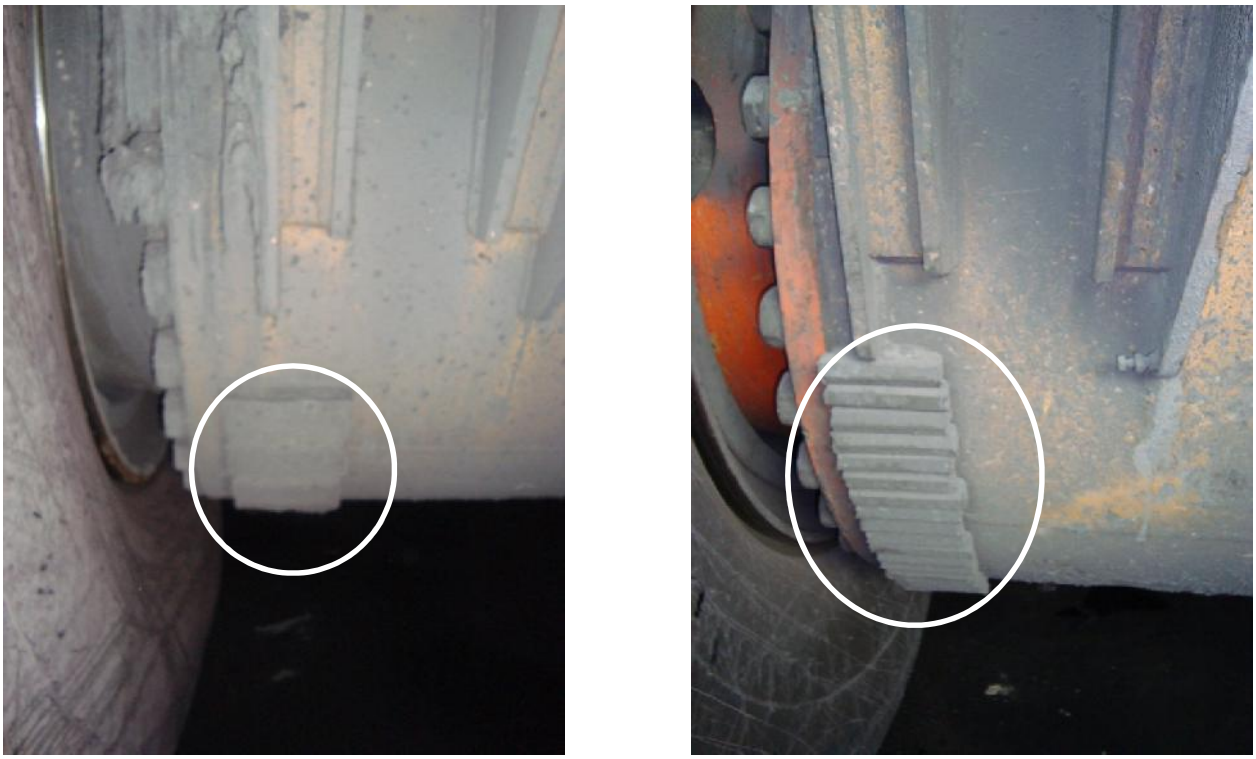


СВАРНЫЕ ШВЫ. ПОПЕРЕЧИНА ПЕРЕДНЕЙ ОСИ

СВАРНОЙ ШОВ. БАЛКА ПЕРЕДНЕЙ ОСИ

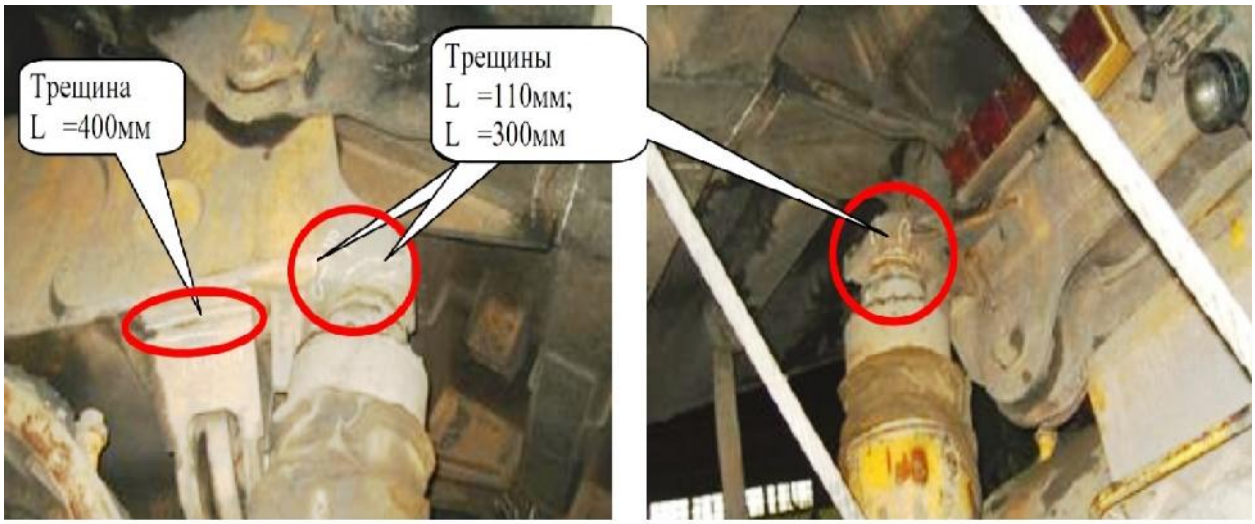
СВАРНЫЕ ШВЫ. БАЛКА ПЕРЕДНЕЙ ОСИ И ЛОНЖЕРОН

САМОДЕЛЬНОЕ УСИЛЕНИЕ. БАЛКА ЗАДНЕГО МОСТА

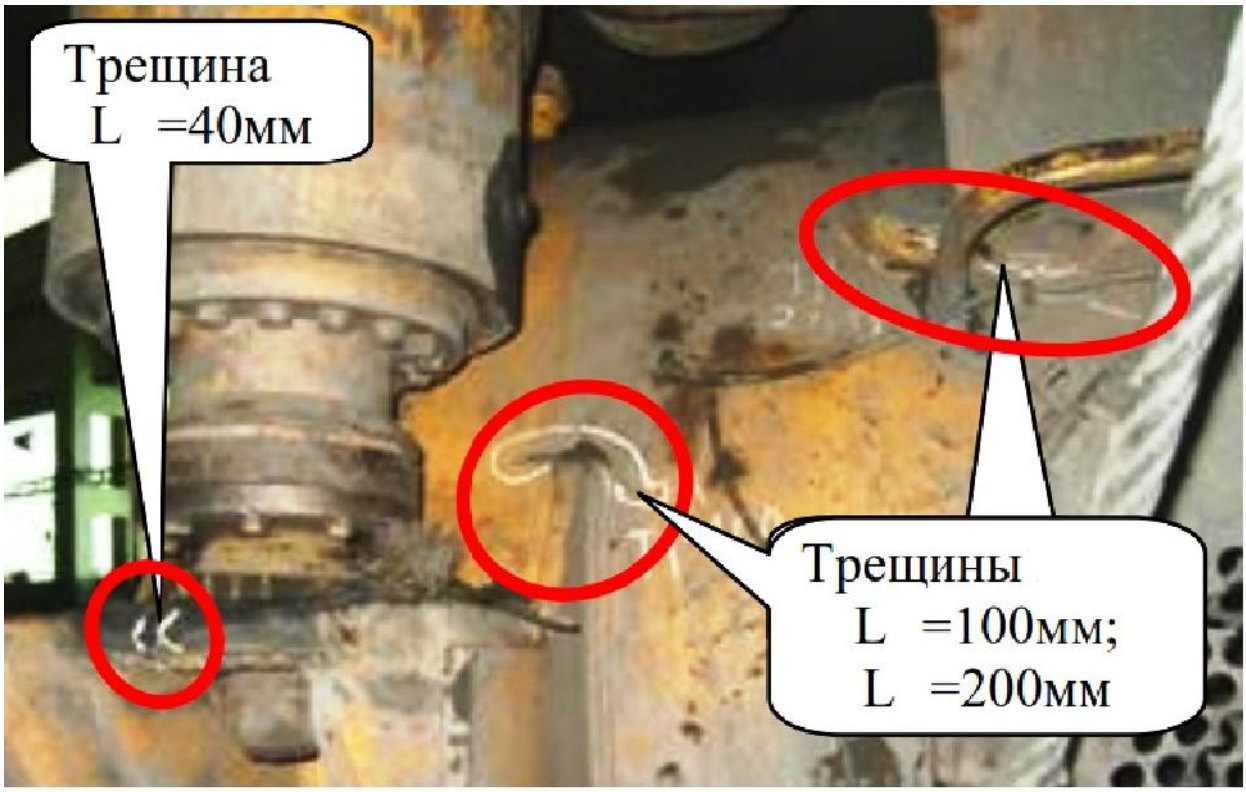


УСИЛЕНИЕ НА ЗАВОДСКОМ ШВЕ. КАРТЕР ЗАДНЕГО МОСТА

ТРЕЩИНЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛЕВОЙ И ПРАВОЙ СТОРОНЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ КОРОБКИ



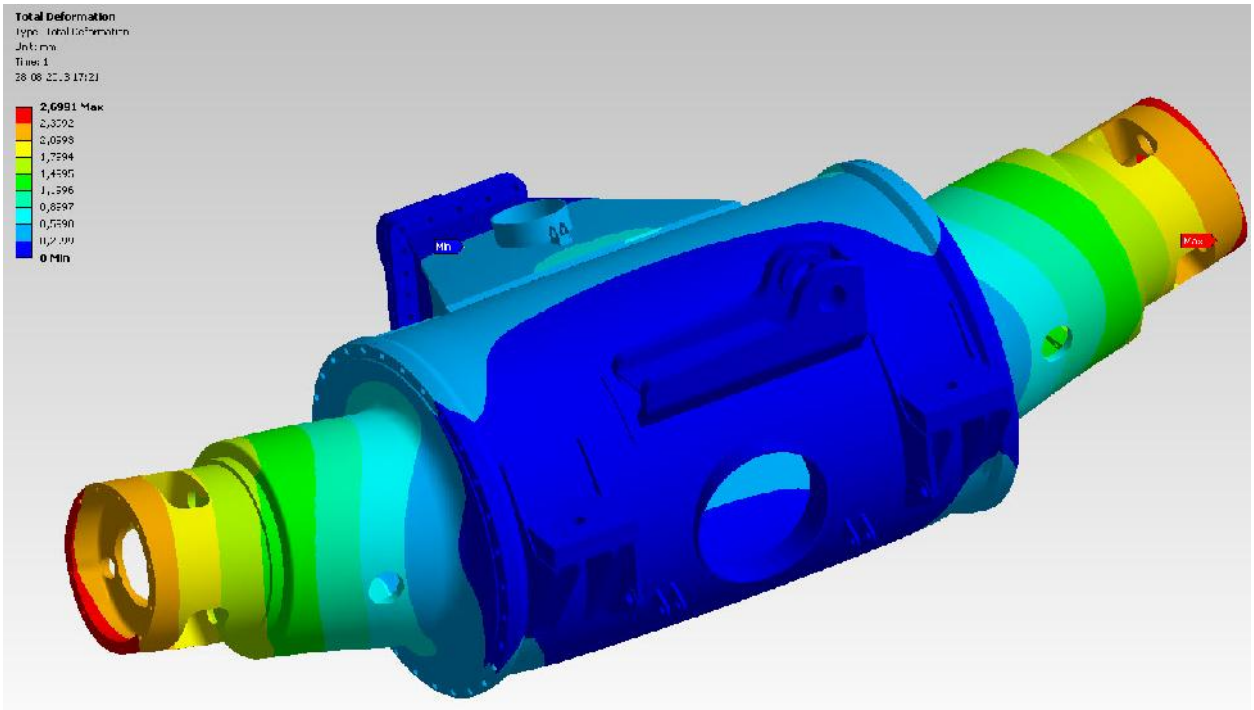
ТРЕЩИНА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ВЕРХНЕГО КРЕПЛЕНЯ РЕАКТИВНОЙ ШТАНГИ НА ЛЕВОМ ЛОНЖЕРОНЕ



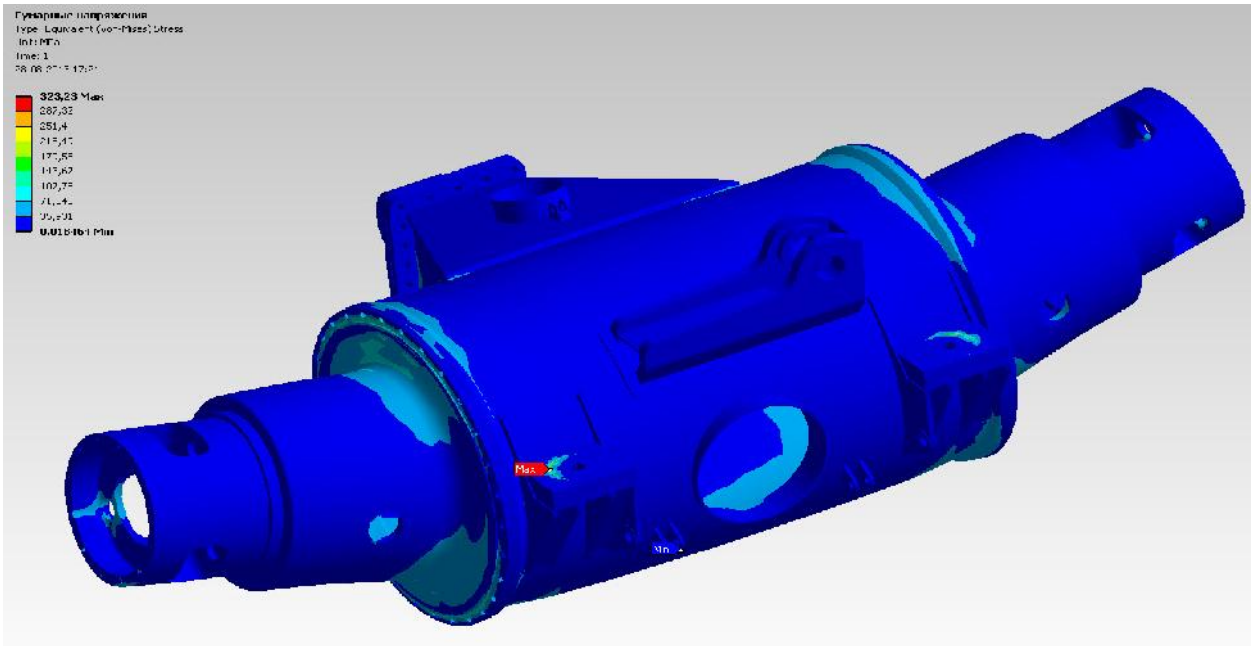
ТРЕЩИНА ЛЕВОЙ НИЖНЕЙ ПЛАСТИНЫ ОСНОВАНИЯ ЛЕВОЙ ШАРОВОЙ ОПОРЫ. ТРЕЩИНА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА КАРТЕРА ЗАДНЕГО МОСТА В РАЙОНЕ КРЕПЛЕНИЯ ЦИЛИНДРА ПОДВЕСКИ И РЕАКТИВНОЙ ШТАНГИ

Приложение 2.

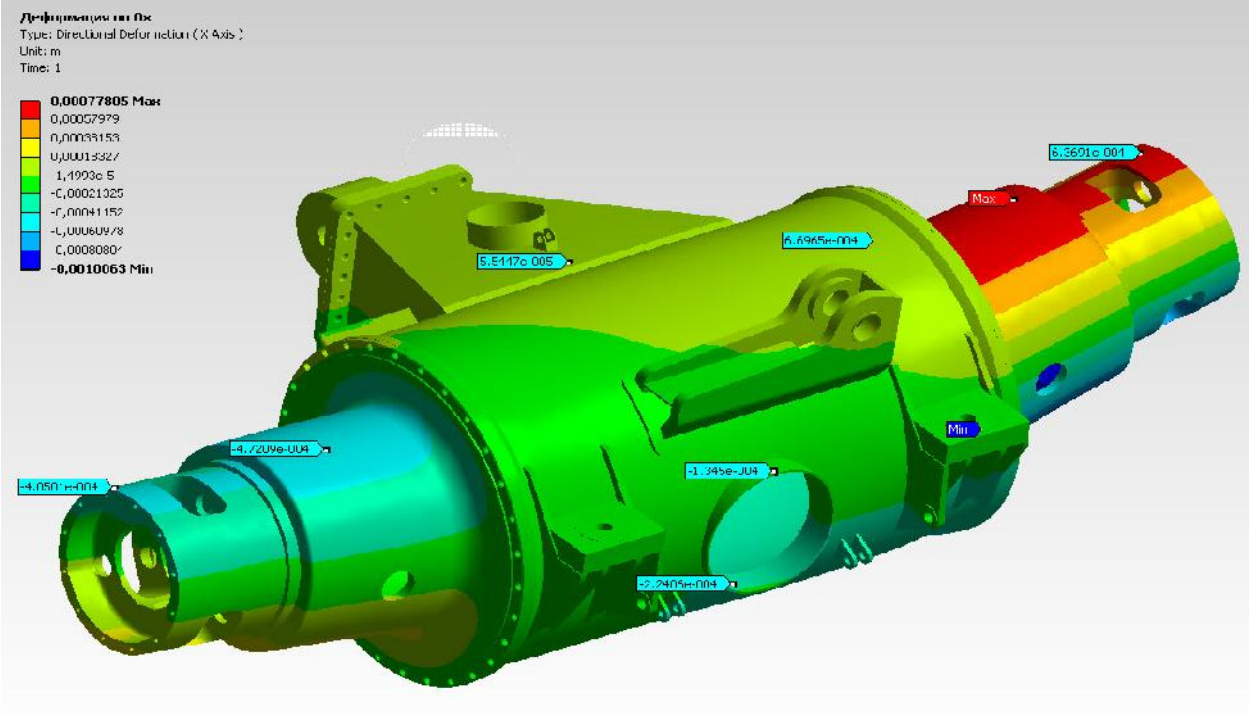
Исследование напряженно-деформированного состояния балки заднего моста автосамосвала БелАЗ-75131 при статических и динамических нагрузках



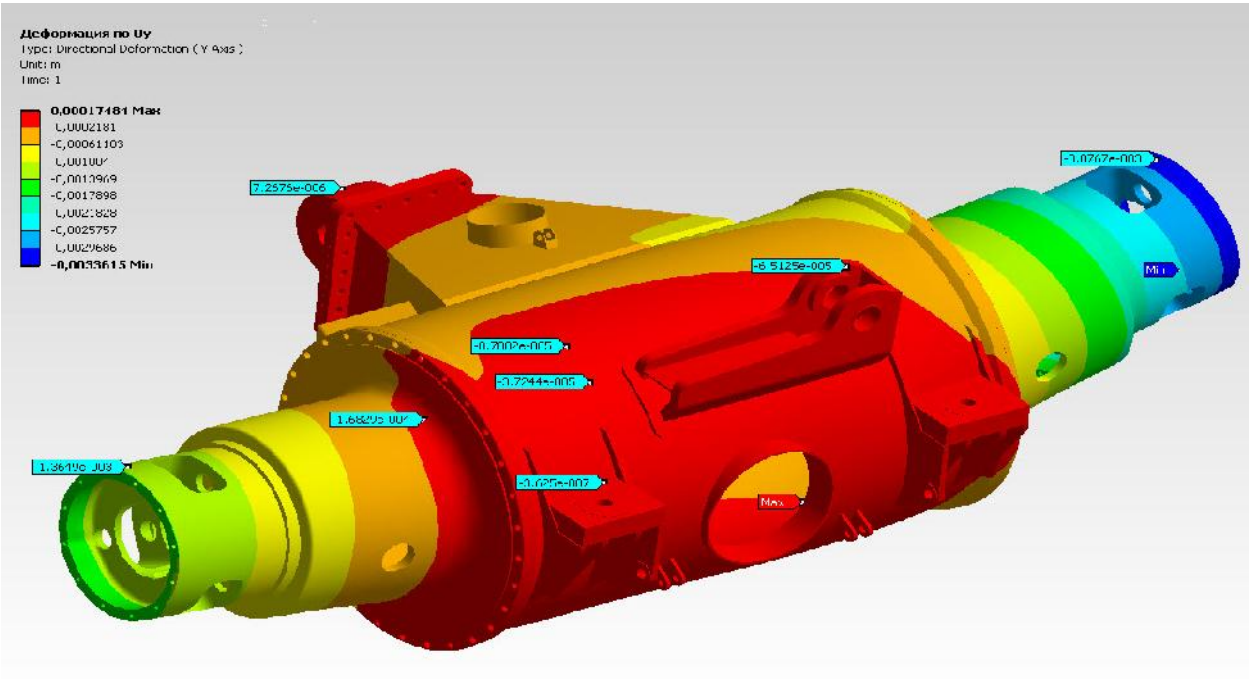
СУММАРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НА РОВНОМ УЧАСТКЕ ДОРОГИ (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



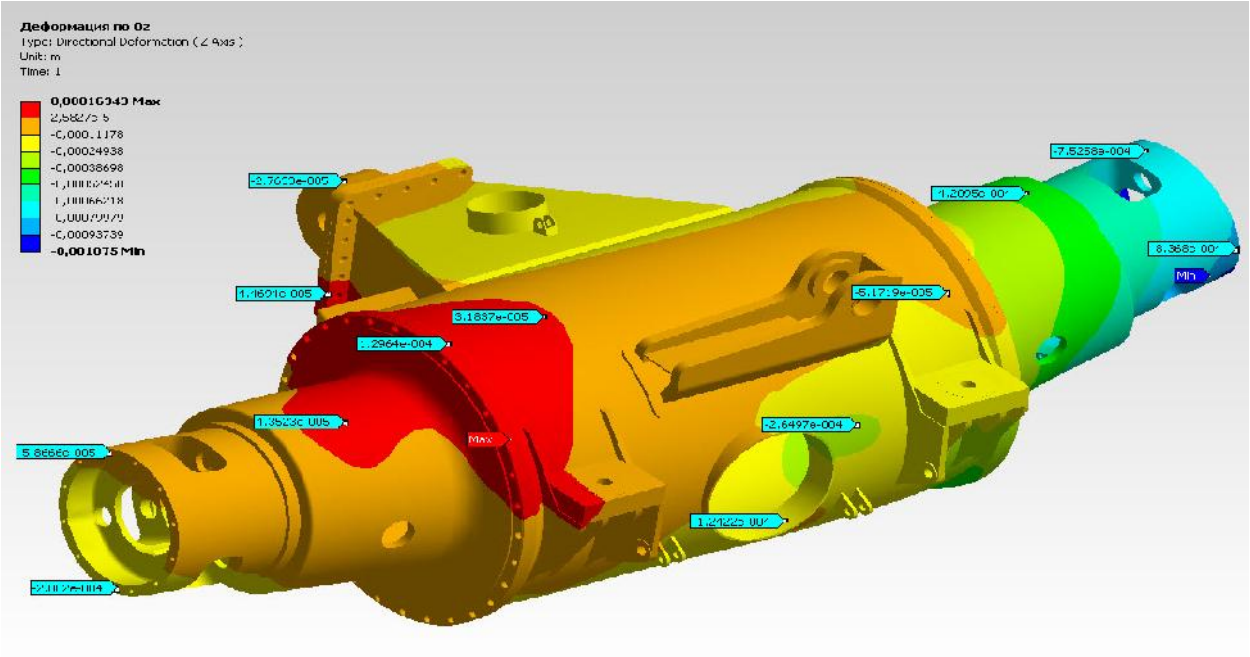
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА РОВНОМ УЧАСТКЕ ДОРОГИ (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



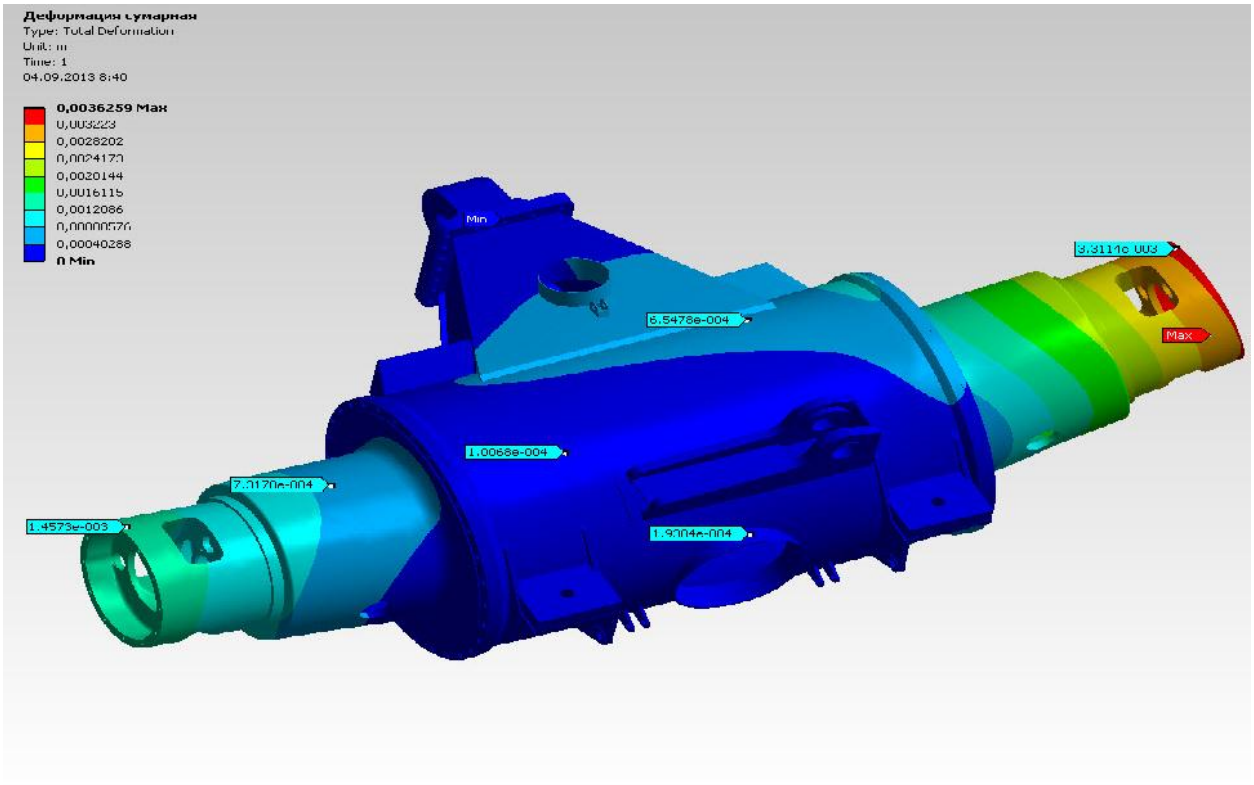
ДЕФОРМАЦИИ ПО ОСИ OX ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



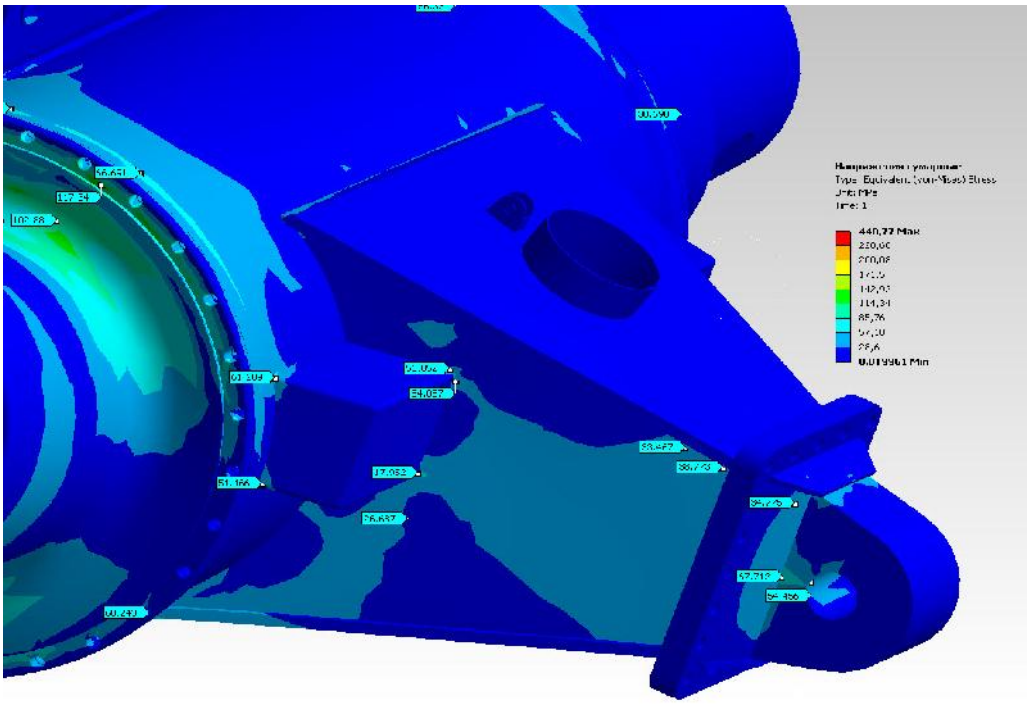
ДЕФОРМАЦИИ ПО ОСИ OY ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



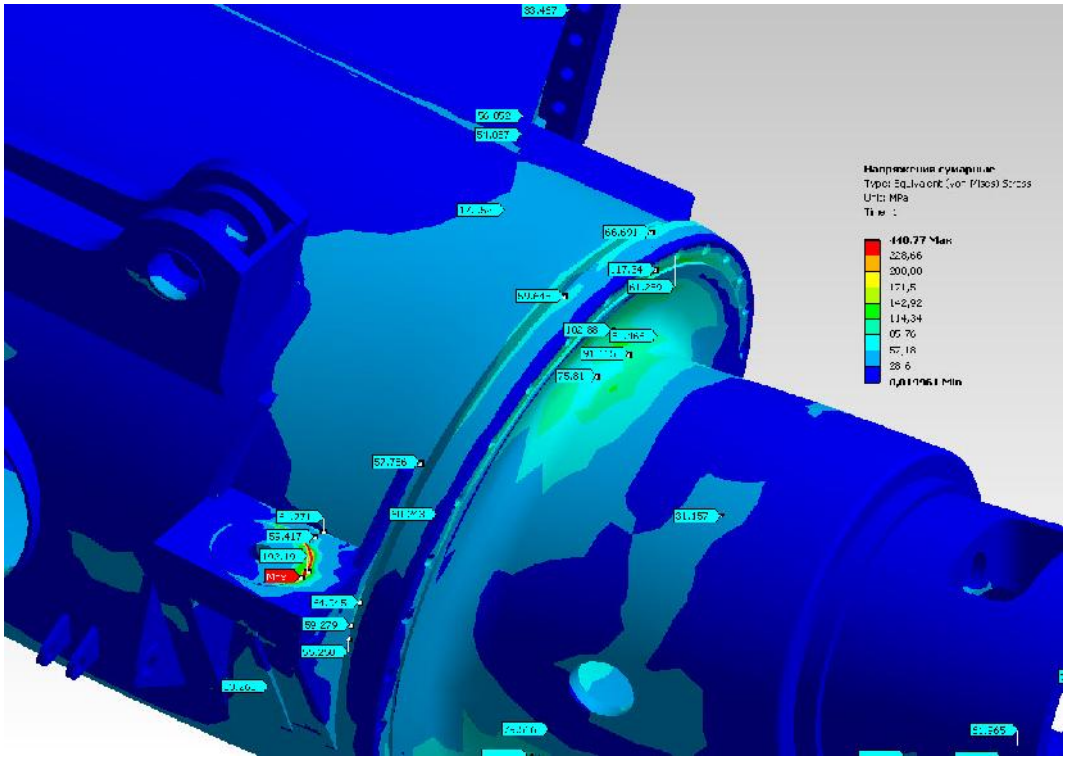
ДЕФОРМАЦИИ ПО ОСИ OZ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



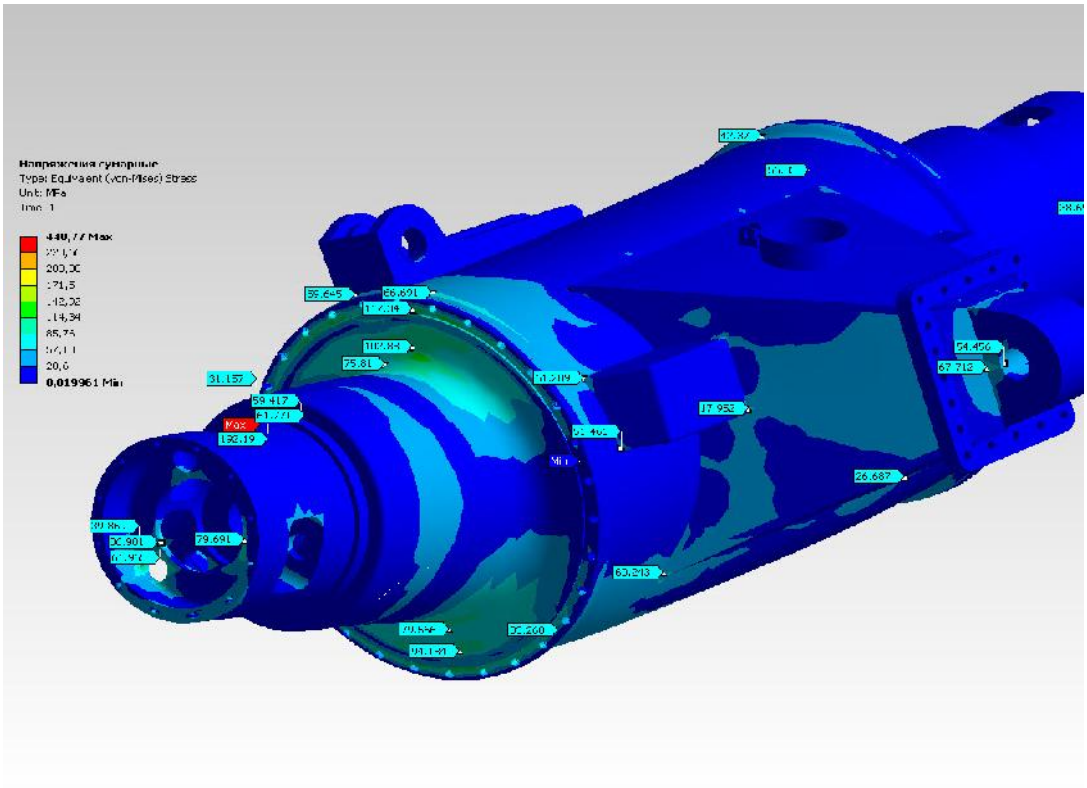
СУММАРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



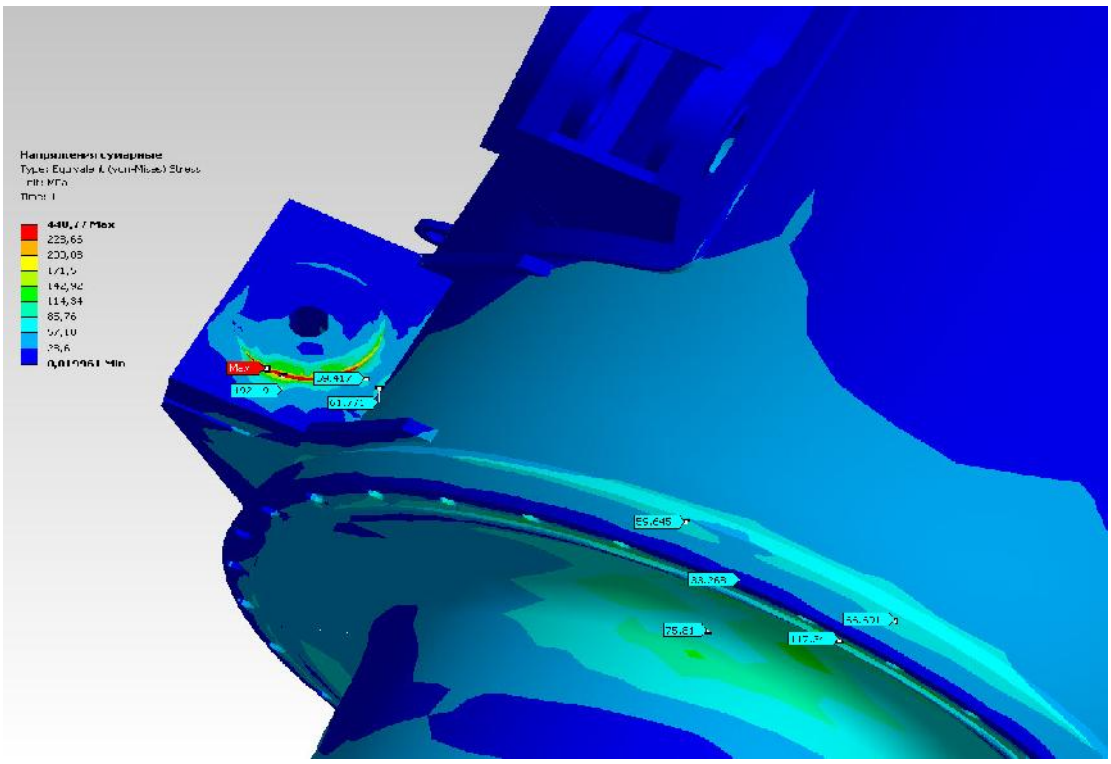
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



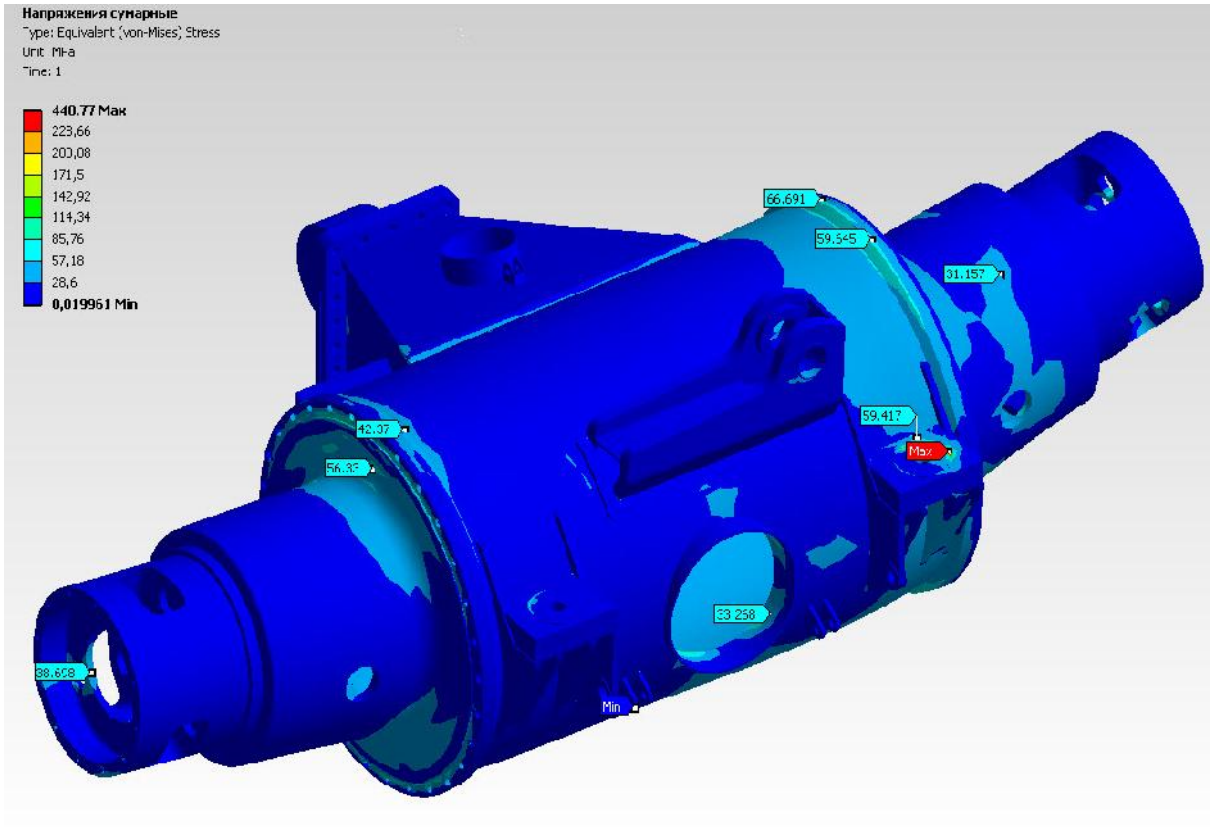
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



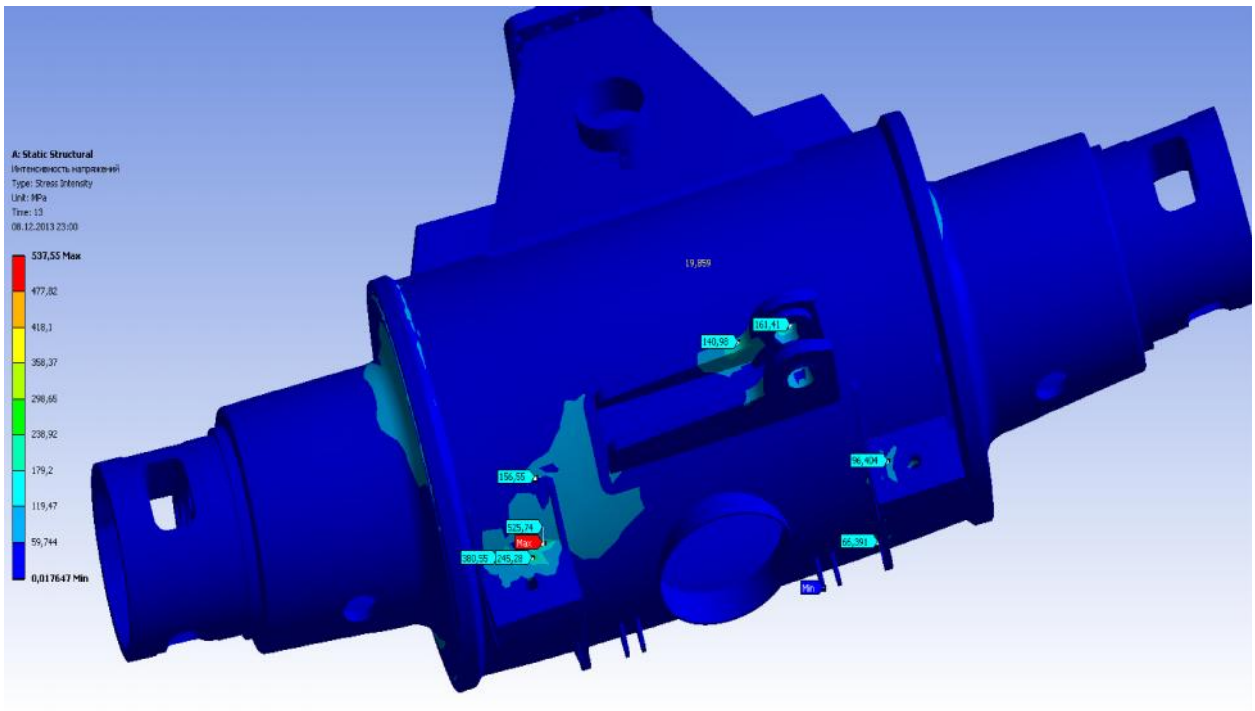
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



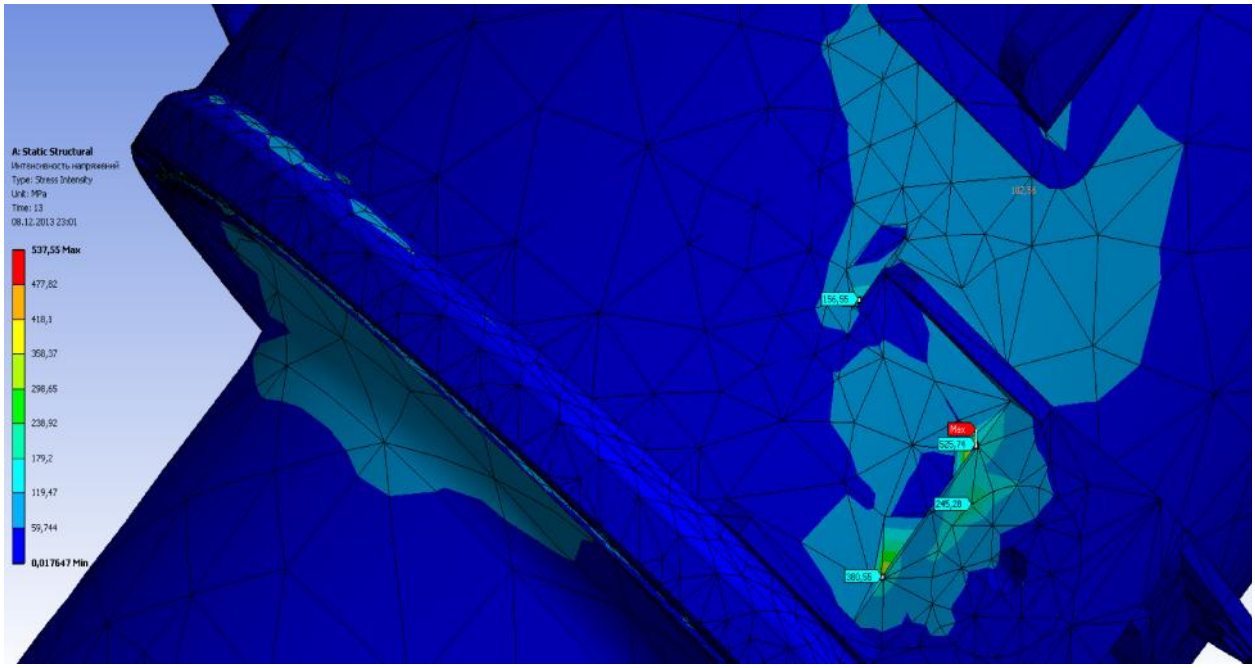
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



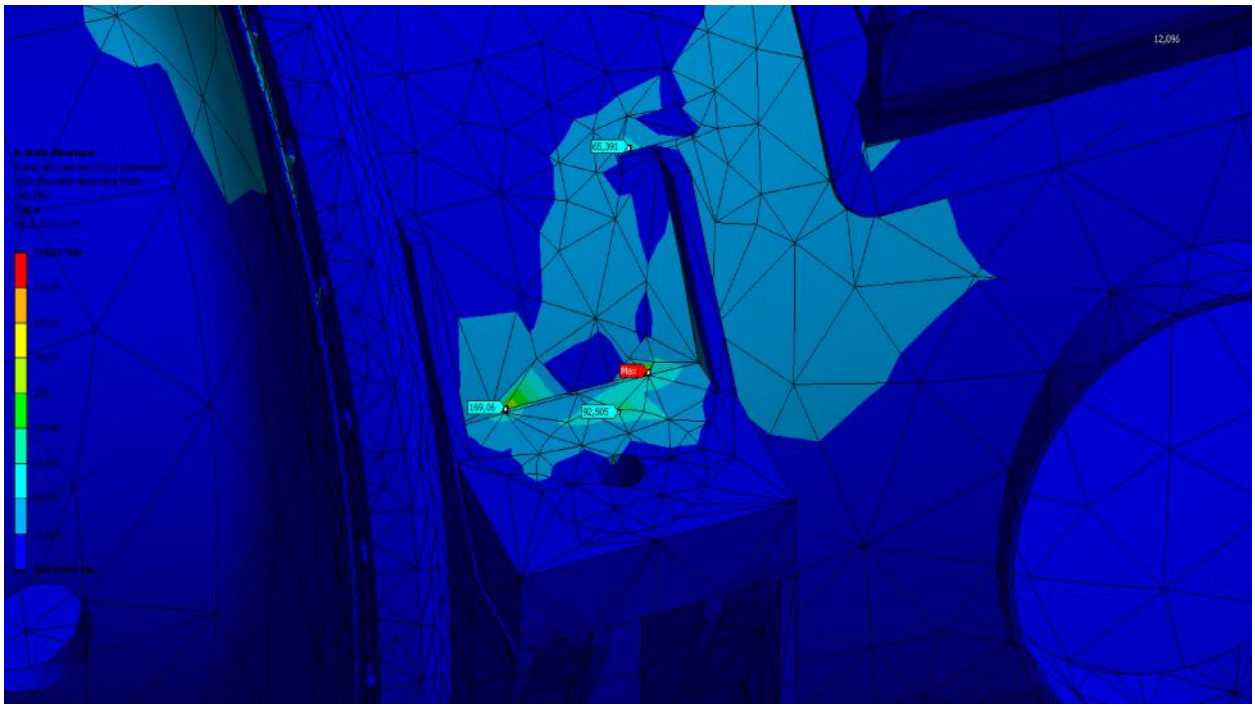
СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ НАКЛОНЕ В 10° (СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)



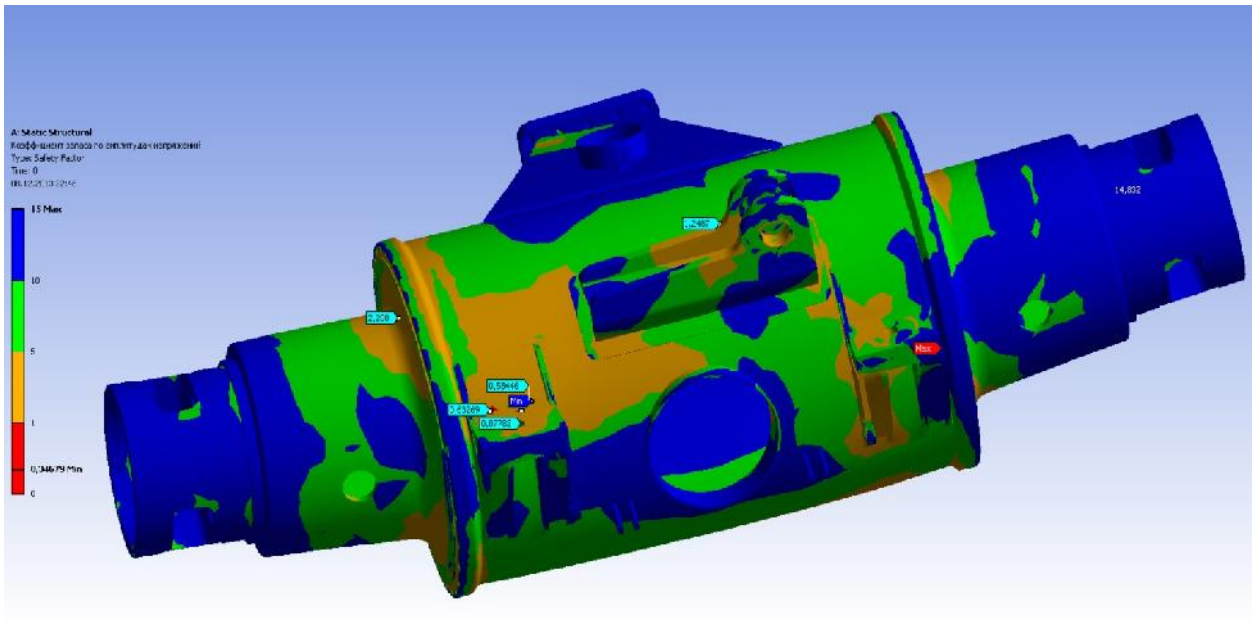
ИНТЕНСИВНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ (РАСЧЕТ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ)



ИНТЕНСИВНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ (РАСЧЕТ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ)



ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕНИЙ (РАСЧЕТ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ)

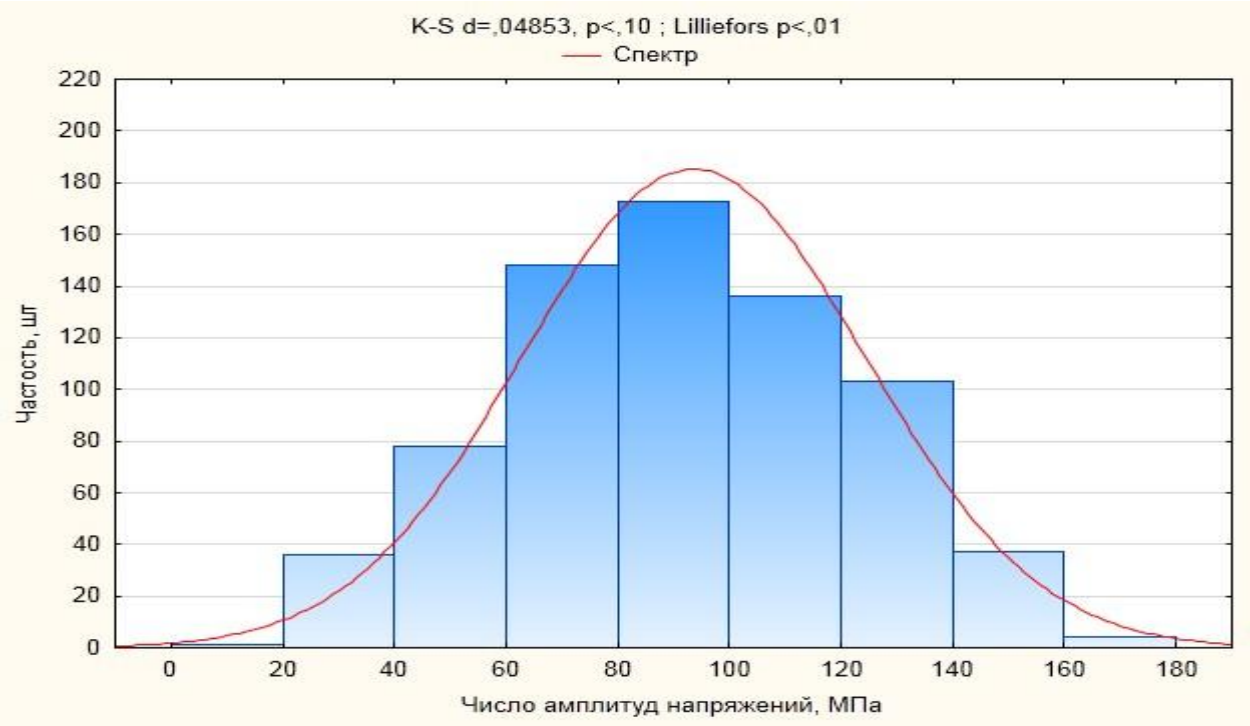


КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ПО АМПЛИТУДАМ НАПРЯЖЕНИЙ (РАСЧЕТ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ)

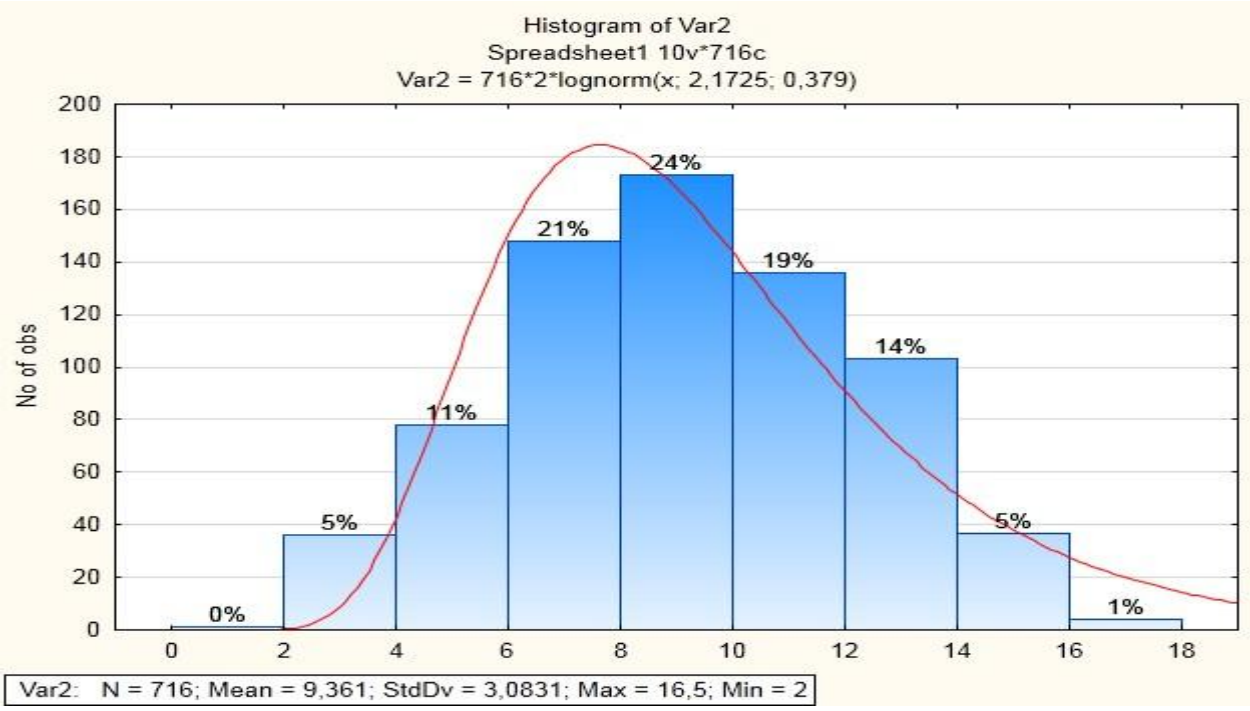
КОЛИЧЕСТВО ЖИЗНЕННЫХ ЦИКЛОВ (РАСЧЕТ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ)

Приложение 3.

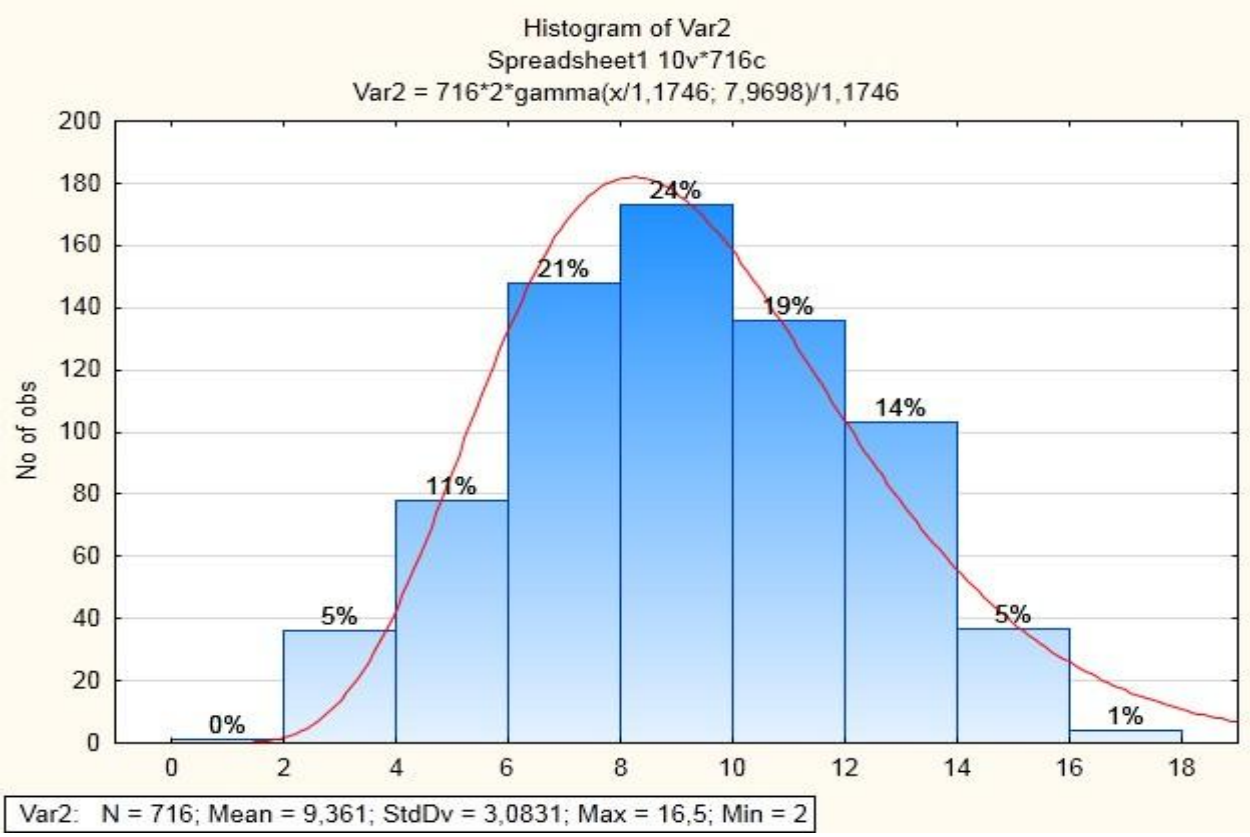
Статистическая обработка результатов исследований по амплитудам напряжений в металлоконструкциях балки заднего моста и удельным затратам энергии при транспортировании взорванной горной массы автосамосвалами БелАЗ-75131



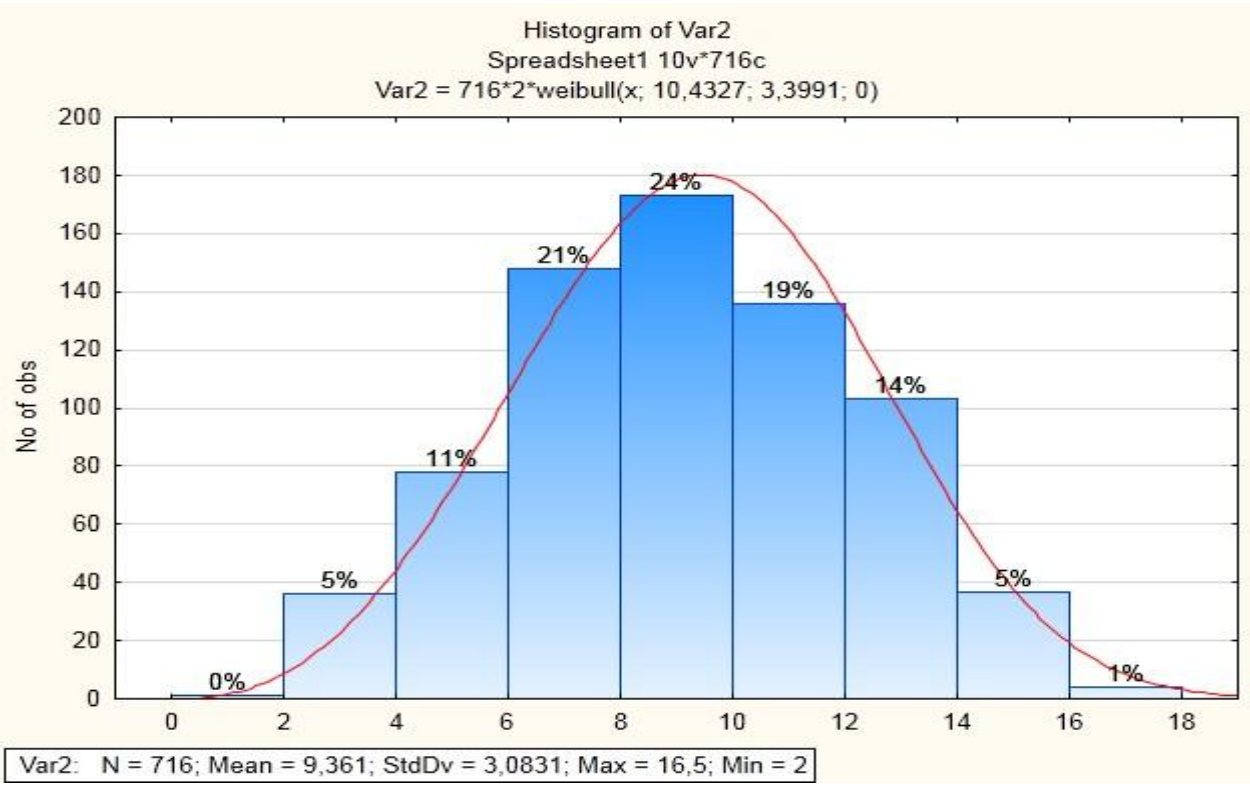
АМПЛИТУДА НАПРЯЖЕНИЙ. НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



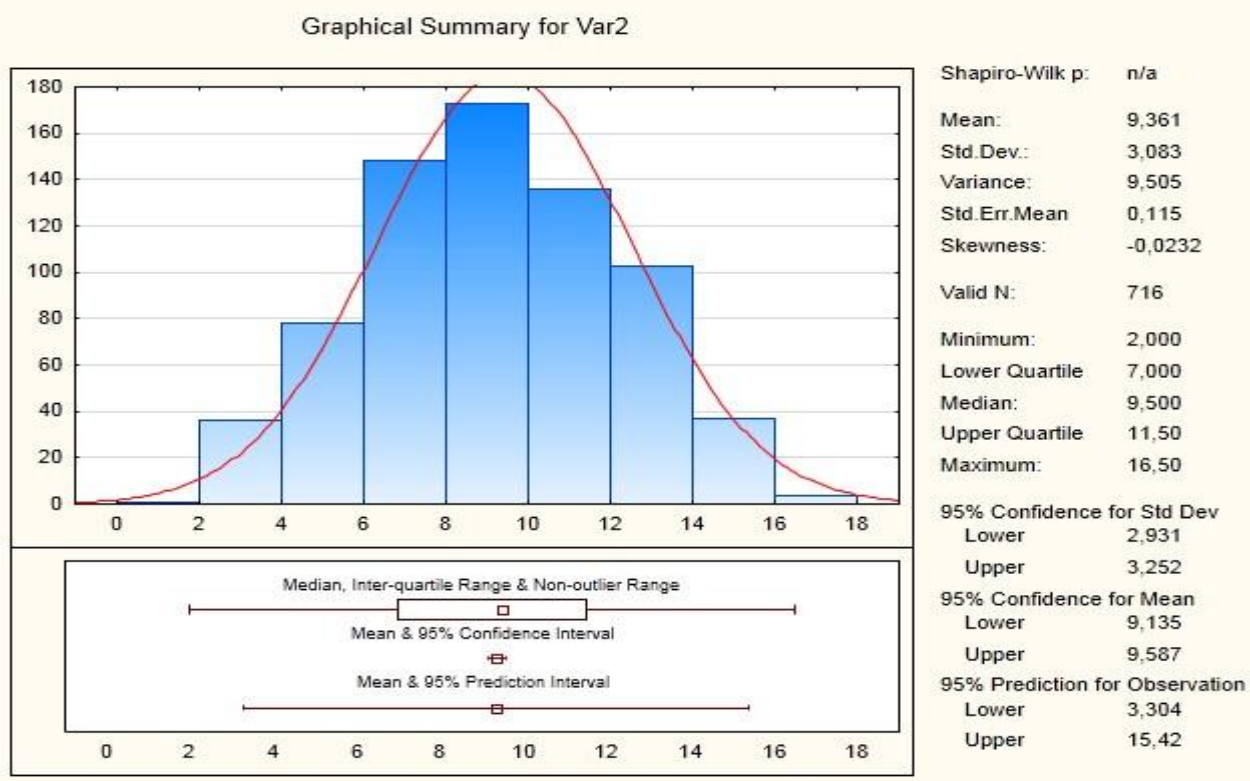
АМПЛИТУДА НАПРЯЖЕНИЙ. ЛОГНОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



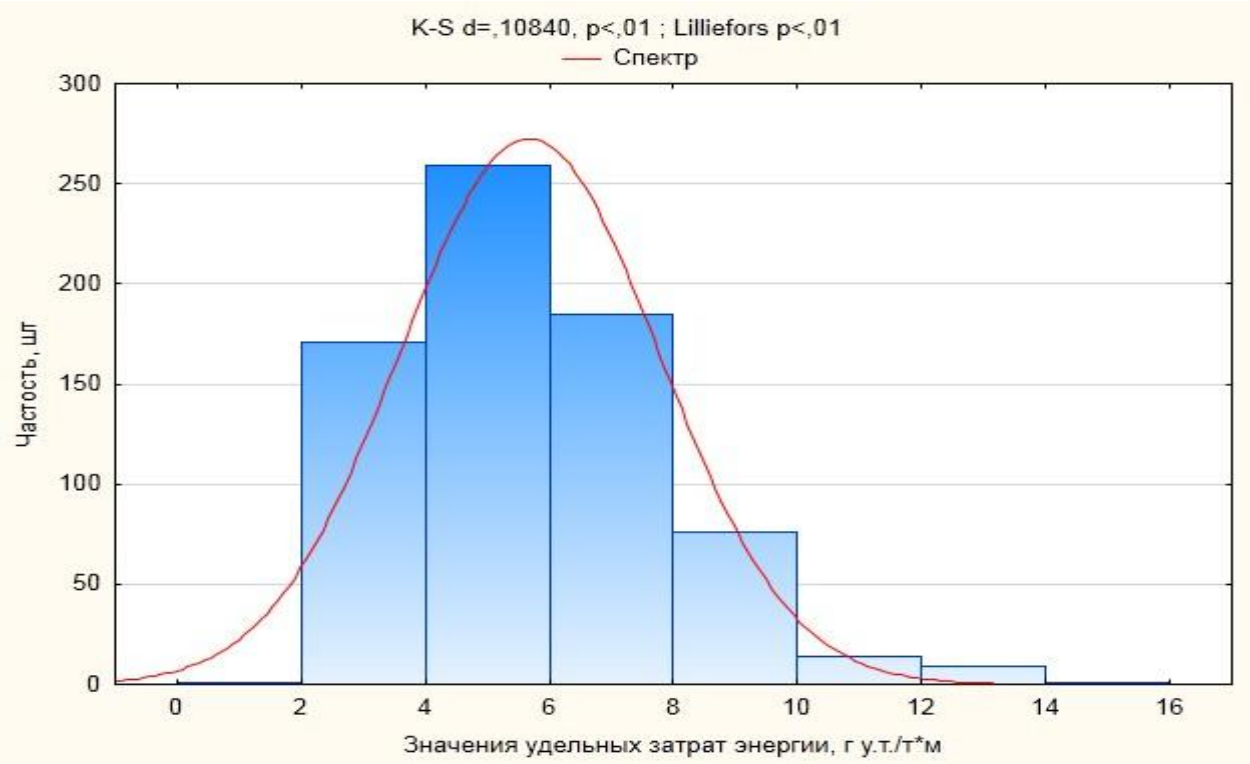
АМПЛИТУДА НАПРЯЖЕНИЙ. ГАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



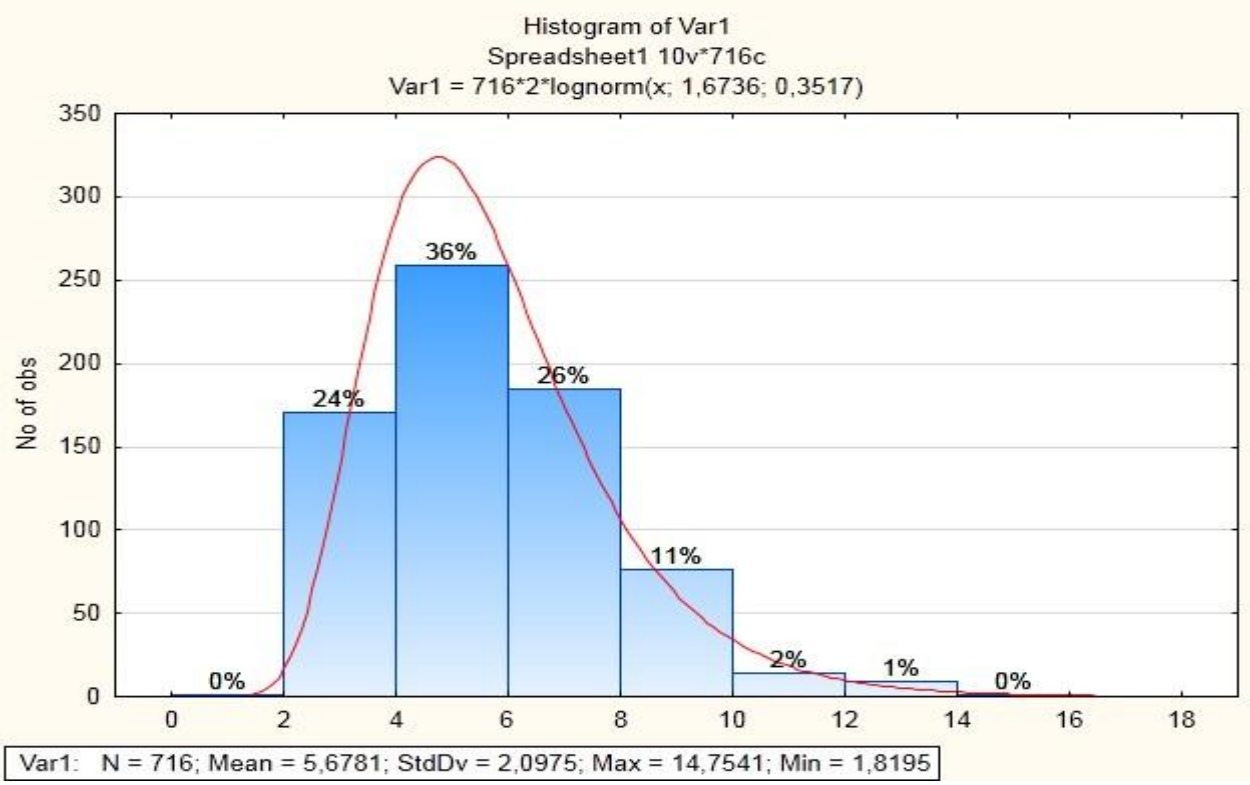
АМПЛИТУДА НАПРЯЖЕНИЙ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЙБУЛЛА



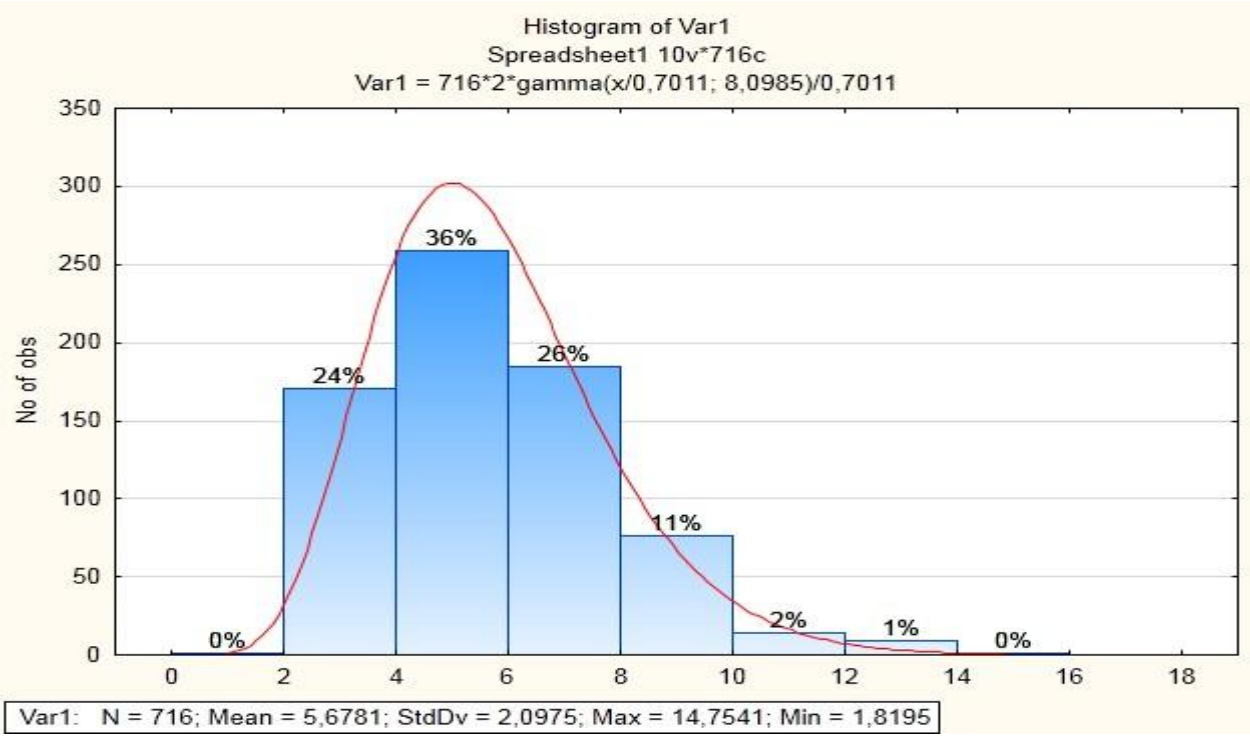
АМПЛИТУДА НАПРЯЖЕНИЙ. СУММАРНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ



УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ. НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



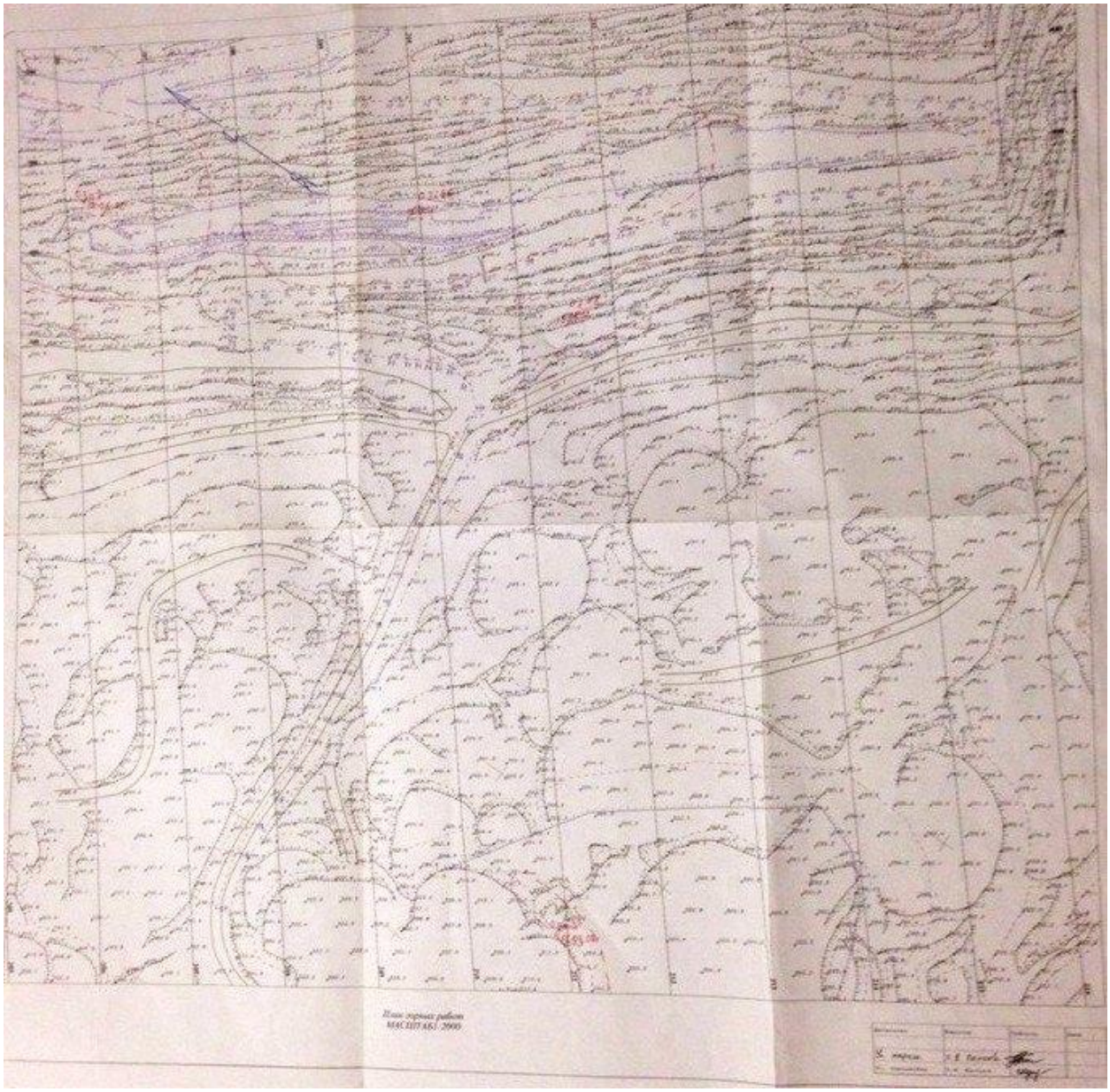
УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ. ЛОГНОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



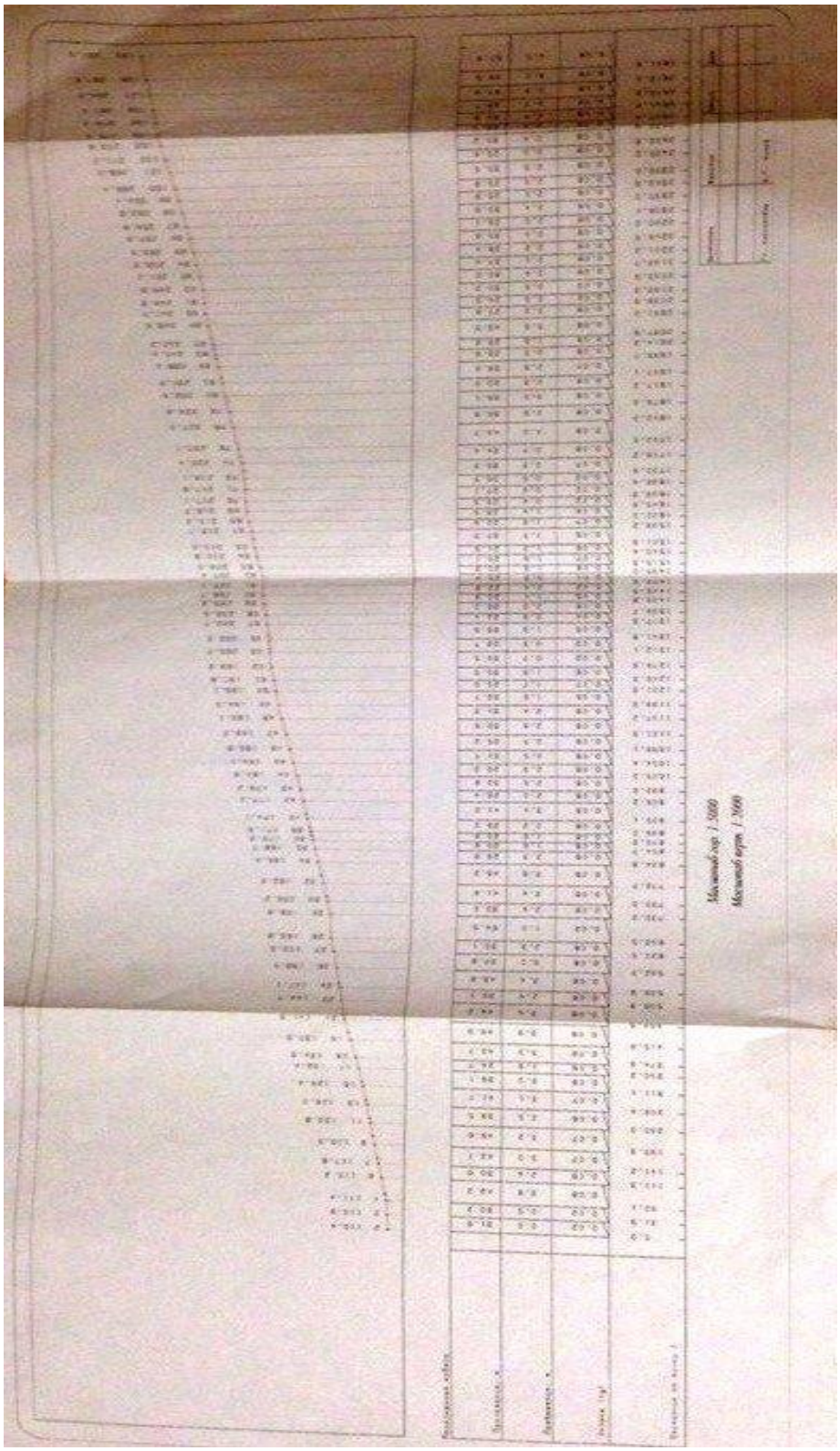
УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ. ГАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Приложение 4.

Мониторинг показателей эксплуатации автосамосвалов с помощью спутниковых систем GPS-навигации на разрезах Кузбасса



ПЛАН ГОРНЫХ РАБОТ ОАО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»



ХАРАКТЕИРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОРОГИ НА ОАО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»

Информация по атосамосвалам модели БелАЗ-75302 за первую смену 17.01.2014

Время, пробег.

№ машины	смена	время (чч:мм:сс)				пробег (км)		
		на линии	в простое	в дижении	наработка	за период	с грузом	нулевой
210	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	173,04	75,78	
211	1	11:30:00	5:15:26	6:12:00	11:25:00	141,54	67,35	7,11
248	1	11:30:00	11:23:17	0:00:00	0:00:00	287,18	127,44	6,03
321	1	11:30:00	3:18:11	8:11:00	11:50:00	187,03	90,69	8,84
322	1	11:17:39	2:48:30	7:20:00	11:01:00	170,66	83,47	6,54
326	1	11:30:00	4:09:59	7:16:00	11:45:00	167,46	57,76	6,85
335	1	11:30:00	5:17:52	5:45:00	8:34:00	136,02		
336	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	175,5	86,74	
342	1	11:22:31	2:50:53	7:59:00	11:49:00	193,92	96,11	7,02
343	1	11:30:00	2:37:23	6:06:00	11:49:00	131,57	64,82	6,71
344	1	11:30:00	4:09:31	7:14:00	11:38:00	165,09	76,53	8,79
367	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	158,71	67,05	
373	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	180,96	90,49	
393	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	168,26	96,43	
396	1	9:13:24	3:01:15	5:45:00	8:34:00	136,02	66,29	4,81
518	1	11:30:00		0:00:00	0:00:00	174,48	85,05	
1486	1	11:30:00	11:22:15	0:00:00	0:00:00	204,6	99,34	7,05
1491	1	3:00:33	2:56:23	0:00:00	0:00:00	54,39	26,06	8,01
ИТОГО	18	195:54:07	59:10:55	61:48:00	98:25:00	3006,43	1357,4	77,79

ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА С GPS-НАВИГАЦИИ

Рейсы по автомобилю за 06.02.2011 г. 2 Смена.

А/м №	Экск-р	Вид груза	П/разгрузки	Расст-е	Вес	Простой	Нач погр	Погрузка	Зав погр	Разгрузка	В движении
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,64	181	00:00:32	20:28:47	00:03:45	20:32:32	20:39:07	00:05:46
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,6	188	00:03:08	20:47:09	00:03:47	20:50:56	20:57:44	00:05:58
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,61	192	00:02:33	21:05:14	00:04:05	21:09:19	21:15:37	00:05:49
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,64	190	00:01:40	21:22:04	00:04:10	21:26:14	21:32:24	00:05:39
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,65	185	00:03:04	21:40:53	00:03:53	21:44:46	21:51:24	00:05:51
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,64	180	00:04:41	22:00:52	00:04:07	22:04:59	22:11:08	00:05:38
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,64	184	00:01:13	22:16:52	00:03:31	22:20:23	22:26:34	00:05:40
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,61	203	00:04:21	22:42:57	00:05:57	22:48:54	22:55:55	00:05:33
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	190	00:02:43	23:04:13	00:04:55	23:09:08	23:15:45	00:06:07
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	186	00:02:42	23:23:37	00:03:44	23:27:21	23:33:40	00:06:40
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,63	184	00:01:08	23:40:21	00:04:02	23:44:23	23:50:23	00:05:31
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,64	177	00:04:13	23:58:52	00:03:14	00:02:06	00:09:18	00:06:41
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	178	00:20:34	00:34:39	00:04:48	00:39:27	00:45:45	00:05:49
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	186	00:03:55	00:55:52	00:03:57	00:59:49	01:06:18	00:05:56
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,69	178	00:03:17	01:14:53	00:04:42	01:19:35	01:25:52	00:05:50
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,63	195	00:04:21	01:35:05	00:05:36	01:40:41	01:47:08	00:05:40
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,65	188	00:03:55	01:57:13	00:04:45	02:01:58	02:08:09	00:05:42
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	194	00:21:12	02:33:48	00:03:40	02:37:28	02:43:47	00:05:48
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,67	186	00:05:16	02:53:22	00:03:31	02:56:53	03:03:03	00:05:36
558	61	Порода	Отвал 3_3	1,66	202	00:05:16	03:13:30	00:04:04	03:17:34	03:23:55	00:05:50
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,45	205	00:00:00	03:29:58	00:03:39	03:33:37	03:43:02	00:08:53
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,41	176	00:09:40	03:59:24	00:04:11	04:03:35	04:12:59	00:08:49
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,4	191	00:04:25	04:23:55	00:03:41	04:27:36	04:37:31	00:09:11
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,43	197	00:12:47	04:57:01	00:04:43	05:01:44	05:11:39	00:09:15
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,49	181	00:05:18	05:23:33	00:03:53	05:27:26	05:37:44	00:09:22
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,42	200	00:06:53	05:50:53	00:04:25	05:55:18	06:04:58	00:09:08
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,44	175	00:10:16	06:21:28	00:03:53	06:25:21	06:34:51	00:09:18
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,49	187	00:07:40	06:50:15	00:04:02	06:54:17	07:03:55	00:09:07
558	61	Порода	Отвал_3_1	2,47	179	00:08:12	07:18:04	00:04:07	07:22:11	07:31:43	00:09:02
Среднее за смену:				**1,89**	**188**	**00:05:41**		**00:04:09**			
Итого за смену:	**29 рейсов**				**5440**	**02:44:55**		**02:00:47**			

ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА С GPS-НАВИГАЦИИ

Показатели на Автомобили 75131

4 Квартал 2013 г.

Наименование	Объемы м3 (куб)	Вес (тонн)	грузооборот (ткм)	Плечо (км)	Линия	Ремонт	Простой	часы к учету	часы для м/см	Факт Рейсов	Норма Рейсов	% Рейсов	средний уклон промиля, %	норма М/см	факт М/см	ном-ая произв-ть (куб)	факт-ая произв-ть (куб)	% произв-ть (куб)
10.13	**269030,235**	**687445,398**	**########**	**3,56**	**2651,19**	**0**	**320,6**	**2971,79**	**2868,19**	**5570**	**5171,99**	**8**	**73,30**	**256,173**	**260,745**	**1050,19**	**1031,78**	**98,25**
KOMATSU PC 1250 №34	487,670	1248,435	4119,84	3,30	4,38	0	4,99	9,37	4,54	10	8,53	17	72,61	0,464	0,413	1049,94	1181,58	112,54
1578 БелАЗ	97,534	249,687	823,97	3,30	0,84	0	0,97	1,81	0,88	2	1,64	22	72,61	0,093	0,080	1049,94	1219,18	116,12
Категория 4	97,534	249,687	823,97	3,30	0,84	0	0,97	1,81	0,88	2	1,64	22	72,61	0,093	0,080	1049,94	1219,18	116,12
1663 БелАЗ	97,534	249,687	823,97	3,30	0,95	0	1,12	2,07	0,91	2	1,85	8	72,61	0,093	0,083	1049,94	1178,98	112,29
Категория 4	97,534	249,687	823,97	3,30	0,95	0	1,12	2,07	0,91	2	1,85	8	72,61	0,093	0,083	1049,94	1178,98	112,29
1664 БелАЗ	97,534	249,687	823,97	3,30	0,9	0	0,93	1,83	0,94	2	1,75	14	72,61	0,093	0,085	1049,94	1141,36	108,71
Категория 4	97,534	249,687	823,97	3,30	0,9	0	0,93	1,83	0,94	2	1,75	14	72,61	0,093	0,085	1049,94	1141,36	108,71
1688 БелАЗ	97,534	249,687	823,97	3,30	0,82	0	1,01	1,83	0,86	2	1,60	25	72,61	0,093	0,078	1049,94	1247,53	118,82
Категория 4	97,534	249,687	823,97	3,30	0,82	0	1,01	1,83	0,86	2	1,60	25	72,61	0,093	0,078	1049,94	1247,53	118,82
1729 БелАЗ	97,534	249,687	823,97	3,30	0,87	0	0,96	1,83	0,95	2	1,69	18	72,61	0,093	0,086	1049,94	1129,34	107,56
Категория 4	97,534	249,687	823,97	3,30	0,87	0	0,96	1,83	0,95	2	1,69	18	72,61	0,093	0,086	1049,94	1129,34	107,56
KOMATSU PC 2000 №35	20776,027	52357,606	174794,81	3,34	200,38	0	15,04	215,42	214,2	428	410,61	4	71,24	18,677	19,473	1112,37	1066,93	95,91
1578 БелАЗ	3691,093	9290,302	30146,73	3,24	34,93	0	3,39	38,32	38,33	76	72,61	5	71,27	3,271	3,485	1128,53	1059,28	93,86
Категория 4	2556,121	6543,670	21297,79	3,25	25,25	0	2,69	27,94	27,95	53	51,92	2	71,44	2,298	2,541	1112,23	1005,99	90,45
Навалы	1134,972	2746,632	8848,93	3,22	9,68	0	0,7	10,38	10,38	23	20,69	11	70,89	0,973	0,944	1167,05	1202,76	103,06
1663 БелАЗ	4127,386	10393,395	33984,48	3,27	36,64	0	5,5	42,14	41,08	85	75,95	12	71,34	3,669	3,735	1124,85	1105,19	98,25
Категория 4	2893,721	7407,926	24347,38	3,29	26,58	0	4,74	31,32	30,52	60	54,48	10	71,53	2,611	2,775	1108,23	1042,95	94,11
Навалы	1233,665	2985,469	9637,09	3,23	10,06	0	0,76	10,82	10,56	25	21,47	16	70,89	1,058	0,960	1165,87	1285,07	110,22
1664 БелАЗ	4560,325	11508,627	38459,99	3,34	44,94	0	2,4	47,34	47,27	94	92,13	2	71,29	4,093	4,297	1114,14	1061,21	95,25
Категория 4	3376,007	8642,578	29002,02	3,36	34,33	0	2,01	36,34	36,27	70	69,90		71,42	3,065	3,297	1101,31	1023,88	92,97
Навалы	1184,318	2866,050	9457,96	3,30	10,61	0	0,39	11	11	24	22,23	8	70,89	1,028	1,000	1152,39	1184,32	102,77
1688 БелАЗ	3788,668	9533,186	31953,38	3,35	40,18	0	1,02	41,2	41,1	78	82,20	-5	70,96	3,411	3,736	1110,85	1014,00	91,28
Категория 4	2604,350	6667,136	22495,41	3,37	29,18	0	1,02	30,2	30,1	54	59,15	-9	70,99	2,383	2,736	1092,94	951,76	87,08
Навалы	1184,318	2866,050	9457,96	3,30	11	0	0	11	11	24	23,05	4	70,89	1,028	1,000	1152,39	1184,32	102,77
1729 БелАЗ	4608,555	11632,096	40250,25	3,46	43,69	0	2,73	46,42	46,42	95	87,72	8	71,33	4,234	4,220	1088,58	1092,07	100,32
Категория 4	3424,237	8766,047	30792,29	3,51	33,37	0	2,05	35,42	35,42	71	66,09	7	71,49	3,206	3,220	1068,12	1063,43	99,56
Навалы	1184,318	2866,050	9457,96	3,30	10,32	0	0,68	11	11	24	21,62	11	70,89	1,028	1,000	1152,39	1184,32	102,77

Удельный расход автомобилей БелАЗ по дням за период 01.12.10 - 10.12.10

Авто	Водитель	Груз	Расст.	Рейсов факт	Тонн	Кубов	Груз-т	Пр-ть факт	Пр-ть план	Нулевой пробег	Работа двиг. час.	Ремонт с ДВС, час.	Ремонт час.	Простой с ДВС, час.	Простой час.	Резерв час.	Перегон час.	Норма без ДВС, л	Норма л	Факт л	Норма кг	Факт кг	Уд. без ДВС план	Удельный факт	Удельный план
01.12.10 смена 1			1,923	656,00	62012,64	27744,03	119272,00	1251,03	1196,67	12	22,00	9,00	75,00	26,69	26,69			14852,4	16548,8	17606,0	13752,1	14630,6	102,73	121,78	114,47
[redacted]			2,100	30,00	3483,90	1470,00	7316,19	1470,00	1433,40					0,23	0,23			844,4	854,0	1025,0	709,7	851,8	95,21	115,58	96,30
1207	HITACHI 33	Порода (4 категори	2,10	30,00	3483,90	1470,00	7316,19	1470,00	1433,40																
[redacted]			1,842	18,00	1781,64	882,00	3281,19	1386,79	1330,41				4,00					460,5	460,5	450,0	382,7	374,0	115,78	113,15	115,78
1184	4 ЭКГ № 9527	Глина (3 категория	1,05	3,00	296,94	147,00	311,79	1615,38	1322,16																
1184	КГ 10 №26	Глина (3 категория	2,00	15,00	1484,70	735,00	2969,40	1348,62	1332,07																
[redacted]			2,850	19,00	2206,47	931,00	6288,44	931,00	1261,17					1,78	1,78			708,7	783,4	900,0	651,0	747,9	92,97	118,07	102,78
877	HITACHI 32	Порода (4 категори	2,85	19,00	2206,47	931,00	6288,44	931,00	1261,17																
[redacted]			1,250	34,00	1510,96	748,00	1888,70	822,88	712,18				1,00	1,15	1,15			295,2	315,1	270,0	261,8	224,4	128,93	117,94	137,62
1108	3 ЭКГ № 10078	Глина (3 категория	1,25	34,00	1510,96	748,00	1888,70	822,88	712,18																
[redacted]			2,487	15,00	891,59	376,20	2217,75	487,31	547,00				2,50	4,45	4,45			162,5	239,5	280,0	199,0	232,7	60,46	104,16	89,10
1109	KOMATSU 20679	Порода (3 категори	1,60	2,00	232,26	98,00	371,62	2177,78	753,49																
1109	VOLVO 22	Порода (4 категори	2,80	13,00	659,33	278,20	1846,14	382,67	498,84																
[redacted]			2,100	28,00	3251,64	1372,00	6828,44	1372,00	1433,40					0,18	0,18			788,1	795,6	950,0	661,2	789,5	95,21	114,78	96,13
1326	HITACHI 33	Порода (4 категори	2,10	28,00	3251,64	1372,00	6828,44	1372,00	1433,40																
[redacted]			2,165	13,00	1458,24	637,00	3156,97	1077,83	1225,37				4,50	0,63	0,63			347,6	374,1	415,0	310,9	344,9	90,85	108,45	97,76
1348	4 ЭКГ № 9527	Глина (3 категория	1,05	3,00	296,94	147,00	311,79	647,58	1322,16																
1348	KOMATSU 20679	Порода (3 категори	2,45	10,00	1161,30	490,00	2845,19	1346,15	1199,03																
[redacted]			2,781	21,00	2438,73	1029,00	6781,99	1029,00	1278,37					1,75	1,75			765,9	839,4	900,0	697,5	747,9	93,16	109,48	102,10
886	HITACHI 31	Порода (4 категори	1,40	1,00	116,13	49,00	162,58	1088,89	1757,97																
886	HITACHI 32	Порода (4 категори	2,85	20,00	2322,60	980,00	6619,41	1026,18	1261,17																
[redacted]			1,193	30,00	3106,60	1470,00	3705,43	1470,00	1363,78					1,52	1,52			686,4	750,3	650,0	623,5	540,2	152,83	144,72	167,04
1185	1 ЭКГ № 10642	Глина (3 категория	1,10	3,00	296,94	147,00	326,63	3266,67	1365,52																
1185	2 ЭКГ № 6042	Глина (3 категория	1,65	8,00	791,84	392,00	1306,54	1435,90	1199,48																
1185	4 ЭКГ № 9527	Глина (3 категория	1,05	11,00	1088,78	539,00	1143,22	1480,77	1322,15																
1185	KOMATSU 20567	Порода (3 категори	1,00	8,00	929,04	392,00	929,04	1232,70	1662,71																
[redacted]			2,491	19,00	2172,17	931,00	5410,48	1282,37	1306,37				3,00					635,2	635,2	700,0	527,9	581,7	96,86	106,74	96,86
1009	4 ЭКГ № 9527	Глина (3 категория	1,05	2,00	197,96	98,00	207,86	2177,78	1322,14																
1009	HITACHI 31	Порода (4 категори	1,40	2,00	232,26	98,00	325,16	2177,78	1757,94																
1009	HITACHI 32	Порода (4 категори	2,80	15,00	1741,95	735,00	4877,46	1155,66	1261,17																
[redacted]			1,050	4,00	153,52	76,00	161,20	417,58	585,99	4			9,00					44,4	44,4	40,0	36,9	33,2	227,31	204,72	227,31
522	4 ЭКГ № 9527	Глина (3 категория	1,05	4,00	153,52	76,00	161,20	417,58	585,99																

ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период с июня по август 2012г. аспирантом кафедры сопротивления материалов ГБУ КузГТУ Кузнецовым И.В. проводились исследования работы парка карьерных автосамосвалов ОАО «Разрез Бачатский» с использованием базы данных навигационной системы спутникового мониторинга, а также базы данных учёта ремонта горнотранспортного оборудования автобазы предприятия. Проведён анализ влияния горнотехнических, горно-геологических и эксплуатационных факторов на энергоёмкость процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами и на долговечность несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов. Произведён расчёт производительности работы карьерных автосамосвалов. Получены следующие результаты:

- определена оптимальная область значений коэффициента полезного использования энергии (5-13%) и удельной работы по подъему горной массы (14-25 кДж/т·м);

- при изменении угла наклона при подъемах на борт с 20 до 60‰ математическое ожидание амплитуды цикла напряжений в раме автосамосвалов увеличивалось на 25-30%;

- при помощи данных топливно-энергетического отдела установлено, что эмпирические зависимости удельных затрат энергии от уклона трассы получены верно и применимы на практике.

Вед.инженер ПТО УАТ
филиала «Бачатский УР» Д.С.Федотов

ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период с сентября по ноябрь 2011г. аспирантом кафедры сопротивления материалов ГБУ КузГТУ Кузнецовым И.В. проводились исследования работы парка карьерных автосамосвалов ОАО «Разрез Томусинский» с использованием базы данных навигационной системы спутникового мониторинга, а также базы данных учёта ремонта горнотранспортного оборудования автобазы предприятия. Проведён анализ влияния горнотехнических, горно-геологических и эксплуатационных факторов на энергоёмкость процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами и на долговечность несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов. Произведён расчёт производительности работы карьерных автосамосвалов. Получены следующие результаты:

- определена оптимальная область значений коэффициента полезного использования энергии (6-11%) и Удельной работы по подъему горной массы (12-23 кДж/т·м);

- при изменении угла наклона при подъемах на борт с 20 до 60‰ математическое ожидание амплитуды цикла напряжений в раме автосамосвалов увеличивалось на 20-25%;

- энергоемкость процесса транспортирования горной массы, как универсальный показатель, характеризует не только удельный расход энергии, но и долговечность транспортирующего средства.

Директор
ОАО «Разрез Томусинский» М.Б. Крайзман

ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период с марта по август 2014 г. аспирантом кафедры сопротивления материалов ВПО ФГБОУ «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» Кузнецовым И.В. проводились исследования эксплуатации карьерных автосамосвалов предприятия «Кедровский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» с использованием базы данных навигационной системы спутникового мониторинга, а также базы данных учёта ремонта горнотранспортного оборудования автобазы. Проведён анализ влияния горно-технических, горно-геологических и эксплуатационных факторов на энергоёмкость процесса транспортирования горной массы большегрузными автосамосвалами и на долговечность металлоконструкций их задних мостов. Произведён расчёт эффективности работы карьерных автосамосвалов. Получены следующие результаты:

- эффективная эксплуатация автосамосвалов БелАЗ-75131 в сложных горно-технологических условиях определяется рациональными значениями удельной работы по перевозке горной массы, составляющими 12-23 кДж/т·м;
- энергозатраты и напряжения в металлоконструкциях ходовой части возрастают в 1,5-2 раза при прохождении участка дороги на подъем с уклоном, превышающим 60 ‰;
- с учетом возникающих в металлоконструкциях подвески заднего моста напряжений автосамосвалы до 55 т целесообразно эксплуатировать на уклонах до 85 ‰, карьерные автомобили с грузоподъемностью 55-130 т на уклонах до 110 ‰, а самосвалы большей грузоподъемности (свыше 130 т) на уклонах более 110 ‰;
- ожидаемый экономический эффект от снижения простоев автопарка при эксплуатации на рекомендуемых значениях продольных уклонов карьерных дорог составит 750 000 руб в год.

Директор
«Кедровский угольный разрез» В.В. Шевченко

УТВЕРЖДАЮ
Директор
филиала «Кедровский угольный разрез»
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

В.В. Шевченко
«12» декабря 2014г.

АКТ

о внедрении рекомендаций ВПО ФГБОУ «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» по распределению автопарка с целью эффективной эксплуатации большегрузных автосамосвалов, снижения времени внеплановых простоев и увеличения их срока службы

Мы, нижеподписавшиеся: заведующий кафедрой сопротивления материалов «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» доцент, к.т.н. Широколобов Г.В., проф., д.т.н. Паначев, И.А., аспирант Кузнецов И.В., с одной стороны, и представители филиала «Кедровский угольный разрез»: технический директор Абрамов В.В. и главный механик Ненашев С.В., с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении результатов научных исследований в производство.

Кафедрой сопротивления материалов «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» в рамках программы работ по мониторингу технического состояния горно-транспортного оборудования разрезов компании ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» в течение 2010-2014гг. выполнялись научные исследования по оценке влияния величины продольного уклона карьерных дорог на энергоемкость процесса транспортирования взорванной горной массы и долговечность металлоконструкций элементов заднего моста большегрузных автосамосвалов. В результате выполненного диссертационного исследования (Кузнецова И.В.) разработан алгоритм мониторинга ресурса металлоконструкций балки заднего моста автосамосвалов посредством постоянного анализа условий их эксплуатации.

Внедрение результатов исследования позволило филиалу «Кедровский угольный разрез» продлить срок службы автосамосвалов БелАЗ-75131 №20 и БелАЗ-75131 №42 на 2 года за счет выполнения рекомендаций по допускаемым условиям эксплуатации автосамосвалов и выборочному ремонту отдельных металлоконструкций подвески, что, в свою очередь, дало возможность сэкономить значительные средства, добиться выполнение

производственной программы, исключить приобретение новых автосамосвалов.

Экономический эффект от внедрения результатов научного исследования, выполненного сотрудниками ВПО ФГБОУ «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», составил, согласно укрупненным оценкам, порядка 750 000 руб. в год.

От филиала «Кедровский угольный разрез»

Технический директор

_____В.В. Абрамов

Главный механик

_____С.В. Ненашев

От ВПО ФГБОУ «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»

_____Г.В. Широколобов

_____И.А. Паначев

_____И.В. Кузнецов