

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ГВУЗ «ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи  
УДК 656.136(043.3)

Жилинков Александр Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА ВНЕШНИХ ПЕРЕВОЗКАХ  
МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ**

05.22.12 – Промышленный транспорт

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор Парунакян В.Э.

Мариуполь – 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	6
РАДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Общая характеристика внешних автомобильных перевозок металлопродукции.....	12
1.2 Общая характеристика металлопродукции, отгружаемой на экспорт.....	15
1.3 Эксплуатационно-технические и технико-экономические показатели перевозок.....	16
1.4 Цель исследования.....	22
1.5 Рабочая гипотеза исследования.....	23
1.6 Анализ исследований, отечественной и зарубежной литературы.....	28
1.7 Критерии, целевая функция и задачи исследований.....	33
РАЗДЕЛ 2 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗА.....	35
2.1 Анализ статистических данных по отказам автопоездов.....	35
2.1.1 Классификация отказов.....	35
2.1.2 Установление мест концентрации специфических отказов.....	39
2.2 Расчет статических нагрузок.....	41
2.2.1 Методы определения статических нагрузок несущих систем автотранспортных средств.....	41
2.2.2 Анализ габаритно-весовых параметров металлопродукции и схем размещения груза.....	42
2.2.3 Оценка нагруженности несущей системы полуприцепа при перевозке грузов, создающих равномерно-распределенную нагрузку.....	45
2.2.4 Оценка нагруженности несущей системы полуприцепа при	

	3
перевозке грузов, создающих сосредоточенную нагрузку.....	48
2.3 Оптимизация схем погрузки металлопродукции повышенной массы.....	63
2.3.1 Метод оптимизации.....	63
2.3.2 Алгоритм оптимизации схемы размещения груза.....	65
2.3.3 Модель оптимизации схемы размещения груза.....	71
2.3.4 Верификация полученных данных.....	72
2.4 Выводы по разделу 2.....	74
РАЗДЕЛ 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ, ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЕ АВТОПОЕЗДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ.....	76
3.1 Характеристика условий автомобильных перевозок металлопродукции.....	76
3.2 Исследование дорожных условий на маршруте перевозки.....	91
3.2.1 Методика исследования дорожных условий.....	91
3.2.2 Оценка дорожных условий.....	93
3.3 Недостатки существующей методики оценки дорожных условий.....	95
3.4 Оценка нагруженности несущей системы в условиях действия динамических нагрузок.....	96
3.4.1 Методы оценки нагруженности несущей системы автотранспортных средств в условиях действия динамических нагрузок.....	96
3.4.2 Планирование экспериментальных исследований.....	97
3.4.3 Информационно-измерительная система.....	98
3.4.4 Тарировка информационно-измерительной системы.....	101
3.4.5 Экспериментальное определение динамических нагрузок.....	105
3.4.6 Результаты экспериментальных исследований.....	107
3.5 Установление зависимостей между величиной динамических	

	4
нагрузок и параметрами дорожных условий.....	111
3.5.1 Параметры дорожных условий.....	111
3.5.2 Влияние параметров кривых на величину динамической нагрузки.....	111
3.5.3 Влияние параметров ровности и дефектности дорожного покрытия на динамическую нагрузку.....	112
3.6 Определение интегрального показателя дорожных условий по динамической нагрузке.....	114
3.6.1 Метод определения интегрального показателя дорожных условий.....	114
3.6.2 Модель определения интегрального показателя дорожных условий.....	115
3.6.3 Алгоритм расчета интегрального показателя дорожных условий.....	117
3.6.4 Номограмма для определения частных коэффициентов динамичности и расчета интегрального показателя оценки дородных условий.....	119
3.7 Выводы по разделу 3.....	121
<b>РАЗДЕЛ 4 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ.....</b>	<b>122</b>
4.1 Критерии оптимизации режимов движения и оценочные показатели.....	122
4.2 Метод оптимизации режимов движения.....	124
4.3 Модель оптимизации режимов движения.....	127
4.4 Алгоритм расчета параметров оптимальных режимов движения.....	128
4.5 Расчет параметров оптимальных режимов движения.....	129
4.6 Верификация полученных результатов.....	132
4.7 Рекомендации по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на перевозках грузов повышенной	

массы.....	134
4.8 Расчет экономического эффекта мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на ПАО «ММК им. Ильича».....	136
4.9 Расчет экономического эффекта мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на ПСП «Азовинтэкс».....	140
4.10 Выводы по разделу 4.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	143
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	146
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	162
Приложение А. Характерные отказы несущих систем большегрузных автопоездов.....	162
Приложение Б. Блок-схема алгоритма многомерной оптимизации схем размещения груза.....	166
Приложение В. Техническая характеристика подвижного состава.....	169
Приложение Г. Результаты исследования дорожных условий.....	170
Приложение Д. Блок-схемы алгоритмов для определения интегрального показателя и оптимизации режимов движения.....	176
Приложение Е. Акты внедрения, расчет экономического эффекта и протоколы технических совещаний.....	178
Приложение Ж. Уведомление об использовании лицензионного программного обеспечения «ANSYS».....	188

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние годы значительно возросли объемы перевозок экспортной металлопродукции в морские порты. Этому способствует выгодное географическое местоположение многих металлургических комбинатов.

В связи со сложившейся конъюнктурой рынка транспортных услуг и условиями применения, более конкурентоспособными становятся автомобильные перевозки металлопродукции повышенной массы (до 30 т), которые осуществляются в значительных объемах (до 1,5 млн. т в год). На рассматриваемых перевозках используются большегрузные автопоезда, состоящие из седельных тягачей и полуприцепов, выпускаемых в настоящее время.

Опыт использования большегрузных автопоездов на рассматриваемых перевозках показал несоответствие конструкции применяемого подвижного состава условиям перевозочного процесса. Интенсивная эксплуатация в сложных условиях приводит к преждевременному (через 1-2 года) износу отдельных элементов несущей системы (рамы) автопоездов и требует проведения внеплановых ремонтов со значительной трудоемкостью и продолжительностью простоев.

В результате снижаются технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели использования автопоездов. На основе данных за двухлетний период эксплуатации коэффициент технической готовности машин снижается в среднем до 0,6, производительность на 35%, себестоимость перевозок увеличивается на 20%.

Без решения данной проблемы транспортные издержки будут возрастать, а конкурентные возможности автотранспорта на рассматриваемых перевозках будут утрачиваться.

Таким образом, решение вопросов повышения эффективности использования большегрузных автопоездов при перевозке металлопродукции на основе методов, моделей и алгоритмов, разработанных в диссертационной работе, позволяет классифицировать ее как актуальную.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Работа выполнена в соответствии планом научно-исследовательских работ ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». Основные результаты получены при выполнении научно-исследовательских работ: «Вдосконалення транспортного процесу на зовнішніх і технологічних перевезеннях металургійних підприємств» (ГР № 0112U005784), «Вдосконалення перевізного процесу металургійних підприємств на основі застосування прогресивних технологій, нової техніки і логістичного управління роботою транспорту» (ГР № 0113U006291).

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции на основе оптимизации показателей режимов движения и схем погрузки.

Для достижения поставленной цели диссертационной работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать модель и алгоритм оптимизации схемы размещения грузов повышенной массы на платформе большегрузных автопоездов;
2. Исследовать закономерности и установить параметры скоростного режима большегрузных автопоездов;
3. Развить метод и разработать модель определения интегрального показателя для оценки дорожных условий работы большегрузных автопоездов;
4. Разработать метод, модель и алгоритм оптимизации режима движения большегрузных автопоездов.

**Объект исследования** – процесс транспортирования металлопродукции повышенной массы автопоездами.

**Предмет исследования** – закономерности, определяющие схемы размещения груза и режимы движения в зависимости от дорожных условий.

**Методы исследования.**

Для достижения поставленной цели в работе использованы следующие методы: метод частных корректирующих коэффициентов, метод аппроксимации, тензометрический, визуальный и статистический методы – для оценки дорожных условий и оптимизации режимов движения; метод конечных элементов (МКЭ), вычислительный метод и метод циклического покоординатного спуска – для расчета статических нагрузок и оптимизации схем размещения груза.

**Научная новизна полученных результатов.** Научная новизна заключается в следующем:

Впервые:

- на основе экспериментальных исследований получен интегральный показатель, устанавливающий взаимосвязь параметров нагрузочного режима несущей системы большегрузных автопоездов с дорожными условиями при различных скоростях движения;
- разработаны метод и модель оптимизации режимов движения большегрузных автопоездов, параметры которых, устанавливаются по критерию допустимой динамической нагрузки в несущих системах.

Усовершенствованы и получили дальнейшее развитие:

- метод и модель оптимизации схем размещения грузов повышенной массы на платформе полуприцепов, которые в отличие от существующих, позволяют на основе многомерной оптимизации минимизировать статические нагрузки в несущей системе;
- метод оценки дорожных условий работы большегрузных автопоездов, который в отличие от существующих позволяет количественно сопоставить сложность дорожных условий с эквивалентной динамической нагрузкой в несущей системе.

### **Практическое значение полученных результатов.**

1. Предложенные методы, модели и алгоритмы позволили в комплексе повысить эффективность использования большегрузных автопоездов на перевозках грузов большой массы в сложных дорожных условиях (улично-дорожная сеть городов, автодороги предприятий и др.) за счет:

- снижения статических нагрузок в несущей системе при оптимизации схем размещения груза;
- снижения динамических нагрузок в несущей системе при оценке дорожных условий и оптимизации скоростных режимов.

2. Полученные разработки по размещению груза и оптимизации скоростного режима приняты к внедрению в автотранспортных подразделениях на ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь) и внедрены на ПАО «Азовинтэкс» (г. Мариуполь). При этом уменьшены затраты на внеплановые ремонты, сокращены простои парка автопоездов на 25-30% и снижена себестоимость перевозок на 5-7%. Соответствующий акт внедрения прилагается.

3. Полученные теоретические и практические результаты используются в учебном процессе ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» на кафедре «Транспортные технологии предприятий» при изучении дисциплин «Подвижной состав промышленного транспорта», «Управление эксплуатационной работой на железнодорожном и автомобильном транспорте предприятий», «Устройство и обслуживание транспортных коммуникаций предприятий» и др., что подтверждается соответствующим актом.

**Личный вклад соискателя.** Все положения и результаты, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно. Работы [2,3,5,6,7,8,10,11-18,21-24] опубликованы без соавторов. В публикациях в соавторстве Жилинкову А.А. принадлежит: [1] - оценка работоспособности большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции; [4,15,19,20] - разработка методики экспериментальных исследований

процессов деформации несущей системы автопоездов; [9] – разработка модели скоростных режимов движения автопоездов. Без соавторства опубликованы результаты следующих исследований: [2,12] – анализ отказов автопоездов на перевозках металлопродукции; [3,14] – оценка эффективности эксплуатации автопоездов при перевозке металлопродукции; [5,11,13] – оптимизация размещения стальных рулонов на грузовой платформе; [6,17,18] – исследование режимов движения; [7,16] – вопросы повышения эксплуатационной готовности; [8,10,21,23,24] – моделирование дорожных условий работы автопоездов; [22] – оптимизация режимов движения.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на следующих научно-технических конференциях и семинарах: на Международных научно-технических конференциях «Университетская наука» (г. Мариуполь, 2007-2015 г.г.), на Международной научно-практической конференции «Логистика промышленных регионов» (г. Донецк, 2010 г.); на Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «Комп’ютерні науки для інформаційного суспільства» (г. Луганск, 2010 г.), на Всеукраинской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития автомобильной отрасли» (г. Донецк, 2011 г.); на 7-й Всеукраинской научной интернет-конференции «Наукові дослідження: шлях від теоретичного пошуку до практичної реалізації», (г. Тернополь, 2011 г.); на II и III Международных научно-практических конференциях «Technology, Materials, Transport and Logistics: Development Prospects» TMTL’12, 13; (г. Луганск, 2012 г., г. Ялта, 2013 г.), на III Всеукраинской научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Транспорт и логистика» (г. Донецк, 2012 г.).

**Публикации.** В соответствие с темой диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе 8 статей в специализированных изданиях, 2 статьи в зарубежных изданиях и 14 тезисов докладов. В частности, работы

[1-8] опубликованы в специализированных изданиях, утвержденных МОН Украины, работы [2-5,7,8] – в изданиях, включенных в международные наукометрические базы, работы [9,10] – в зарубежных изданиях. По результатам исследований получен патент на изобретение [25].

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников из 146 наименований на 16 страницах и приложений на 28 страницах.

Полный объем диссертации составляет 183 страницы, из которых 155 страниц основного текста, работа имеет 61 рисунок, в том числе на 8 полных страницах; 20 таблиц по тексту.

## РАДЕЛ 1

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1.1 Общая характеристика внешних автомобильных перевозок металлопродукции

**Объемы перевозок.** В последнее десятилетие в Украине сформировалась система широкомасштабных внешних перевозок экспортной металлопродукции. Грузооборот экспортных металлогрузов в страны дальнего зарубежья, осуществляемых морским транспортом через порты Украины, значительно возрос. По данным морских портов Украины, объем перерабатываемых металлических грузов возрос с 15,75 тыс. т в 2000 г. до 23,1 тыс. т в 2006 г. (рис 1.1).

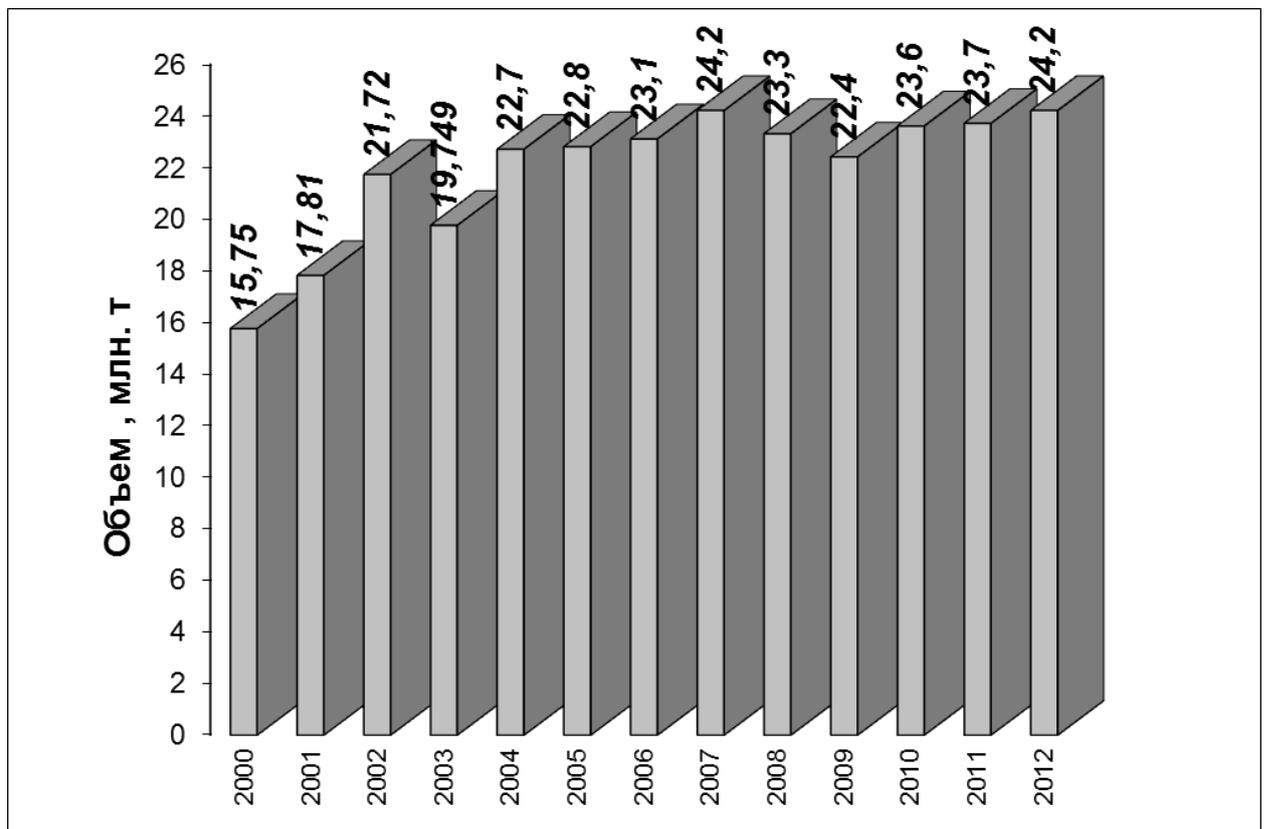


Рисунок 1.1 – Динамика изменения величины грузооборота металлопродукции в портах Украины

Наиболее мощными портами по перевалке металлопродукции являются: Одесский морской торговый порт, способный переработать до 9 млн. т в год металлопродукции, Мариупольский государственный морской торговый порт – до 8,5 млн. т в год, Морской торговый порт «Южный» – до 3,5 млн. т в год и др. Доставка металлопродукции к портам осуществляется железнодорожным и автомобильным транспортом, а также каботажными судами.

На долю Мариупольского государственного морского торгового порта (МГМТП) приходится свыше 40% грузооборота экспортной металлопродукции. Выгодное географическое местоположение металлургических предприятий Востока Украины (ММК «им. Ильича», ММК «Азовсталь», ММЗ «Истил», ЗАО «Донецксталь», «Азовэлектросталь», МЗ «Электросталь» и др.) вблизи крупного торгового порта, создаёт благоприятную конъюнктуру для отгрузки и отправки металлопродукции на экспорт морским путём.

В последнее десятилетие объём экспортной металлопродукции, отгружаемой мариупольскими металлургическими комбинатами и другими предприятиями Донбасса, значительно возрос. По данным базового порта, за период 2000-2012 г.г., объём экспортных перевозок металлопродукции увеличился более чем на 63% (рис. 1.2).

Традиционно сложилось положение, при котором доминирующее место в перевозках металлопродукции занимает железнодорожный транспорт. Однако, в связи с проводимой тарифной политикой и действием ряда других факторов, железнодорожный транспорт в последние годы всё более утрачивает свою ведущую роль. В сложившихся экономических условиях более конкурентоспособными становятся автомобильные перевозки, так как автомобильный транспорт имеет ряд преимуществ в экономическом отношении в связи со сложившейся конъюнктурой рынка. Поэтому на металлургических предприятиях Мариуполя и некоторых предприятиях Донбасса объём экспортных автомобильных перевозок металлопродукции за

последние годы значительно увеличился (см. рис. 1.3, а). Около 40% всего объема экспортных автомобильных перевозок металлопродукции приходится на базовое предприятие — ММК им. Ильича (см. рис. 1.3, б). Также из диаграммы на рис. 1.3, б, видно, что ежегодно увеличивается и число предприятий, отправляемых металлопродукцию на экспорт.

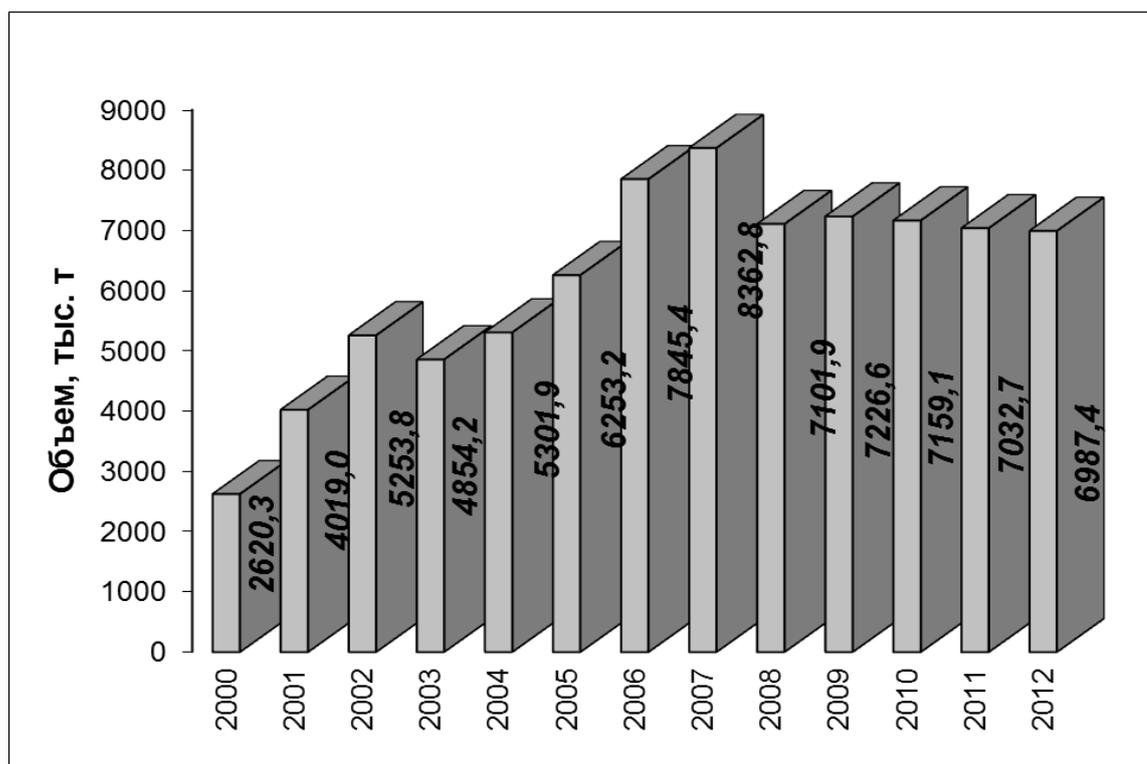


Рисунок 1.2 – Динамика изменения объема переработки металлопродукции

Автомобильные перевозки экспортной металлопродукции характеризуются значительными объемами. Так, на базовом комбинате, величина грузопотока экспортных металлогрузов составила 800 – 1100 тыс. т в разные годы (период 2005-2012 г. г.). Общий объем автомобильных перевозок экспортной металлопродукции в порту составил – 900 – 2100 тыс. т (рис. 1.3). Фактическая грузоподъемность автопоезда при перевозке металлопродукции составляет 25-30 т и более.

## **1.2 Общая характеристика металлопродукции, отгружаемой на экспорт**

Экспортная металлопродукция производится в прокатных цехах металлургических предприятий Донбасса. Номенклатура металлопродукции определена видом промышленного предприятия и типом металлургических агрегатов (сталеплавильных агрегатов, разливочных машин, прокатных станов и др.) Основной вид экспортной металлопродукции базового комбината – горячекатаный листовой металл в рулонах, массой от 8 до 10 т, товарные слябы массой 25-30 т, толстый лист. Незначительный объем перевозок приходится на холоднокатаный листовой металл в рулонах, горячекатаные и холоднокатаные листы в пачках, сортовую заготовку.

### **Подвижной состав для перевозки экспортной металлопродукции.**

На перевозках экспортной металлопродукции используются составы автотранспортных средств – автомобильные поезда («металловозы»). Автопоезда-«металловозы» представляют собой составы транспортных средств, состоящие из седельных тягачей и полуприцепов. В качестве тягового подвижного состава, как правило, используют магистральные седельные тягачи. В качестве прицепного состава используются полуприцепы общего назначения (платформы бортовые и платформы без бортов), а также специализированные полуприцепы. Номинальная грузоподъемность таких автопоездов – до 26 т, разрешенная максимальная масса – до 38 т, нагрузка на ось – до 10 т, нагрузка на седельно-цепное устройство – до 16 т, габаритная длина состава транспортных средств – до 22 м.

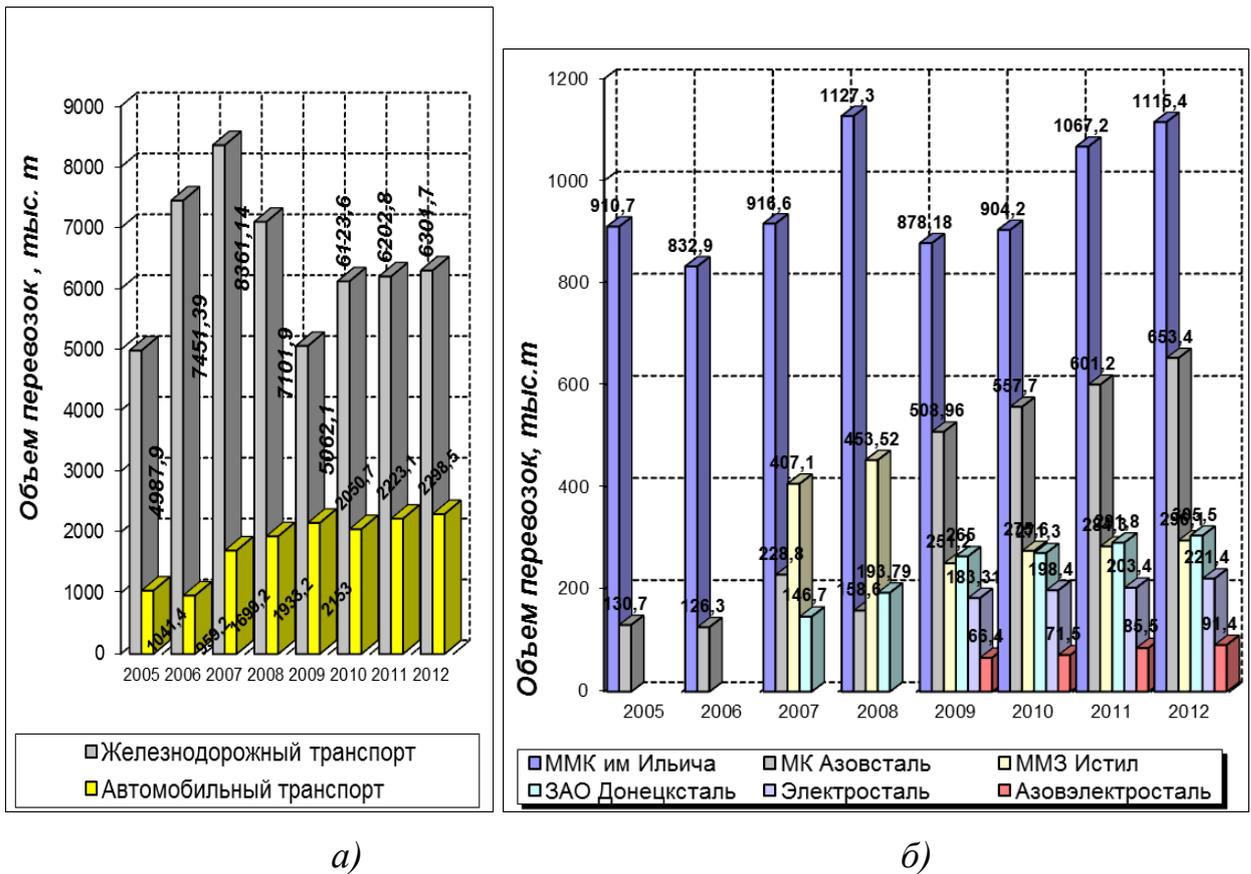


Рисунок 1.3 – Динамика изменения объемов перевозок металлопродукции за период 2005-2012 г.г.: а – по видам транспорта, б – автомобильные перевозки различных металлургических предприятий

### 1.3 Эксплуатационно-технические и технико-экономические показатели перевозок

В период существования автомобильных перевозок экспортной металлопродукции на базовом предприятии сформировался обособленный парк автопоездов-«металловозов». За годы эксплуатации парка был накоплен и собран значительный объем данных, характеризующих результаты его работы. В результате анализа полученных данных, были определены эксплуатационно-технические показатели автомобильных перевозок экспортной металлопродукции и работы парка большегрузных автопоездов.

Значения основных эксплуатационно-технических показателей приведены в табл. 1.1.

Значения эксплуатационно-технических показателей, приведенных в табл. 1.1, соответствуют номинальному уровню технической готовности парка подвижного состава (0,85-0,9). Подвижной состав является полностью исправным и работоспособным. В таком состоянии парк большегрузных автопоездов выполняет заданные функции с максимальными технико-экономическими показателями.

Таблица 1.1 - Эксплуатационно-технические показатели перевозок на базовом предприятии

№ п/п	Эксплуатационно-технические показатели	Значение
1.	Списочный парк автопоездов, ед.	30-35
2.	Коэффициенты использования:	
	– грузоподъемности	0,9 – 1,0
	– пробега	0,5
	– рабочего времени	0,65-0,70
3.	Среднесуточный пробег, км	до 400
4.	Длина гружёной ездки, км	25
5.	Время:	
	– в наряде, ч	10-12
	– одной ездки, ч	1,5-2,0
	– на погрузку, мин	10-12
	– на выгрузку, мин	12
6.	Количество ездок в сутки, ед	8
7.	Скорость, км/ч	
	– среднетехническая	32,5
	– эксплуатационная	16,5
	Производительность одного автопоезда:	
	– суточная, т/сут	200-210
	– часовая, т/ч	25-30
8.	Производительность парка:	
	– суточная, т/сут	3000-3500
	– часовая, т/ч	500-600

С увеличением эксплуатационного пробега в процессе интенсивного использования большегрузные автопоезда подвергаются быстрому физическому износу, который усугубляется в связи с необходимостью применения машин при повышенных нагрузках, с высокой интенсивностью, в весьма сложных дорожных условиях и режимах движения. Это не соответствует их функциональному назначению и конструктивным параметрам.

По мере физического износа для поддержания работоспособного состояния тягачи и полуприцепы многократно подвергаются ремонтам, что приводит к значительному снижению технико-эксплуатационных показателей и существенному росту затрат на их эксплуатацию.

После 1-1,5 лет эксплуатации автопоезда частично утрачивают работоспособность (коэффициент использования грузоподъемности автопоезда снижается до 0,5-0,7), а через 2-3 года наступает полная потеря работоспособности. Причина этому – разрушение деталей рамы тягача и (или) полуприцепа. Для восстановления работоспособности и ресурса автопоездов производят 2-3 внеплановых текущих ремонта рамы, а затем, после достижения предельного состояния – капитальный ремонт тягача и (или) полуприцепа с целью замены либо восстановления рамы.

Многократные внеплановые ремонты сопровождаются значительными простоями, трудовыми и финансовыми затратами. Так простой автопоезда при текущем ремонте рамы тягача (лонжеронов, усилителей, поперечин и др.) составляет 1-2 рабочей смены, полуприцепа – 1-5 рабочих смен. Простой автопоезда при замене рамы тягача – 22-45 суток и более, при восстановлении рамы полуприцепа – 20-50 суток.

Стоимость ремонтных работ, производимых силами базового предприятия, при замене рамы тягача составляет 35-40 тыс. грн., при восстановлении рамы полуприцепа – 15-20 тыс. грн. Стоимость восстановления рамы в условиях специализированных предприятий или на

предприятию-изготовителю составляет в зависимости от сложности и объема ремонтных работ в среднем 15-50 тыс. грн.

Трудоемкость работ по текущему ремонту рамы седельного тягача - 16-32 чел.-час., рамы полуприцепа 16-80 чел.-час. Трудоемкость замены рамы тягача составляет свыше 700 чел.-час., а при восстановлении ресурса рамы полуприцепа – 700-800 чел.-час.

В табл. 1.2 и на рис. 1.4-1.7 приведена динамика снижения значений основных эксплуатационно-технических и технико-экономических показателей работы парка большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции за 4-5 лет эксплуатации. Представленные данные взяты в среднем по всему парку автопоездов численностью 30-35 единиц за пробеги, соответствующие периоду эксплуатации 1,0 – 1,5 года.

Таблица 1.2 – Динамика снижения эксплуатационно-технических и технико-экономических показателей парка большегрузных автопоездов

№ п/п	Показатели	Эксплуатационный пробег, км			
		100	200	300	400
1.	Коэффициент использования грузоподъемности	1,0	0,91	0,82	0,67
2.	Величина сверхпланового простоя, сут.	-	26	70	155
3.	Коэффициент технической готовности	0,87	0,75	0,63	0,53
4.	Суточная производительность парка, т/сут.	3500	2745	2080	1430
5.	Доля затрат на внеплановые ремонты от общей стоимости ремонтных работ, %	3,5	6,3	18,2	21,1
6.	Доля эксплуатационных затрат, связанных с внеплановыми ремонтами, %	-	1,7	3,3	7,7
7.	Процент увеличения себестоимости перевозок, %	-	1,8	4,2	5,6

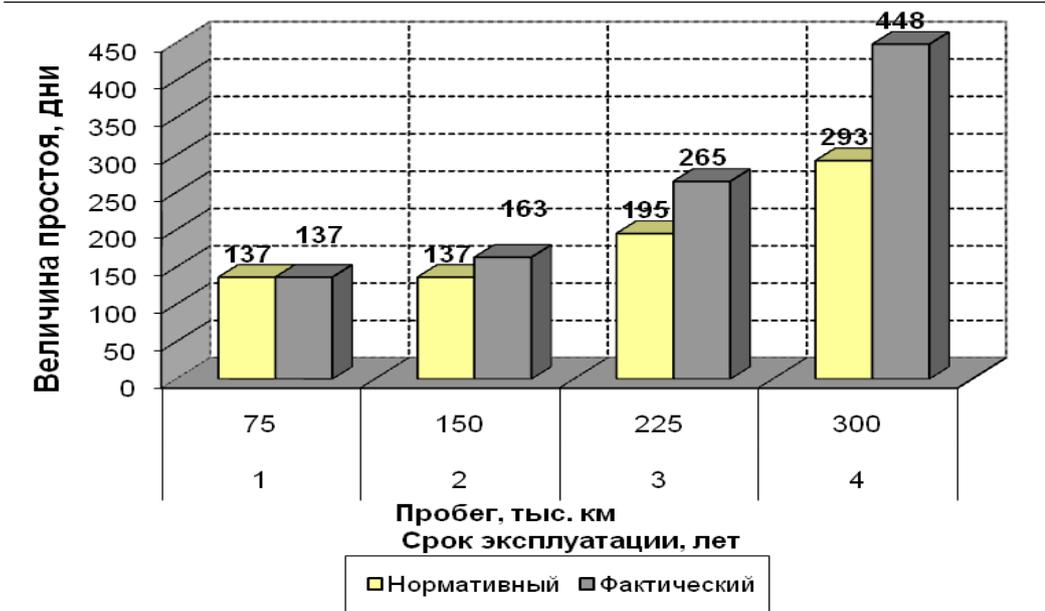


Рисунок 1.4 – Динамика увеличения простоев

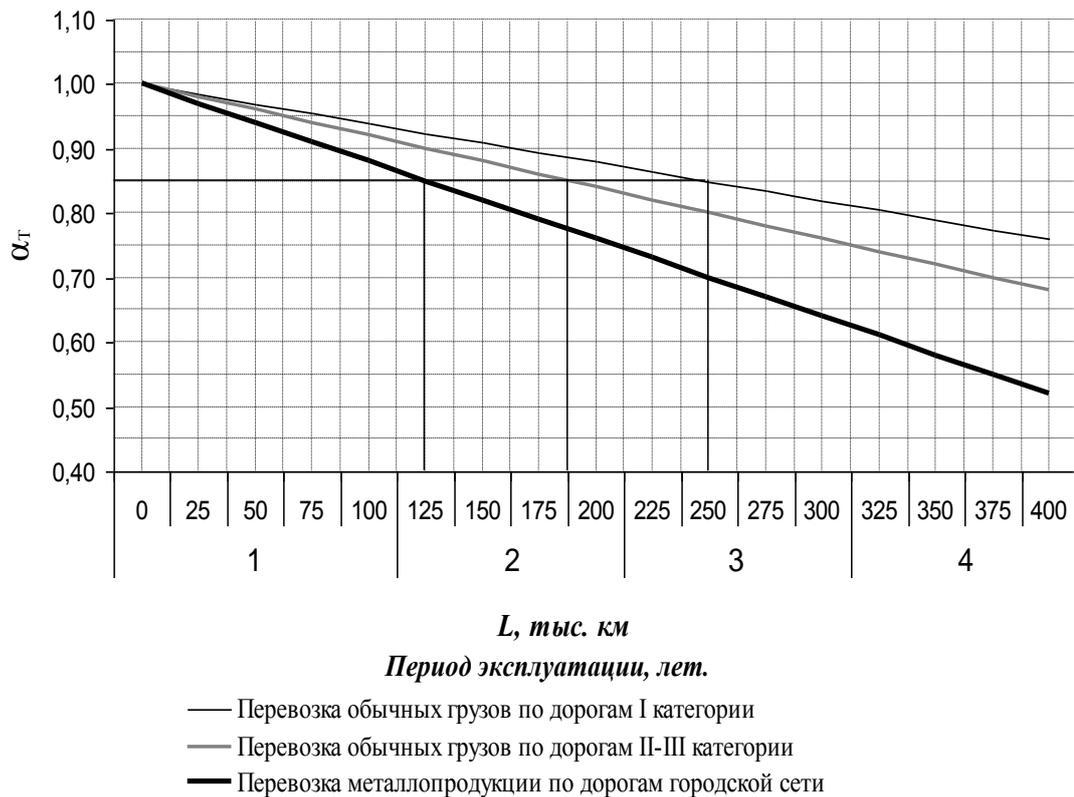


Рисунок 1.5 - Зависимость коэффициента технической готовности автопоездов в различных условиях эксплуатации при перевозке различных грузов от пробега

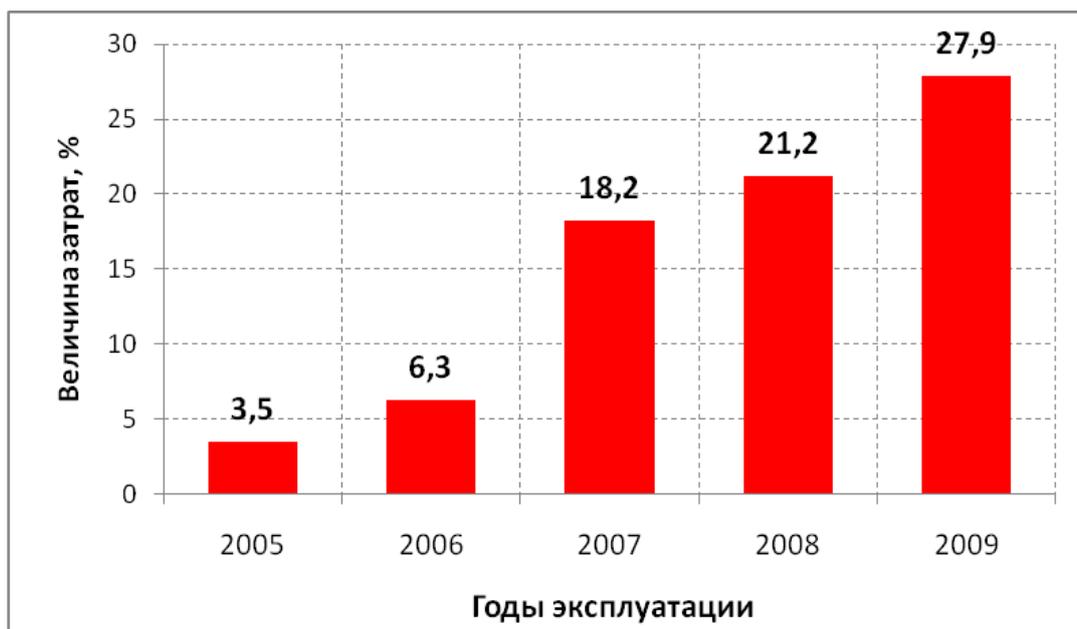


Рисунок 1.6 – Динамика роста затрат на ремонты подвижного состава

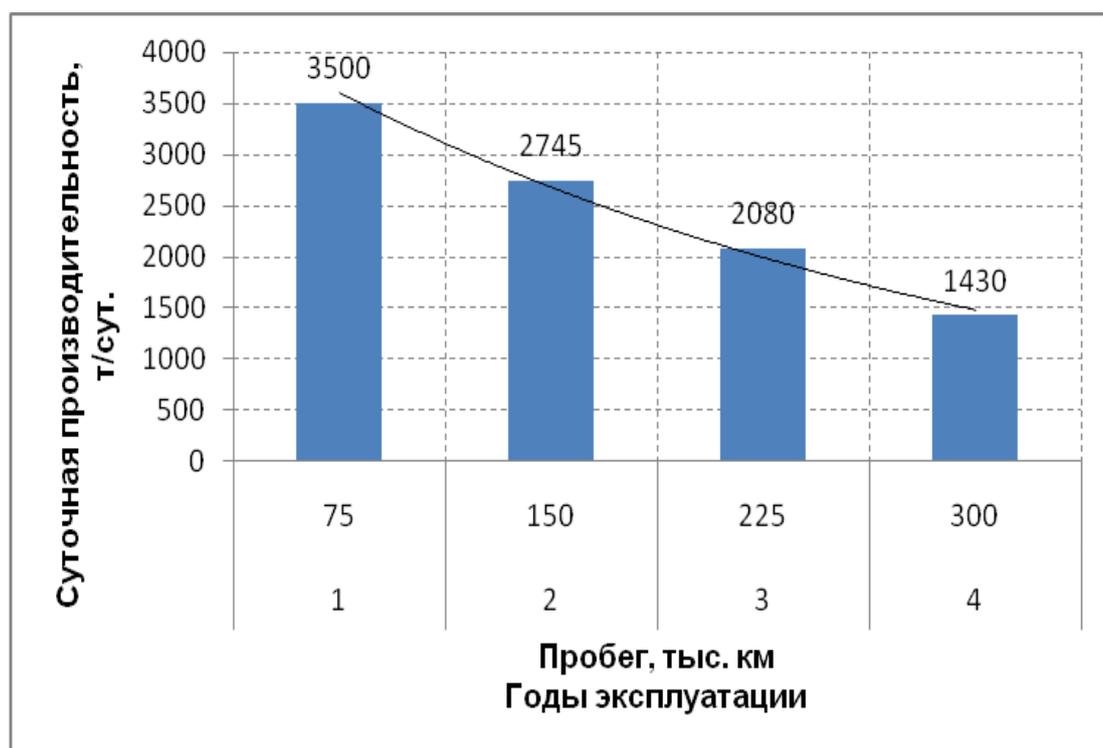


Рисунок 1.7 – Динамика снижения суточной производительности парка автопоездов

#### 1.4 Цель исследования

Приведенный выше анализ основных технико-экономических показателей указывает на целесообразность использования автомобильного транспорта для доставки металлопродукции к морским портам при организации экспортных мультимодальных перевозок. Даже при снижении тарифов на железнодорожном транспорте, автомобильные перевозки останутся конкурентоспособными.

Однако, существующий парк автопоездов практически не приспособлен для выполнения внешних перевозок металлопродукции в специфических дорожных и эксплуатационных условиях. Несоответствие конструктивных и эксплуатационных параметров подвижного состава условиям перевозок приводит к снижению уровня эксплуатационной готовности, производительности автопоездов и значительным материальным потерям. Без решения рассматриваемой проблемы преимущества автомобильного транспорта на перевозках экспортной металлопродукции будут утрачены.

Для обеспечения требуемого объема внешних перевозок экспортной металлопродукции необходимо обеспечить высокий уровень эксплуатационной готовности, снизить негативное влияние существующих условий эксплуатации на техническое состояние и работоспособность подвижного состава.

В связи с этим, целью настоящего исследования является повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции на основе оптимизации показателей режимов движения и схем погрузки.

## 1.5 Рабочая гипотеза исследования

Проведенным анализом установлено, что вопросы повышения эффективности автомобильных перевозок металлопродукции, с использованием большегрузных автопоездов существующих типов, в первую очередь, связаны с необходимостью обеспечения их эксплуатационной готовности. При этом уровень эксплуатационной готовности определяется степенью приспособленности конструкции существующих типов автопоездов к условиям перевозок металлопродукции.

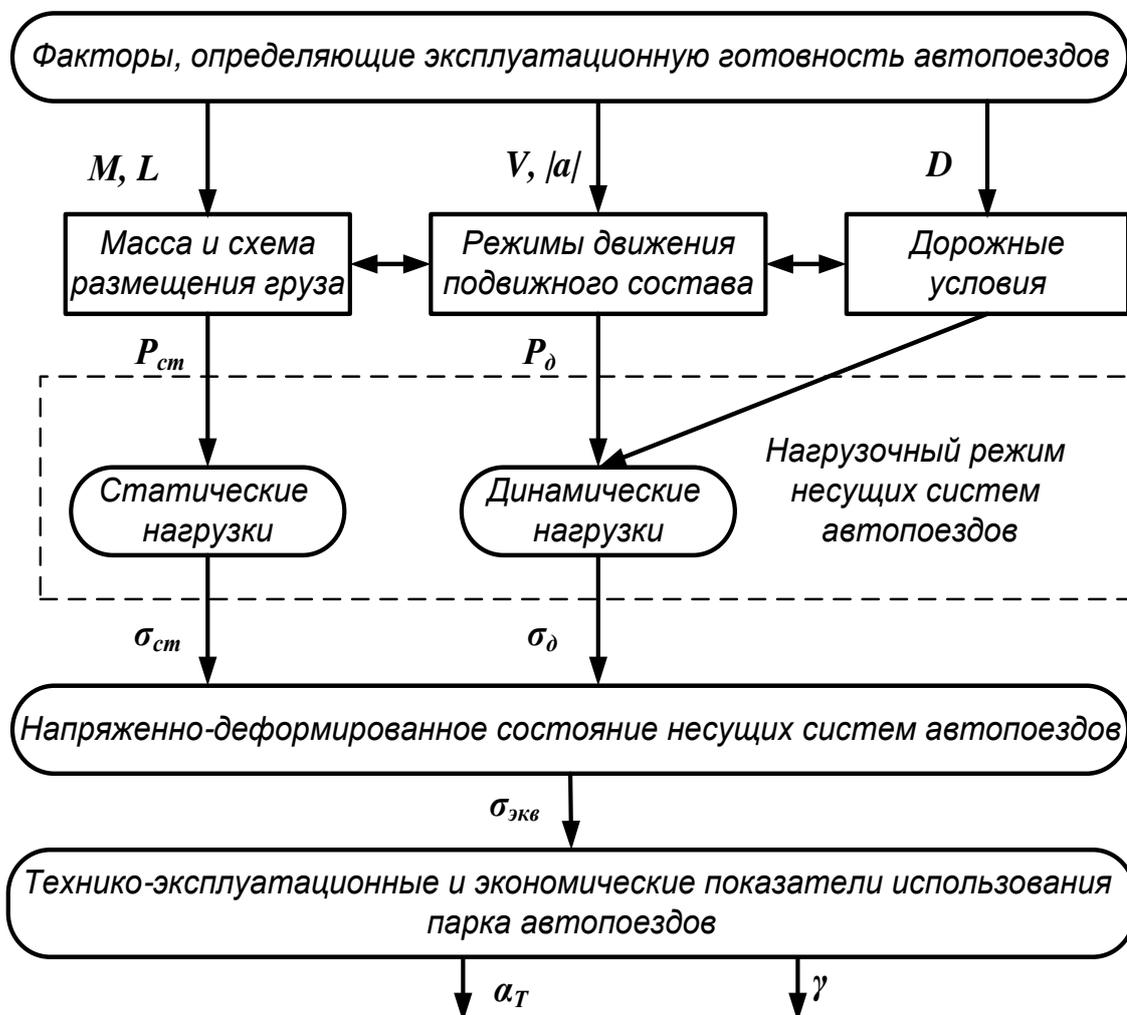


Рисунок 1.8 – Структурная схема формирования показателей эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов

Поэтому, в формировании показателей эксплуатационной готовности доминирующую роль играет нагрузочный режим несущей системы автопоездов, который в свою очередь, определяется схемой размещения груза и режимами движения подвижного состава. Процесс формирования показателей эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов показан на схеме (рис. 1.8).

Эксплуатационную готовность парка автопоездов при перевозке металлопродукции в рассматриваемых условиях целесообразно характеризовать двумя основными показателями – фактическим коэффициентом технической готовности  $\alpha_T$  и коэффициентом использования грузоподъемности  $\gamma$ . Коэффициент технической готовности  $\alpha_T$  характеризует эксплуатационную готовность парка большегрузных автопоездов  $\{A\}$  к перевозкам в течение периода времени  $\{T\}$ . Коэффициент  $\gamma$  характеризует степень использования средневзвешенной суммарной грузоподъемности всего парка большегрузных автопоездов. Данные показатели обеспечивают суммарную производительность всего парка автопоездов и суммарные затраты на перевозку.

Величина указанных коэффициентов определяется параметром напряженно-деформированного состояния несущей системы автопоездов – эквивалентным напряжением  $\sigma_{экр}$ . Эквивалентное напряжение характеризуется величиной статических ( $\sigma_{ст}$ ) и динамических ( $\sigma_{д}$ ) напряжений, определяется суммарным действием различного рода нагрузок ( $P_{ст}, P_{д}$ ). В свою очередь, нагрузочный режим несущей системы автопоездов, определяется массой ( $M$ ) и параметрами схем размещения груза (горизонтальная координата расположения груза  $L$ ), а также режимами движения (скорость  $V$  и ускорение  $|a|$ ) при существующих дорожных условиях ( $D$ ).

В общем виде постановка научной задачи записывается следующим образом:

<Имеется {система перевозок  $\{S\}$ , включающая в себя совокупность (парк) большегрузных автопоездов  $\{A\}$ , существующих дорожных условий  $\{D\}$ , условий выполнения грузовых работ  $\{G\}$ , осуществляющая перевозки груза  $\{M\}$  в течение периода времени  $\{T\}$ .}

<Требуется {осуществить выбор параметров эксплуатационных факторов (схемы размещения груза  $\{L\}$  и режимов движения подвижного состава  $\{R\}$ ), обеспечивающих нормативный уровень показателей эксплуатационной готовности (коэффициент технической готовности  $\{\alpha_T\}$  и коэффициент использования грузоподъемности  $\{\gamma\}$ ) в установленный заводом-изготовителем период эксплуатации  $\{T\}$  при наименьших затратах  $\{C\}$ .}

На основе сформулированных выше условий и ограничений требуется найти такие значения  $l_i$  и  $\nu_i, |a|_i$  областей  $L$  и  $R$ , при которых фактические эквивалентные нагрузки  $\sigma_{эkv}$  в несущей системе не будут превышать максимальных регламентируемых нагрузок  $[\sigma]_{max}$  в течение установленного срока эксплуатации  $T_{уст}$  в рассматриваемых существующих условиях  $D_{суц}$ .

Обобщенная формализованная запись постановки научной задачи повышения эффективности эксплуатации парка большегрузных автопоездов будет иметь вид

$$\left. \begin{array}{l} S \Leftrightarrow \langle \{A\}; \{M\}; \{G\}; \{D\} \in \{L; R\} \rangle \\ \{(\sigma_{cm_i}, \dots, \sigma_{cm_k}; \sigma_{d_i}, \dots, \sigma_{d_n}; \sigma_{эkv_i}, \dots, \sigma_{эkv_m}) \in S\} \leq \sigma_{max} \\ \text{Найти } l_i \in L; \nu_i \in R; |a|_i \in R \text{ для всех } (\sigma_{cm}, \sigma_d, \sigma_{эkv}) \leq \sigma_{max}, \\ \text{при } \gamma \rightarrow 1, 0, \alpha_N^\phi \geq \alpha_T^H, T = T_{уст} \text{ и } d_i \in D_{суц} \end{array} \right\}, \quad (1.1)$$

На основании вышеизложенного, рабочая гипотеза выполнения исследований сводится к следующему.

Анализ технической эксплуатации большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции показал, что в рамках действующей планово-предупредительной системы, регламентируемой Положением о техническом обслуживании и ремонте дорожных транспортных средств автомобильного транспорта (приказ Министерства транспорта Украины от 30.03.1998 г. № 102) и инструкциями предприятий-изготовителей, обеспечить требуемый уровень их эксплуатационной готовности не представляется возможным. В то же время, корректирование нормативов технического обслуживания и ремонта автотранспорта не позволяет учесть допустимый нагрузочный режим и обеспечить оптимальные параметры напряженно-деформированного состояния несущих систем большегрузных автопоездов.

Кроме того, Положение не учитывает специфики и сложности дорожных условий, в которых осуществляются перевозки. Поэтому, в первую очередь необходимо количественно оценить степень сложности дорожных условий при перевозках металлопродукции большой массы большегрузными седельными автопоездами стандартной конструкции по городским дорогам промышленных узлов. Отсутствуют также методы сопоставления указанных показателей с аналогичными показателями для грузов обычной массы и условий перевозок на магистральных автодорогах.

Следовательно, отправными положениями в решении рассматриваемой проблемы является оценка дорожных условий, а также увязка их со схемами размещения груза и режимами движения.

Важное значение в процессе формирования величин статических нагрузок имеет схема размещения металлопродукции на грузовой платформе полуприцепа. Правила перевозок грузов автомобильным транспортом в Украине (приказ Министерства транспорта Украины от 14.10.97 г. № 363) не регламентируют конкретных координат расположения металлопродукции большой массы на платформах. Фактическое размещение металлопродукции определяется заводом-изготовителем либо перевозчиком на основе принципа

равномерности распределения груза по длине платформы. В случаях, когда перевозки осуществляются автопоездами стандартной конструкции, соблюдение данного принципа приводит к перегрузу отдельных участков рамы с меньшим сечением и созданию мест концентрации напряжений.

Предварительные исследования показали, что в несущих системах автопоездов возникают динамические нагрузки, превышающие допустимые пределы, ввиду несоответствия степени сложности дорожных условий реальным режимам движения подвижного состава. В связи с этим, возникает необходимость разработки оптимальных режимов движения, параметры которых будут соответствовать сложным дорожным условиям при максимально допустимых динамических нагрузках.

Вместе с этим, в связи с отсутствием прецедента, вопросы исследования динамических нагрузок несущих систем большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции большой массы в сложных дорожных условиях не рассматривались. Известны методы моделирования процесса движения автотранспортных средств лишь на перевозках пассажиров и грузов (с массой единицы груза не превышающей 2,5-3,0 т) в условиях магистральных автодорог.

Таким образом, для решения научной задачи повышения эффективности использования большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции повышенной массы необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- определение величин статических нагрузок в несущей системе;
- оптимизация схем размещения груза;
- оценка параметров дорожных условий, влияющих на эксплуатационную готовность;
- определение величин динамических нагрузок в несущей системе;
- оптимизация режимов движения с учетом влияния дорожных условий на величину динамических нагрузок.

В рамках поставленных вопросов производится анализ отечественных и зарубежных литературных источников.

### **1.6 Анализ исследований, отечественной и зарубежной литературы**

По проблемам повышения эффективности автомобильных перевозок и эксплуатационной готовности автотранспортных средств выполнен достаточно большой объем исследований.

Вопросам исследования, анализа и моделирования дорожных условий автомобильных дорог различных видов, назначения и состояния достаточно широко освещены в работах Н.Н. Яценко, О.К. Прутчикова, В.Б. Проскуракова, Я.М. Певзнера, А.Д. Дербаремдикера, А.И. Гришкевича, Р.В. Ротенберга, А. А. Тихонова, В. Л. Афанасьева, А. А. Хачатурова, Л.Г. Резника, В. Ф. Бабкова, А. П. Васильева, В.Н. Дегтяренко и других ученых.

Вопросами определения статических и динамических нагрузок для решения проблем предотвращения усталостных разрушений элементов автомобильных несущих систем в эксплуатации занимались Г. Г. Баловневнев, Е. Г. Буглов, П. М. Волков, М. Э. Гарф, А. Г. Гасанов, А. С. Гусев, Г. В. Девойно, С. С. Дмитриченко, И. М. Илинич, Р. В. Кугель, И. И. Луневский, В. Г. Нейенко, Р. В. Нерсесян, В. Б. Проскураков, В. А. Трофимов, Э. Я. Филатов, А. И. Шевченко, М. Б. Школьников, Н. Н. Яценко, О.А. Бейгул, О. А. Русанов, Т. В. Астахова, В.А. Колокольцев, К. Э. Сибгатуллин и другие ученые, в том числе и иностранные К. Эрц, И. Дойч, М. Ханке.

Результаты проведенных исследований обобщены в материалах Государственного научно-исследовательского института автомобильного транспорта (НИИАТ), Всесоюзного государственного научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОС НИТИ) и Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций (ЦНИИСК),

Центрального проектно-конструкторского бюро промышленного транспорта черной металлургии (ЦПКТБТрансчермет) и др.

В настоящее время условия эксплуатации автомобильного транспорта достаточно систематизированы. Во-первых, дана подробная классификация эксплуатационных факторов и параметров. Этим вопросам посвящен ряд работ [36, 38, 86, 87, 101, 103, 117]. Условия эксплуатации автомобильного транспорта разделены в них на 5 основных групп: дорожные, транспортные, природно-климатические условия, условия, связанные с режимом движения и квалификацией работников.

В работах [72, 82, 90, 92, 134] приведена дифференциация условий эксплуатации автомобильного транспорта по следующим критериям: категория эксплуатации, модификация подвижного состава и организация его работы, природно-климатические условия, пробег с начала эксплуатации, численность парка подвижного состава и количество технологических совместимых групп.

Во-вторых, принятая классификация дорожных условий эксплуатации автомобильного транспорта [1, 11, 12, 30, 35, 53, 71, 122] включает 5 категорий. Категорийность условий характеризуется типом дорожного покрытия, типом рельефа местности (высотой над уровнем моря), а также условиями движения (видом и местоположением автодорог).

На основе указанных классификаций эксплуатационных и дорожных условий производится ресурсное и оперативное корректирование нормативов, перечня и соотношения работ технического обслуживания и ремонта.

В то же время, существующая классификация не учитывает в полной мере все особенности груза, маршрута и режимов движения на перевозках металлопродукции, а существующая система корректирования нормативов технической эксплуатации не может обеспечить требуемый уровень эксплуатационной готовности парка автопоездов в установленный период,

даже при минимальных периодичностях технических обслуживаний и ремонтов.

Возникла необходимость оценки таких дорожных условий как состояние дорожного покрытия и дорожной одежды (микропрофиль дороги), продольный профиль и план автомобильной дороги, влияющих на эксплуатационную готовность большегрузных автопоездов, а также более детальной дифференциации дорожных условий городских дорог по указанным параметрам.

Целый ряд научных трудов посвящен вопросам исследования микропрофиля автомобильных дорог [8-10, 59, 93, 100].

Данные исследования были предприняты для решения задач, связанных с проблемой плавности хода различных автотранспортных средств: легковых автомобилей [58, 61, 111-114], одиночных грузовых автомобилей [55, 56, 142, 143].

В развитие решения проблемы плавности хода были рассмотрены вопросы дальнейших научных исследований: повышение комфорта и эргономических качеств автомобилей для обеспечения высокого уровня безопасности машин [4, 15, 23, 42, 58, 76, 78, 109, 127, 128]; совершенствование и повышение долговечности подвески [3, 16, 20, 112] и несущей системы [17, 18, 69, 70, 110, 115, 124, 137]; снижение металлоемкости несущих элементов [5, 19, 21, 96]; снижение виброн нагруженности автомобильных агрегатов [3, 60, 120].

При этом следует отметить, что результаты указанных исследований получены для совершенствования конструктивных параметров автотранспортных средств на стадии проектирования.

Вопросы оценки параметров сложных дорожных условий городских дорог, определяющих нагрузочный режим несущей системы и влияющих на эксплуатационную готовность большегрузных магистральных автопоездов при перевозке металлопродукции большой массы, в литературе не рассмотрены.

Определению статических нагрузок (напряжений) посвящен ряд работ, в которых дано подробное описание методов расчета рам, рамных конструкций и несущих систем различных автотранспортных и автотракторных средств [70, 74, 110, 133, 136, 143]. В указанных трудах отображены результаты научных исследований по определению напряженно-деформированного состояния несущих систем для достижения различных целей.

Так, в работах [5, 21, 69, 96] рассматриваются вопросы оптимизации несущих систем и рамных конструкций грузовых платформ по критерию оптимальной металлоемкости.

В работах [7, 17-19, 21, 45, 52, 69, 77, 115, 119, 124, 137] их авторами разработаны методические основы анализа, оценки и расчета напряженно-деформированного состояния несущих систем автотранспортных средств для повышения их надежности на стадии проектирования.

В работах [7, 21, 52, 54, 119] приведена методика инженерных расчетов параметров напряженно-деформированного состояния несущих систем различных машин на ЭВМ. В основе данных исследований – статический расчет величин напряжений и моментов методом конечных элементов (МКЭ) [131] с использованием специальных программных комплексов. Указанные исследования проведены для прочностных расчетов несущих систем и рамных конструкций одиночных грузовых автомобилей и специализированной прицепной техники. Расчеты по определению параметров статической прочности элементов несущих систем большегрузных автопоездов стандартной конструкции, предназначенных для перевозки металлопродукции, не проводились.

С учетом выше изложенного, для дальнейших исследований наиболее перспективными являются численные методы расчета напряженно-деформированного состояния с использованием программных комплексов для ЭВМ в основе которых заложен метод конечных элементов (МКЭ).

По вопросам определения статических нагрузок и совершенствования схем размещения металлопродукции на грузовых платформах

большегрузных магистральных автопоездов с использованием математических методов оптимизации, в литературных источниках данных нет.

Определению величин динамических нагрузок в несущей системе автотранспортных средств, путем проведения экспериментальных исследований, посвящен целый ряд работ [15, 23, 45, 70, 110, 143].

Ряд экспериментальных исследований для определения динамических нагрузок был проведен по следующим направлениям: стендовые испытания в лабораторных условиях с имитацией эксплуатационных режимов нагружения, приближенных к реальным условиям [23, 28, 43, 45, 70, 76, 110, 115]; полигонные испытания на специальных дорогах или испытательных полигонах [15, 51, 23, 45, 143]; дорожно-эксплуатационные испытания в реальных условиях [2, 7, 42, 51, 70, 76].

Материалы, собранные и опубликованные авторами в ходе проведения указанных испытаний, относятся к легковым, одиночным грузовым автомобилям различного назначения и конструкции либо к большегрузным автослябовозам и автосамосвалам на базе автомобилей БелАЗ при их эксплуатации в условиях специальных промышленных автодорог.

Некоторые вопросы установления зависимостей между величинами нагрузок в несущих системах и параметрами режима движения рассмотрены в работах [3, 7, 16, 44, 47, 77].

В работе [36] вводится понятие приспособленности (адаптивности) и называет его одним из специфических свойств автомобиля. Автором определены количественные показатели и функциональные зависимости приспособленности от дорожных, природно-климатических и транспортных условий эксплуатации. Основными критериями, определяющими эффективность использования автотранспортных средств выступают такие параметры как расход топлива, масел, технических жидкостей, износ агрегатов и пр.

В работе [24] автором разработана вероятностная модель дорожных условий для определения таких параметров как средняя скорость движения, расход топлива, интенсивность разгона, число включений и продолжительности работы отдельных передач, средний процент использования мощности двигателя и ряда других показателей.

В работах [13, 72, 82, 86, 90, 92, 101, 117, 138] приводятся общие закономерности влияния различных условий эксплуатации на изменение технического состояния автомобилей без учета сложности дорожных условий и особенностей груза на рассматриваемых перевозках.

В ряде работ [11, 32, 41, 49, 50, 85, 125] приведены методы определения некоторых параметров режимов движения (скорость, ускорение) с учетом критерия безопасности дорожного движения.

В литературе отсутствуют какие-либо данные по исследованиям динамических нагрузок несущих систем магистральных большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции и установлению функциональных зависимостей между параметрами режимов движения и параметрами сложных дорожных условий на указанных перевозках.

Таким образом, проведенный обзор литературы по рассматриваемой проблеме позволил установить критерии, целевую функцию, сформулировать задачи и обозначить методы дальнейшего исследования.

### **1.7 Критерии, целевая функция и задачи исследований**

В основу решения научной задачи принята оптимизационная модель нахождения такого показателя функционирования парка большегрузных автопоездов, у которого критерием эффективности является минимум затрат ( $Z$ ), включающих эксплуатационные затраты ( $C_{эк}$ ) и затраты на перевозку ( $C_{пер}$ ). Целевая функция модели принимает следующий вид

$$Z = \varphi[C_{эк}; C_{пер}(\sigma_{см}(g; x); \sigma_{\partial}(v; d))] \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

при ограничениях:

$$\left| \begin{array}{l} \sigma_{см_i} \leq \sigma_{см}^{\max}, (i = 1, \bar{k}); \sigma_{\partial_j} \leq \sigma_{\partial}^{\max}, (j = 1, \bar{n}); \\ v_j \leq V_{доп}, (j = 1, \bar{n}) \end{array} \right|, \quad (1.3)$$

где  $\sigma_{см_i}; \sigma_{\partial_j}; \sigma_{см}^{\max}, \sigma_{\partial}^{\max}$  - соответственно статические и динамические фактические и максимально-допустимые нагрузки (напряжения) в несущих системах автопоездов, МПа;

$V, V_{доп}$  - соответственно фактическая и допустимая для данных перевозок скорость движения, по условиям безопасности движения, км/ч;

$g$  - величина, характеризующая параметры груза;

$x$  - координата центра тяжести груза, м;

$d$  - величина показателя дорожных условий, характеризующая их параметры.

На основании выполненного анализа сформулированы задачи диссертационной работы, решением которых достигается поставленная цель.

Задачи работы:

5. Разработать модель и алгоритм оптимизации схемы размещения грузов повышенной массы на платформе большегрузных автопоездов;

6. Исследовать закономерности и установить параметры скоростного режима большегрузных автопоездов;

7. Развить метод и разработать модель определения интегрального показателя для оценки дорожных условий работы большегрузных автопоездов;

8. Разработать метод, модель и алгоритм оптимизации режима движения большегрузных автопоездов.

## РАЗДЕЛ 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗА

#### 2.1 Анализ статистических данных по отказам автопоездов

##### 2.1.1 Классификация отказов

Опыт работы большегрузных автопоездов позволил собрать значительный объем статистических данных по отказам и неисправностям в автотранспортном подразделении базового предприятия (2005-2012 г.г).

Отказы и неисправности фиксируются в «Журналы учета постановки на ТО и ремонт автомобилей». Данные по отказам содержат информацию о типе подвижного состава, виде неисправности (отказа), продолжительности простоя, дате возникновения. Перечень наиболее часто возникающих неисправностей и отказов автопоездов приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Наиболее распространенные неисправности и отказы автопоездов

№ п\п	Тип подвижного состава	Системы, агрегаты, узлы	Вид неисправности
1	2	3	4
1	КАМАЗ-54115	ДВС	Поршни, коленвал, клапаны.
		Трансмиссия	Сцепление (износ дисков, выжимных подшипников, синхронизаторов, подшипников). Выход из строя редуктора. КПП (делитель, крестовины карданной передачи, вал). ПГУ
		Тормозная система	Краны, энергоаккумуляторы, износ тормозных накладок.
		Ходовая часть	Рулевые тяги, шкворни, штанги. Мосты (межосевой дифференциал). Износ рессор. Появление трещин и разрушений рамы. Продольные и поперечные трещины в лонжеронах рамы

продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
2	п\п ОдаЗ-9370	Тормозная система	Износ тормозных накладок
		Ходовая часть	Трещины в лонжеронах и поперечинах. Погнутость лонжеронов или поперечины. Ослабление заклёпочных соединений. Износ зева крюка. Разрушение опорной плиты, поломка поперечин рамы, деталей подвески
3	МАЗ-642208	ДВС	Поршни, коленвал, клапаны
		Трансмиссия	Сцепление (износ дисков, выжимных, синхронизаторов, подшипников). Выход из строя редуктора. КПП (делитель, крестовины карданной передачи, вал). ПГУ
		Тормозная система	Краны, энергоаккумуляторы, износ тормозных накладок
		Ходовая часть	Рулевые тяги, шкворни, штанги. Мосты (межосевой дифференциал). Появление трещин и разрушений рамы. Продольные и поперечные трещины в лонжеронах рамы
4	п\п МТМ-93301	Тормозная система	Износ тормозных накладок
		Ходовая часть	Трещины в лонжеронах и поперечинах. Погнутость лонжеронов или поперечины. Ослабление заклёпочных соединений. Разрушение опорной плиты, поломка поперечин рамы, разрушение деталей балансирной подвески. Штанги, износ втулок на буксах
5	МАЗ-643008	ДВС	Поршни, коленвал, клапаны
		Трансмиссия	Сцепление (износ дисков, выжимных, синхронизаторов, подшипников). Выход из строя редуктора. КПП (делитель, крестовины карданной передачи, вал). ПГУ
		Тормозная система	Краны, энергоаккумуляторы, износ тормозных накладок
		Ходовая часть	Рулевые тяги, шкворни, штанги. Мосты (межосевой дифференциал). Появление трещин и разрушений рамы. Продольные и поперечные трещины в лонжеронах рамы.
6	п\п МАЗ-938660	Тормозная система	Износ тормозных накладок
		Ходовая часть	Трещины в лонжеронах и поперечинах. Погнутость лонжеронов или поперечины. Ослабление заклёпочных соединений. Разрушение опорной плиты, поломка поперечин рамы, разрушение деталей балансирной подвески
7	п\п ВАРЗ-9995	Ходовая часть	Трещины в лонжеронах и поперечинах. Погнутость лонжеронов или поперечины. Разрушение опорной плиты, поломка поперечин рамы

Данные табл. 2.1 показывают, что наиболее распространенными являются отказы различных элементов ходовой части, двигателя, тормозной системы и трансмиссии. На рис. 2.1 приведена диаграмма процентного соотношения числа неисправностей и отказов указанных систем и механизмов.

Как видно из диаграммы, наибольшее число отказов приходится на ходовую часть (40%), при этом средняя наработка на отказ элементов ходовой части, по данным базового предприятия, составляет около 20 тыс. км (рис. 2.2).

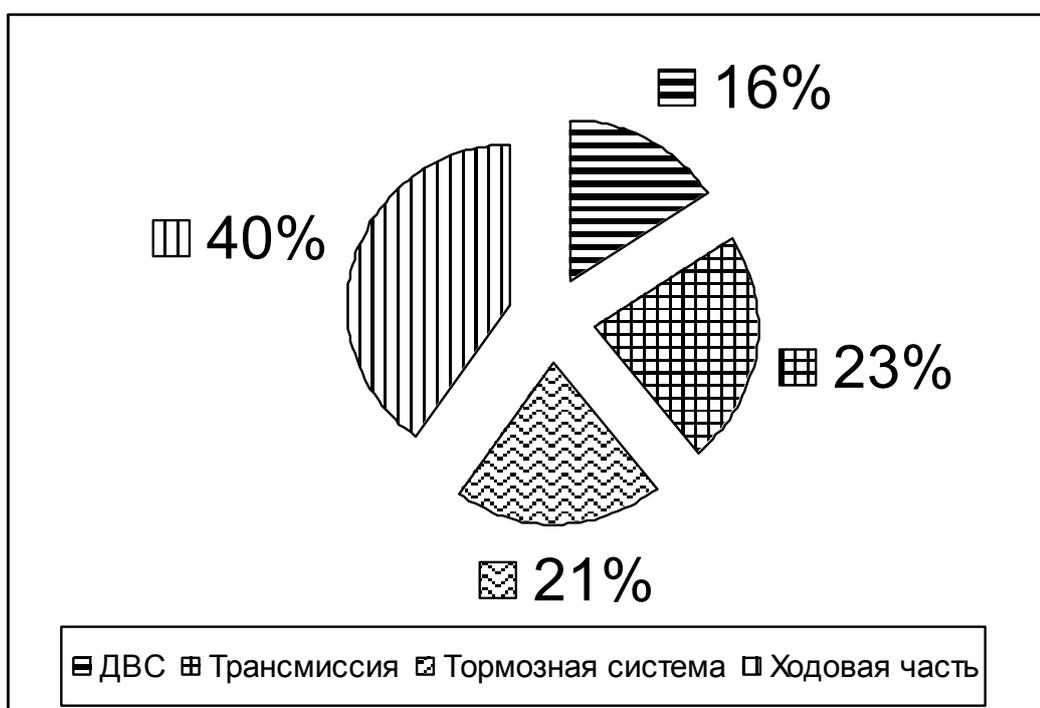


Рисунок 2.1 – Процентное соотношение числа неисправностей и отказов автопоездов в различных агрегатах и системах

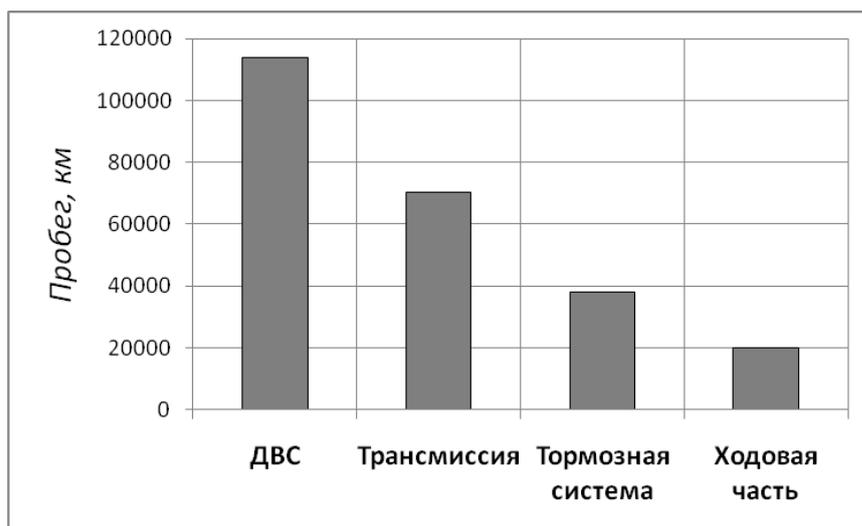


Рисунок 2.2 – Средняя наработка (пробег) на отказ элементов различных агрегатов и систем

Дальнейший анализ показал, что при перевозках металлопродукции возникают отказы как регламентированного, так и специфического характера. Отказы регламентированного характера (стандартные отказы) возникают практически во всех системах, механизмах и узлах автомобилей-тягачей и полуприцепов - двигатель, трансмиссия, рулевое управление, тормозная система, ходовая часть (табл. 2.1). Для них характерен определённый пробег или период эксплуатации, который регламентируется «Положением о техническом обслуживании и ремонте» либо инструкциями предприятий-изготовителей. При таких отказах долговечность и ресурс подвижного состава соответствуют гарантийному сроку службы.

Специфические отказы, возникающие в узлах рам седельных тягачей и полуприцепов, проявляются в виде усталостных трещин на лонжеронах, поперечинах и других деталях рам. Они возникают в результате действия статических и динамических переменных нагрузок, приводят к необходимости выполнения значительного объема дополнительных ремонтных работ и, как следствие, к увеличению затрат на восстановление и продолжительным простоям подвижного состава (п. 1.1.3).

### 2.1.2 Установление мест концентрации специфических отказов

По результатам анализа полученных данных по отказам установлено, что специфические отказы возникают на лонжеронах в задней части рам (в зоне седельно-цепного устройства), а также в передней части в зоне размещения двигателя седельных тягачей МАЗ-64308, -642208 (рис. А.1) и КамАЗ-54115 (рис. А.2), в передней части полуприцепов МАЗ-938660, МТМ-93301, ВАРЗ-9996 (рис. А.3 – А.4). На полуприцепах МТМ-93301 отказы (трещины, разрушения, отрывы) наблюдаются во всех узлах рамы (лонжеронах, поперечинах, усилителях, стойках, опорной плите и др.). На других транспортных средствах – большей частью в зоне опорно-цепного устройства.

С целью определения мест концентрации отказов в несущих системах (рамах) большегрузных автопоездов выполнен сопоставительный анализ на основании данных по неисправностям базового предприятия. При проведении исследований, специфические отказы учитывались по всем элементам рам седельных тягачей и полуприцепов всех моделей. При этом частота отказов отдельных элементов рамы ( $n$ ) принималась в процентном отношении к общему числу отказов в целом по транспортному средству ( $N$ ). Эксплуатационные наблюдения проводились на базовом предприятии в течение 5 лет. За этот период было перевезено свыше 12 тыс. т металлопродукции и выполнено около 100 тыс. ездов.

Диаграмма процентного соотношения числа отказов в узлах рам автопоездов приведена на рис. 2.3.

Приведенные данные показывают, что преобладающее число отказов, как у тягачей, так и у полуприцепов, наблюдается в зоне наиболее важного узла автопоезда – седельно-цепного устройства. На долю таких отказов приходится более 90% от общего числа у седельных тягачей (рис. 2.3, а), 83% у полуприцепов МАЗ-938660 и 100% у полуприцепов ВАРЗ-9996 (рис. 2.3, б).

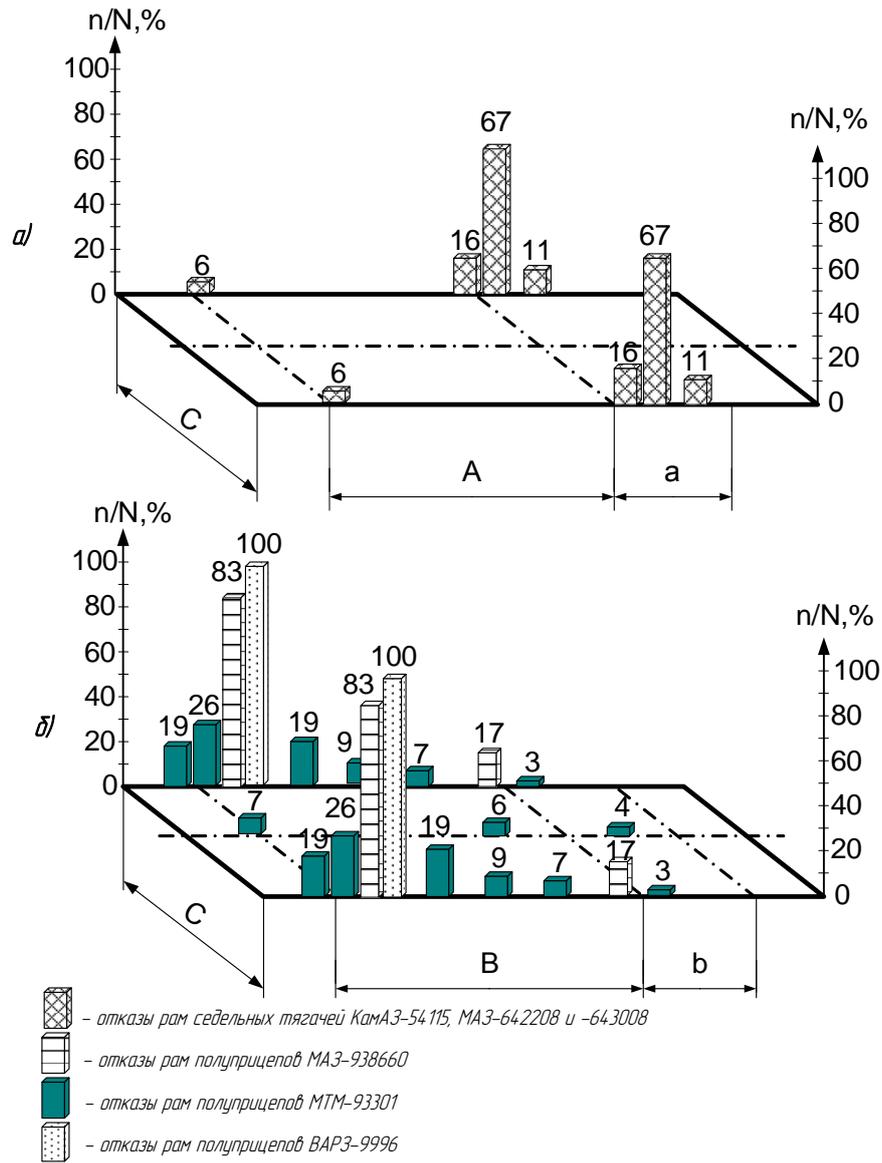


Рисунок 2.3 – Диаграммы распределения отказов в узлах и элементах рам в %: *a* – седельных тягачей; *б* – полуприцепов; *A*, *B* – соответственно база седельного тягача и полуприцепа; *a*, *b* – соответственно база тележки седельного тягача и полуприцепа; *C* – габаритная ширина рамы

Очевидно, что в зоне седельно-сцепного устройства имеют место повышенные нагрузки, превышающие предел выносливости металла. Поэтому возникает необходимость оценки напряженно-деформированного состояния рамы (несущей системы) автопоезда с целью определения статических нагрузок.

## 2.2 Расчет статических нагрузок

### 2.2.1 Методы определения статических нагрузок несущих систем автотранспортных средств

При анализе рам с закрытым контуром поперечного сечения, пространственных рам, сложных корпусных и кузовных конструкций наиболее перспективным, является метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет анализировать сложные многократно статически неопределимые строительные и машиностроительные конструкции.

Вышеперечисленные методы, в частности МКЭ, являются теоретической основой для определения статических нагрузок (напряжений) в элементах рам и их типового статического расчета. В настоящее время для расчета статических нагрузок и напряжений широко используются прикладные компьютерные программы (программные комплексы), в основу которых заложен МКЭ.

Расчеты с использованием ЭВМ выполняются на стадиях разработки конструкторской документации и проектирования несущих систем автотранспортных средств и машин различного назначения. Наиболее распространенными программными комплексами для выполнения прочностных расчетов в машиностроении являются: «SCAD (Structure CAD for Windows)», «ANSYS», «I-DEAS NX», «UG NX», «LMS Virtual.Lab», «TOSCA», «APM WINMACHINE» и другие.

Численные методы расчета напряженно-деформированного состояния на основе программных комплексов для ЭВМ находят все большее распространение. Весьма большими возможностями обладает программный комплекс ANSYS (продукт фирмы «ANSYS Inc.»), позволяющий решать краевые задачи практически во всех инженерных приложениях, таких как: колебания, теплопроводность, прочность, специфические конструкции в виде рамных систем и т. п.

Программный комплекс ANSYS обладает рядом достоинств, в числе которых: возможность работы с другими программами для моделирования различных конструкций, построение эпюр напряжений и моментов, возможность создания подпрограмм в самой среде комплекса, удобство и наглядность вывода результатов расчетов.

Таким образом, данный программный комплекс вполне удовлетворяет всем требованиям и принят к расчету напряженно-деформированного состояния несущей системы большегрузных автопоездов для перевозки металлопродукции в рамках настоящей работы.

### **2.2.2 Анализ габаритно-весовых параметров металлопродукции и схем размещения груза**

Согласно Правилам перевозки грузов автомобильным транспортом в Украине (приказ Министерства транспорта Украины от 14.10.97 г. № 363), а также, металлопродукция, перевозимая большегрузными автопоездами, относится к грузам большой массы (масса единицы свыше 3 т, фактическое значение для горячекатаных рулонов достигает 80 т).

Металлопродукцию, перевозимую большегрузными автопоездами можно разделить на две группы по виду передаваемой на подвижной состав нагрузки:

- грузы, создающие сосредоточенные (дискретные) нагрузки (рулоны холодно- и горячекатаной стали, пачки холоднокатаного листа);
- грузы, создающие равномерно-распределенную нагрузку (товарные слябы, сортовой металлопрокат, толстый лист).

Схемы размещения металлопродукции обеих групп приведены на рисунке 2.4.

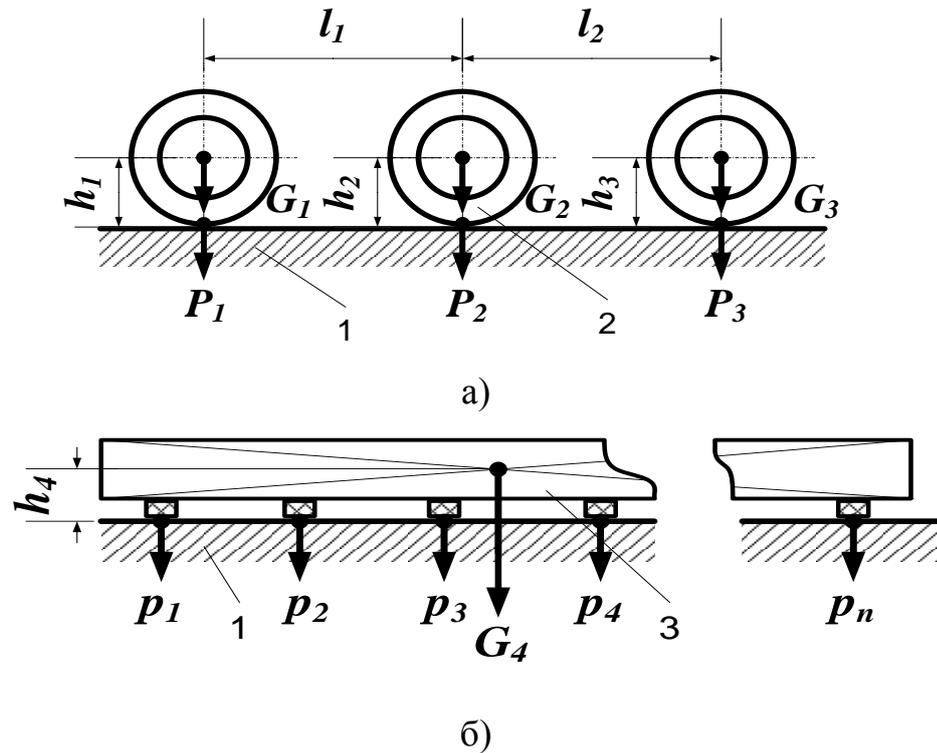


Рисунок. 2.4 – Схема размещения металлопродукции на платформах автопоездов: а – грузы, создающие дискретную (сосредоточенную) нагрузку; б – грузы, создающие равномерно-распределенную нагрузку: 1 – грузовая платформа автопоезда; 2 – стальной рулон; 3 – литая заготовка

Как видно из рис. 2.4, схемы погрузки металлопродукции указанных групп существенно различаются по высоте центра тяжести груза ( $\{h_1, h_2, h_3\} > h_4; h_1 > h_4, h_2 > h_4, h_3 > h_4$ ), а также величине веса единицы груза и погонной нагрузки на единицу длины платформы-полуприцепа ( $G_4 = \sum_{i=1}^n p_i; p_i \ll G_4; p_i < P_1, p_i < P_2, p_i < P_3; G_1 < G_4, G_2 < G_4, G_3 < G_4$ ).

Грузы, создающие равномерную нагрузку, размещены посередине платформы на деревянных подкладках и удерживаются металлическими кониками. Грузы, создающие дискретную нагрузку (стальные рулоны), устанавливаются на специальные ложементы. Ложементы расположены на одинаковом расстоянии друг от друга (требования завода-изготовителя). Аналогично размещаются пачки тонкого листа.

Несущая система полуприцепа стандартной конструкции имеет раму лестничного типа. Основными ее элементами, обеспечивающими жесткость всей конструкции, являются два лонжерона (рис. 2.5). Конструкция лонжерона с переменным сечением, в основе – двутавровый сварной профиль. Наименьшее сечение лонжерон имеет в зоне опорно-цепного устройства, наибольшее – в задней части.

Особенности конструкции несущих систем, в частности, лонжеронов, характерны для полуприцепов общего назначения, предназначенных для перевозки грузов обычной массы по дорогам с нормальными дорожными условиями.

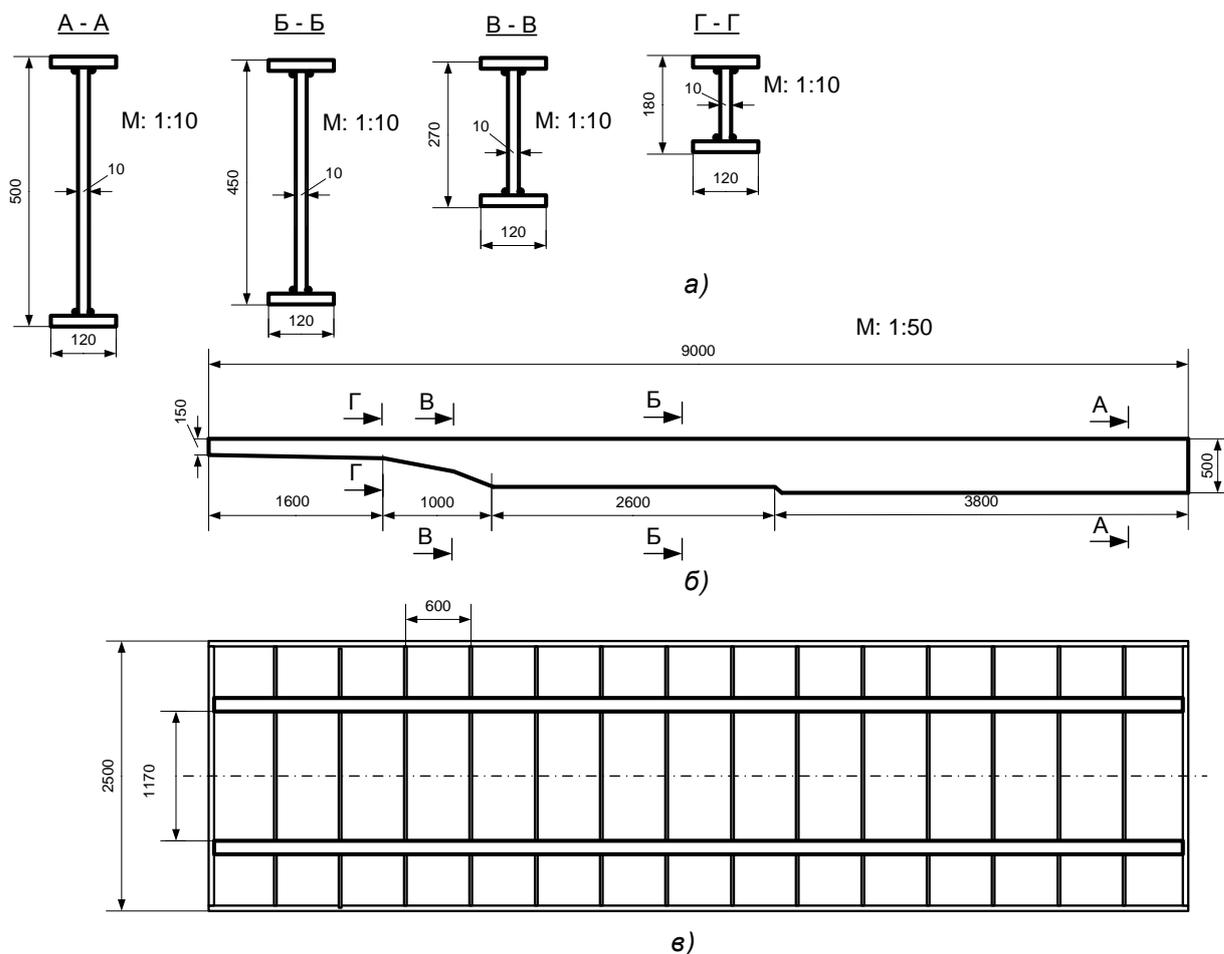


Рисунок. 2.5 – Рама специализированного полуприцепа-«рулоновоза»: а – сечения лонжерона; б – лонжерон (вид сбоку); в – рама (вид сверху)

Очевидно, что при наличии переменного сечения у лонжеронов рамы, нагрузочный режим (величина напряжений) будет различным по всей длине рамы при равномерном распределении груза. Поэтому возникает необходимость оценки нагруженности несущей системы с целью оптимизации схемы погрузки.

### 2.2.3 Оценка нагруженности несущей системы полуприцепа при перевозке грузов, создающих равномерно-распределенную нагрузку

При определении опасной зоны рассмотрены два варианта загрузки прицепа. В первом варианте расчетная модель построена таким образом, что груз в виде сляба массой 26 т расположен непосредственно на раме прицепа и соединен с ней так чтобы не оказывать влияния на жесткость рамы (рис. 2.6). Указанное нагружение представлено на рис. 2.7. Эпюра изгибающих моментов для данного нагружения – на рис. 2.8.

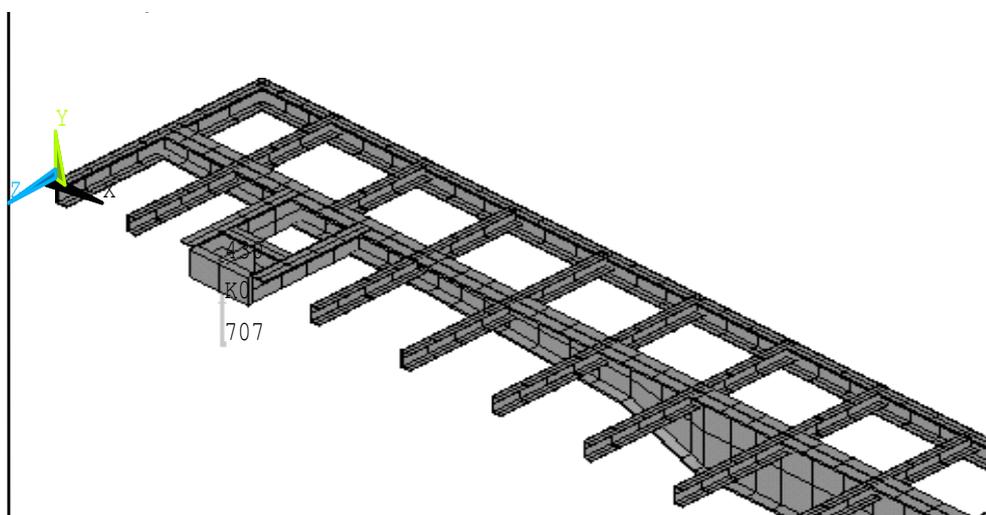


Рисунок 2.6 – Конечно-элементная модель рамы специализированного полуприцепа

В данной модели в полной мере учтены жесткости сляба и рамы прицепа, однако существенным недостатком является то, что жесткость перевозимого груза, который представляет собой слябы или листы

существенно зависит от сечения груза и силы трения между листами, что оказывает существенное влияние на нагружение прицепа.

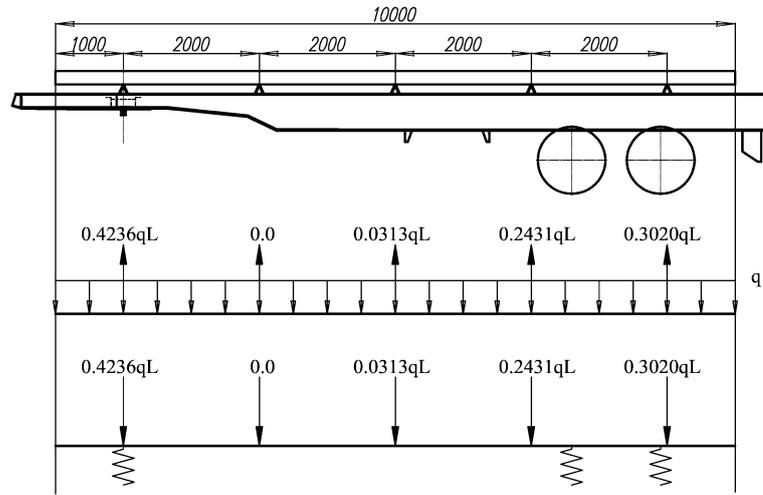


Рисунок 2.7– Нагружение рамы слябом с учетом совместности прогибов

Другой вариант нагружения не учитывает совместность прогибов рамы прицепа груза, а сечение груза принимается одинаковым по всей длине (рис. 2.9 и 2.10). При данном нагружении сильнее нагружена средняя часть прицепа.

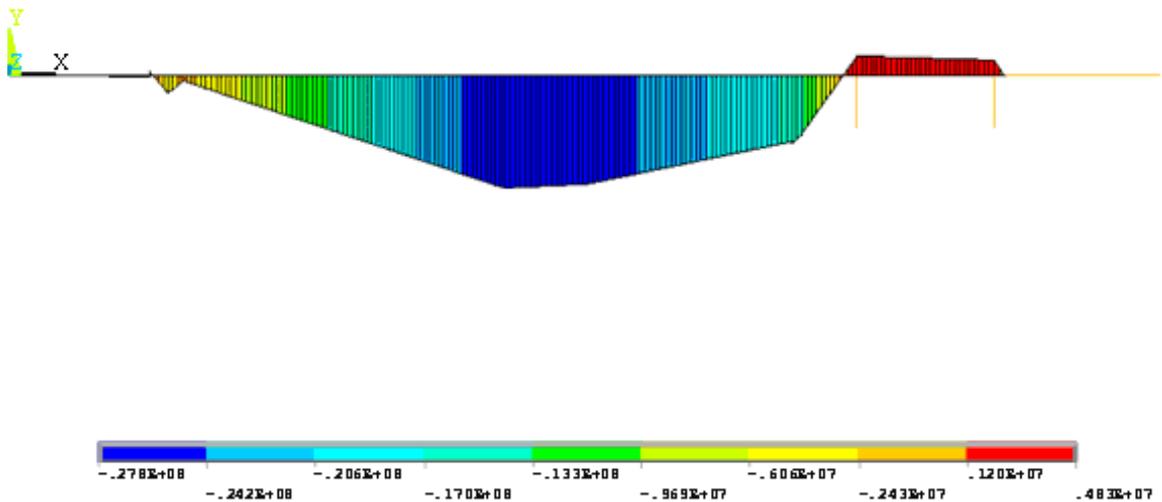


Рисунок 2.8 – Эпюра изгибающих моментов при нагружении с учетом совместности прогибов, Нм

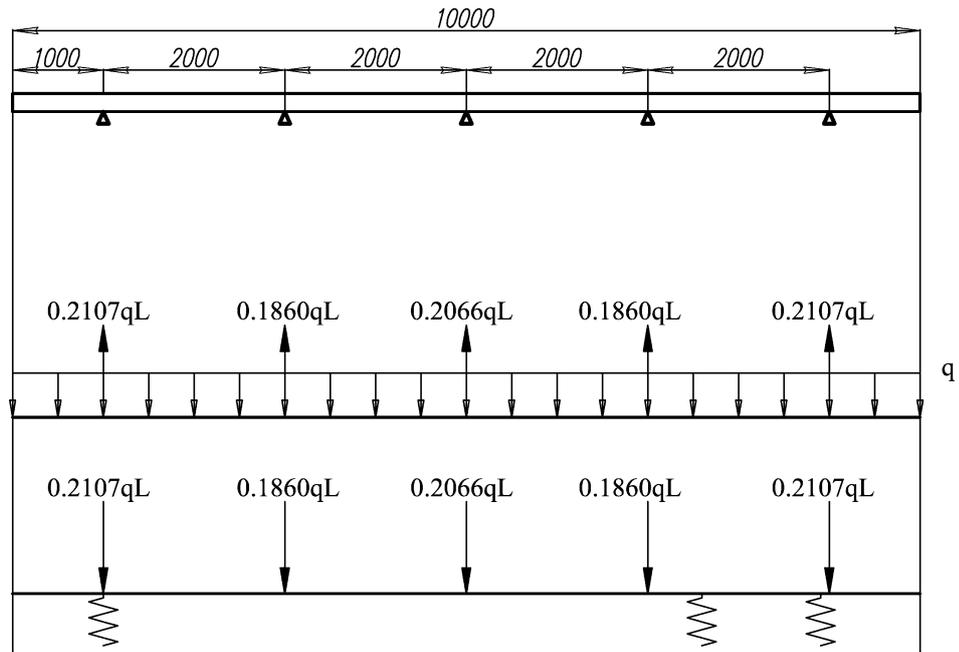
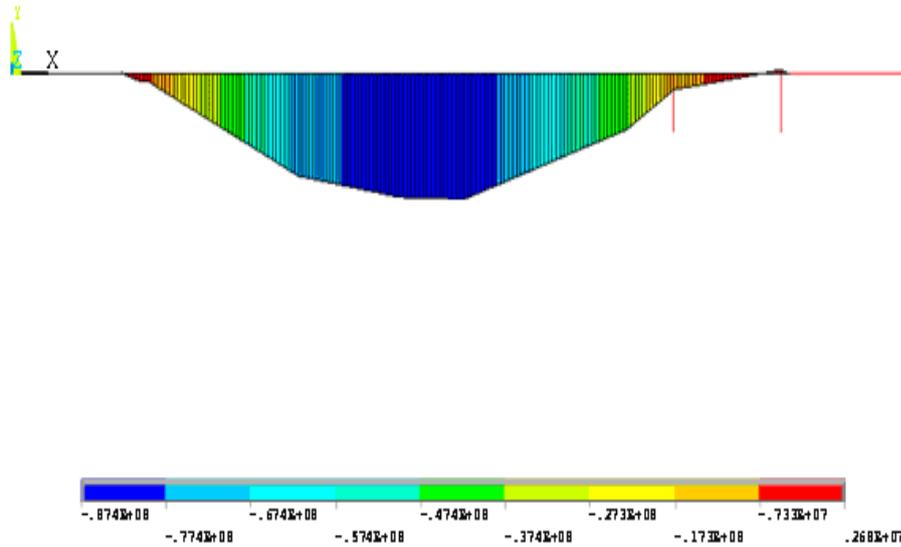


Рисунок 2.9 – Нагружение рамы без учета совместности прогибов



Рисунгок 2.10 – Эпюра изгибающих моментов с учетом совместности прогибов, Нм

Далее определим зону, в которой возникают максимальные напряжения от изгибающего момента.

На рис. 2.11 приведена эпюра напряжений от изгибающего момента. Как видно здесь, максимальные напряжения величиной  $\sigma = 71,9$  МПа возникают в переходной зоне рамы.

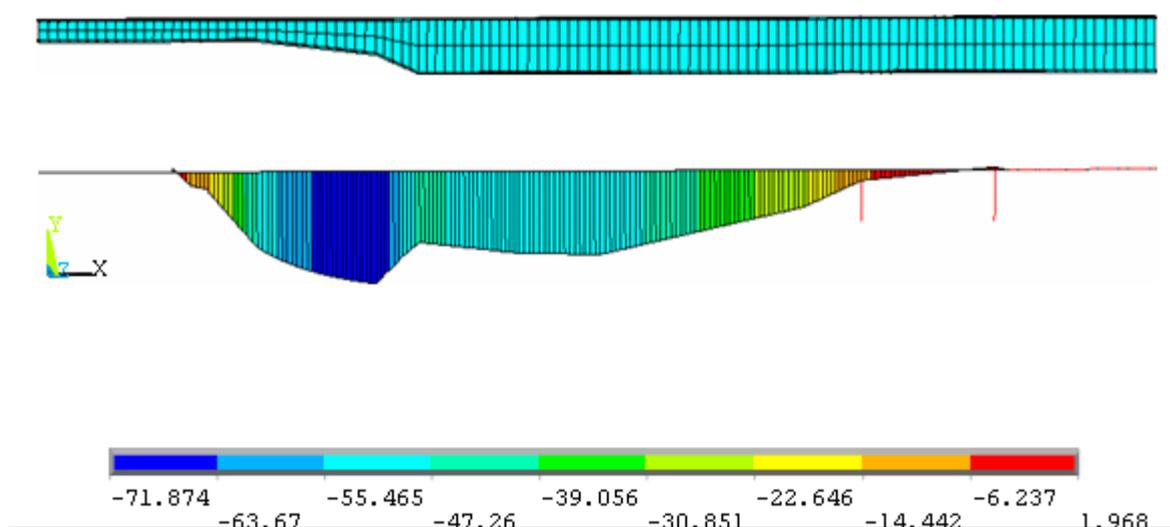


Рисунок 2.11– Эпюра напряжений от изгибающего момента с учетом совместности прогибов, МПа

Как показывают данные по отказам в несущих системах автопоездов-«металловозов», поломки элементов несущей системы (рамы) характерны только для специализированных полуприцепов для перевозки грузов, создающих дискретную (сосредоточенную) нагрузку – «рулоновозов». Поэтому, данному вопросу уделено особое внимание.

#### 2.2.4 Оценка нагруженности несущей системы полуприцепа при перевозке грузов, создающих сосредоточенную нагрузку

Несущая система специализированных полуприцепов состоит из двух параллельных балок (лонжеронов) переменного сечения, скрепляемых поперечинами.

Для расчета оптимального размещения стальных рулонов на полуприцепе воспользуемся плоской однобалочной схемой, изображенной на рис. 2.12.

Под оптимальным размещением рулонов понимается минимизация максимальных статических напряжений в зонах, которые были определены ранее.

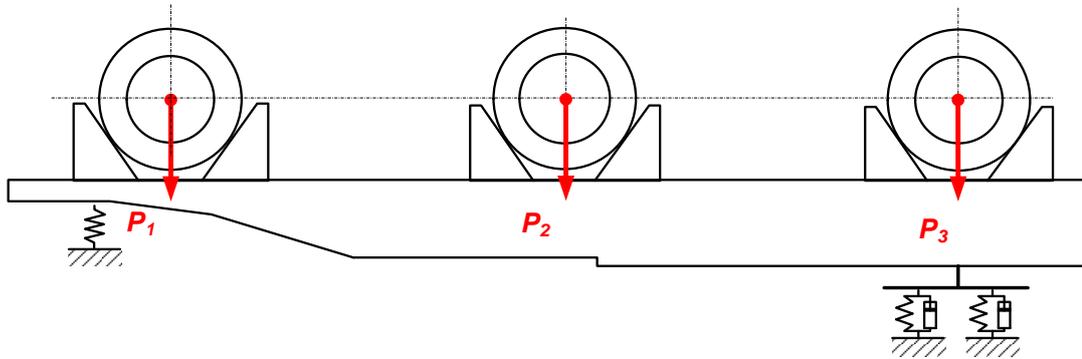


Рисунок 2.12 – Схема размещения рулонов:  $P_1, P_2, P_3$  - вес рулонов

Полагаем, что вес рулонов равномерно распределяется на рамы полуприцепа, поэтому в дальнейшем при расчетах будем рассматривать только одну балку, учитывая, что на нее действует только половина всей нагрузки, приходящейся на всю раму полуприцепа.

Для оценки оптимального размещения рулонов в первом приближении принята следующая расчетная схема балки (рис. 2.13).

На данной схеме приняты следующие обозначения:

$P_1, P_2, P_3$  - вес рулонов;

$R_A, R_B$  - реакции опор балки;

$x_1, x_2, x_3$  - координаты центров тяжести каждого из рулонов относительно опоры  $A$ ;

$a$  - расстояние между опорами;

$b$  - расстояние между седельно-цепным устройством и задним краем рамы;

$l$  - длина платформы.

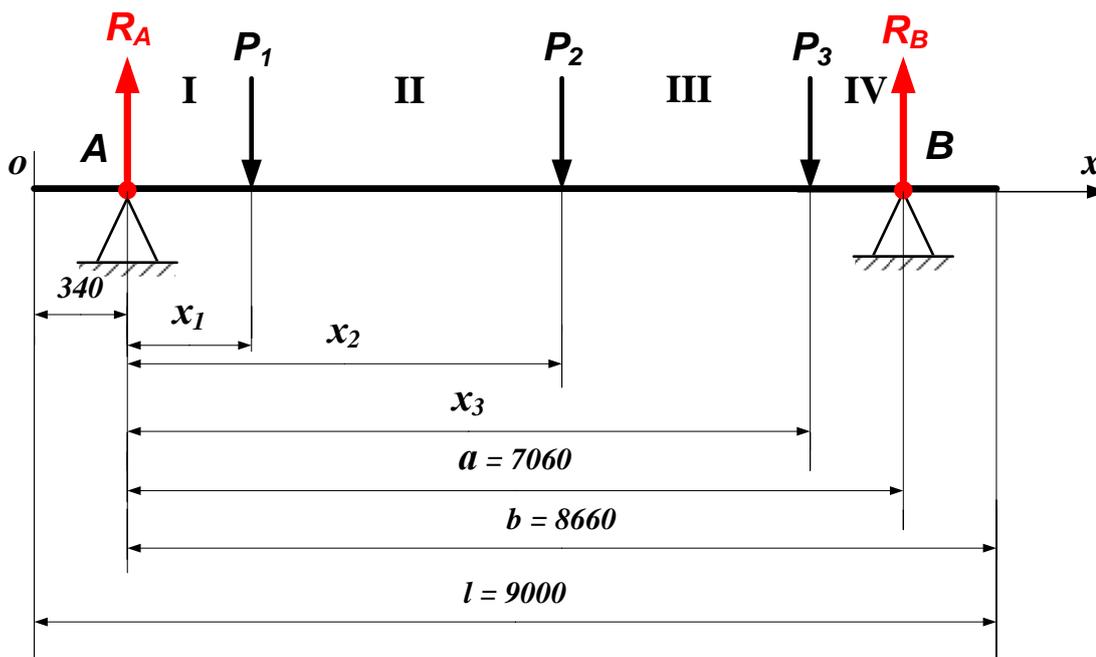


Рисунок 2.13 – Расчетная схема балки

Из уравнений моментов относительно опор найдем их реакции  $R_A$  и  $R_B$ :

$$\sum M_A = 0 \text{ и } \sum M_B = 0. \quad (2.1)$$

$\sum M_A = 0$  относительно опоры  $A$ ,  $\sum M_B = 0$  относительно опоры  $B$ .

Имеем:

$$\sum M_A = R_B - P_1 x_1 - P_2 x_2 - P_3 x_3 = 0. \quad (2.2)$$

Откуда находим

$$R_B = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i. \quad (2.3)$$

$$\sum M_B = R_A a - P_1(a - x_1) - P_2(a - x_2) - P_3(a - x_3) = 0. \quad (2.4)$$

Откуда находим

$$R_A = \sum_{i=1}^3 P_i - \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i. \quad (2.5)$$

Таким образом, получаем систему уравнений

$$\begin{cases} R_A = \sum_{i=1}^3 P_i - \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i, \\ R_B = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i. \end{cases} \quad (2.6)$$

Задача оптимизации сводится к тому, чтобы минимизировать изгибающий момент  $M_Z$ , действующий в том поперечном сечении «опасной зоны» балки, в окрестности которого на раме обнаруживаются дефекты (трещины и пр.).

Определив участок с наибольшими нормальными напряжениями в «опасной зоне» рамы, можно затем, используя уравнения (2.6) и принципы сопротивления материалов о расчете изгибающих моментов на отдельных участках в схеме (рис. 2.13), можно найти оптимальные значения координат  $x_1$ .

Как показывают опытные наблюдения, «опасная зона» распространяется на всю переходную область переменного сечения рамы от левого края платформы. Ее длина составляет 2600 мм. Далее идет постоянное сечение профиля. Все поперечные сечения балки имеют один профиль с различными размерами (рис. 2.14).

Переменное сечение «опасной зоны» представляет собой ломаную линию, состоящую из трех прямых линий.

Для дальнейшего анализа напряжений, возникающих в «опасной зоне» необходимо рассчитать геометрические характеристики поперечного сечения балки рамы.

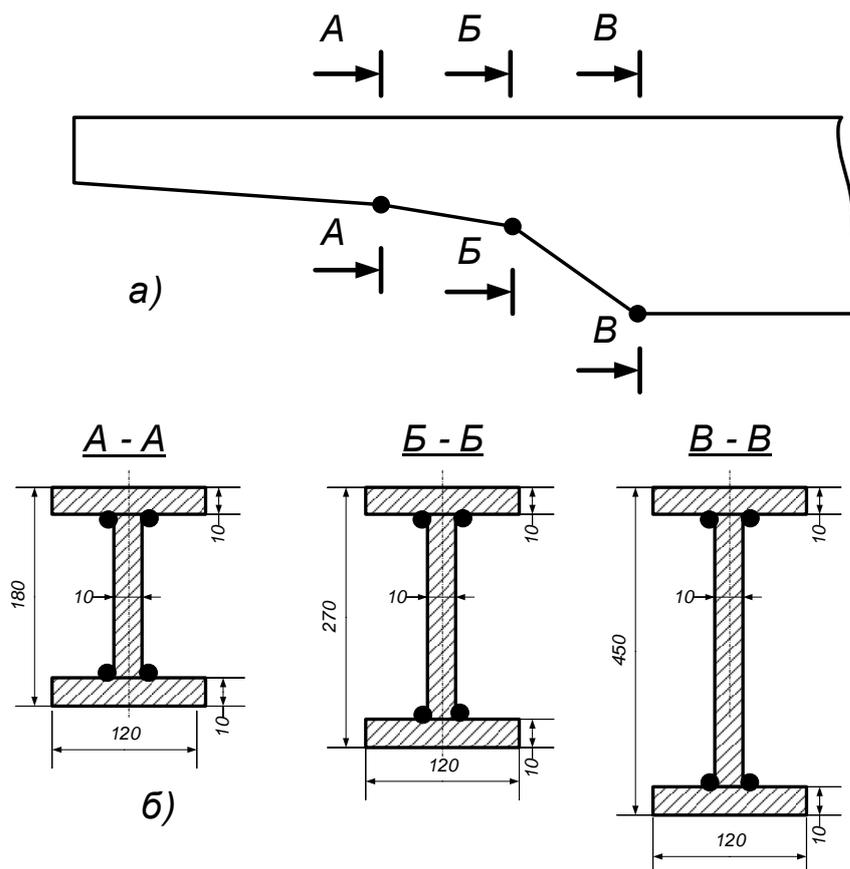


Рисунок 2.14 – Схема рамы полуприцепа: а – переходная зона; б – профили

Максимальные нормальные напряжения при поперечном изгибе определяются по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_Z}{W_Z}, \quad (2.7)$$

где  $M_Z$  - изгибающий момент в данном сечении;

$W_Z$  - момент сопротивления сечения при изгибе;

$$W_{\max} = \frac{J_Z}{(h/2)}, \quad (2.8)$$

где  $J_Z$  - главный центральный момент инерции, то есть проходящий через центр тяжести геометрической фигуры;

$(h/2)$  - расстояние от нейтральной оси фигуры.

В нашем случае поперечное сечение балки в общем случае имеет следующий вид (рис. 2.20).

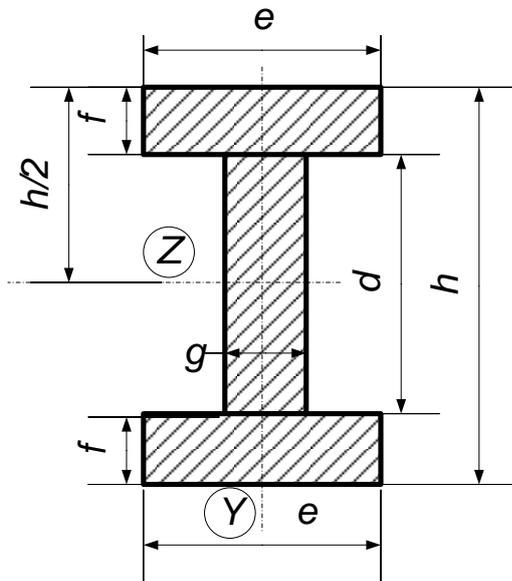


Рисунок 2.15 – Поперечное сечение балки

Так как балка состоит из пластичного материала (низколегированной стали), то напряжения деформации (сжатия) одинаковы, поэтому нейтральная ось находится на одинаковом расстоянии от центра тяжести геометрической фигуры поперечного сечения балки рамы.

Главный центральный момент инерции относительно оси  $Z$  для рассматриваемого поперечного сечения:

$$J_Z = \int_{-(f+d/2)}^{f+d/2} y^2 dA = \int_{d/2}^{f+d/2} y^2 dy + \int_{-d/2}^{d/2} y^2 c dy + \int_{-(f+d/2)}^{-d/2} y^2 a dy = \quad (2.9)$$

$$= J_{Z_1} + J_{Z_2} + J_{Z_3}$$

где  $A$  - общая площадь сечения.

С учетом того, что вследствие симметрии сечения  $J_{Z_1} + J_{Z_3}$ , то получим  $J_Z = 2J_{Z_1} + J_{Z_2}$ .

Найдем отдельно каждое из слагаемых:

$$\begin{aligned}
J_{Z_1} &= e \int_{d/2}^{f+d/2} y^2 dy = \left[ \frac{y^3}{3} \right]_{d/2}^{f+d/2} = \frac{e}{3} \left[ \left( f + \frac{d}{2} \right)^3 - \left( \frac{d}{2} \right)^3 \right] = \\
&= \frac{ef}{3} \left[ \left( f + \frac{d}{2} \right)^2 - \left( f + \frac{d}{2} \right) \frac{d}{2} + \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] = \frac{ef}{3} \left[ f^2 + \frac{3fd}{2} + 3 \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] =. \quad (2.10) \\
&= \frac{ef}{3} \left[ \left( f + \frac{3}{4}d \right)^2 + \frac{3}{16}d^2 \right]
\end{aligned}$$

Момент инерции

$$J_{Z_2} = g \int_{-d/2}^{d/2} y^2 dy = \frac{y^3}{3} \Big|_{-d/2}^{d/2} = 2 \frac{g}{2} \left( \frac{d}{2} \right)^3. \quad (2.11)$$

Исходя из конструкции рамы, видно, что  $g = f = 10$  мм.

Тогда момент инерции

$$\begin{aligned}
J_{Z_1} &= 2 \left( J_{Z_1} + \frac{f}{3} \left( \frac{d}{2} \right)^3 \right) = 2 \left\{ \left[ \frac{gf}{3} \left( f + \frac{3}{4}d \right)^2 + \frac{3}{16}d^2 \right] + \frac{f}{3} \left( \frac{d^3}{2} \right) \right\} = \\
&= \frac{2f}{3} \left\{ g \left[ \left( f + \frac{3}{4}d \right)^2 + \frac{3}{16}d^2 \right] + \frac{d^3}{8} \right\} \quad (2.12)
\end{aligned}$$

В выражении (2.8) переменной является только размер  $d$ , остальные данные постоянны:  $g = 120$  мм;  $f = 10$  мм.

Найдем зависимость размера  $d$  от расстояния от левого края рамы.

Рассмотрим схему на рис. 2.16. Получены уравнения прямых, описывающих каждый из участков переходной зоны:

Участок ОА:  $y = -0,019x + 300$ ;

Участок АБ:  $y = -0,013x + 450$ ;

Участок БВ:  $y = -0,9x + 2340$ ;

Переменные  $x$  и  $y$  выражены в мм. Размеры характерных зон рамы получены с помощью прямых измерений.

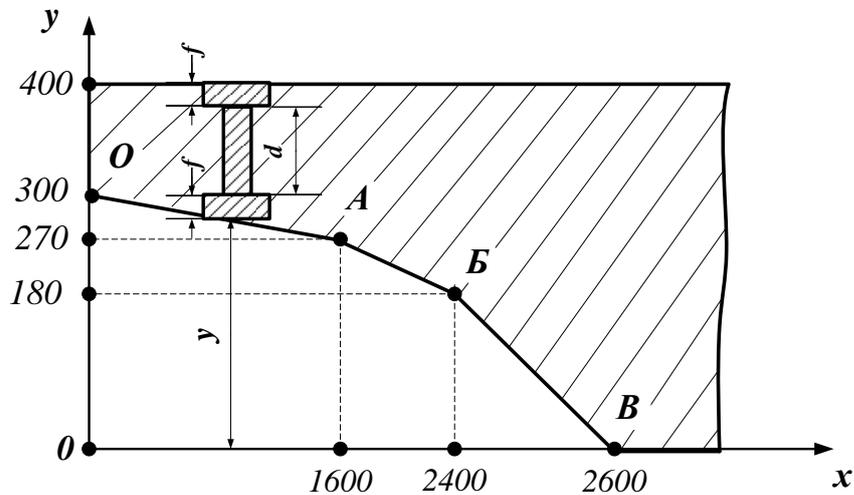


Рисунок 2.16 – Схема для определения расстояния  $y$

Из рис. 2.16 видно, что для каждого из трех участков «опасной зоны» размер  $d=430 - y$  (мм).

Тогда момент сопротивления

$$W_Z = \frac{J_Z}{(h/2)} = \frac{J_Z}{(f + d/2)} = \frac{J_Z}{(10 + 215 - y/2)} = \frac{J_Z}{(225 - y/2)}, \text{ мм}^3.$$

Обычно  $J_Z$  выражается в  $\text{см}^4$ , а  $W_Z$  - в  $\text{см}^3$ . Поэтому для анализа  $\sigma_{\max}$  будем вести расчеты  $J_Z$  и  $W_Z$ , используя линейные расчеты, выраженные в см:

$$W_Z = \frac{J_Z}{(22,5 - y/2)}. \quad (2.13)$$

Для вычисления момента сопротивления  $W_Z$  в переходной зоне рамы с переменным сечением О-В в зависимости от расстояния  $x$  составим табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет момента сопротивления  $W_Z$ 

$x$ , мм	$y^*$ , см	$d = 43 - y$ , см	$J_Z^{**}$ , см <sup>4</sup>	$W_Z^{***}$ , см <sup>3</sup>	$x'$ , мм	$M_Z(x')$ , кН·м	$\sigma_{\max}$ , МПа	
0	30	13	1361	181				
400	29,24	13,76	1526	194	50	I	2,88	14,8
800	28,48	14,52	1702	206	450		25,9	125,7
1200	27,72	15,28	1890	219	850		49,0	223,7
1600	26,96	16,04	2088	231	1250		72,06	311,9
1800	24,66	18,34	2760	271	1450		83,59	308,5
2000	22,4	20,6	3530	312	1650		95,12	304,9
2200	20,14	22,86	4413	355	1850	II	96,56	272
2400	17,88	25,12	5416	399	2050		98,08	245,8
2500	9	34	10627	590	2150		98,84	167,5
2550	4,5	38,5	14119	697	2200		99,22	142,4
2600	0	43	18244	811	2250		99,6	122,8

\*) для участка О-А:  $y = (-0,019x + 300)/10$ , см; для участка А-Б:  
 $y = (-0,113x + 450)/10$ , см; для участка Б-В:  $y = (-0,9x + 2340)/10$ , см;

$$**) J_Z = \frac{2 \cdot 1}{3} \left\{ 12 \left[ \left( 1 + \frac{3}{4}d \right)^2 + \frac{3}{16}d^2 \right] + \frac{d^3}{8} \right\}, \text{ см}^3;$$

$$***) W_Z = \frac{J_Z}{22,5 - y/2}, \text{ см}^3.$$

На рис. 2.17. представлены графики зависимостей  $W_Z(x)$  для каждого из трех участков переходной зоны. Из этих графиков видно, что зависимости  $W_Z(x)$  - прямые линии, что позволяет записать уравнения  $W_Z(x)$  прямых линий. На основании данных таблицы 1 получены следующие уравнения:

$$\text{для участка О-А: } W_Z = 0,31x + 181, \text{ см};$$

$$\text{для участка А-Б: } W_Z = 0,213x - 113, \text{ см};$$

$$\text{для участка Б-В: } W_Z = 2,21x - 4935, \text{ см}.$$

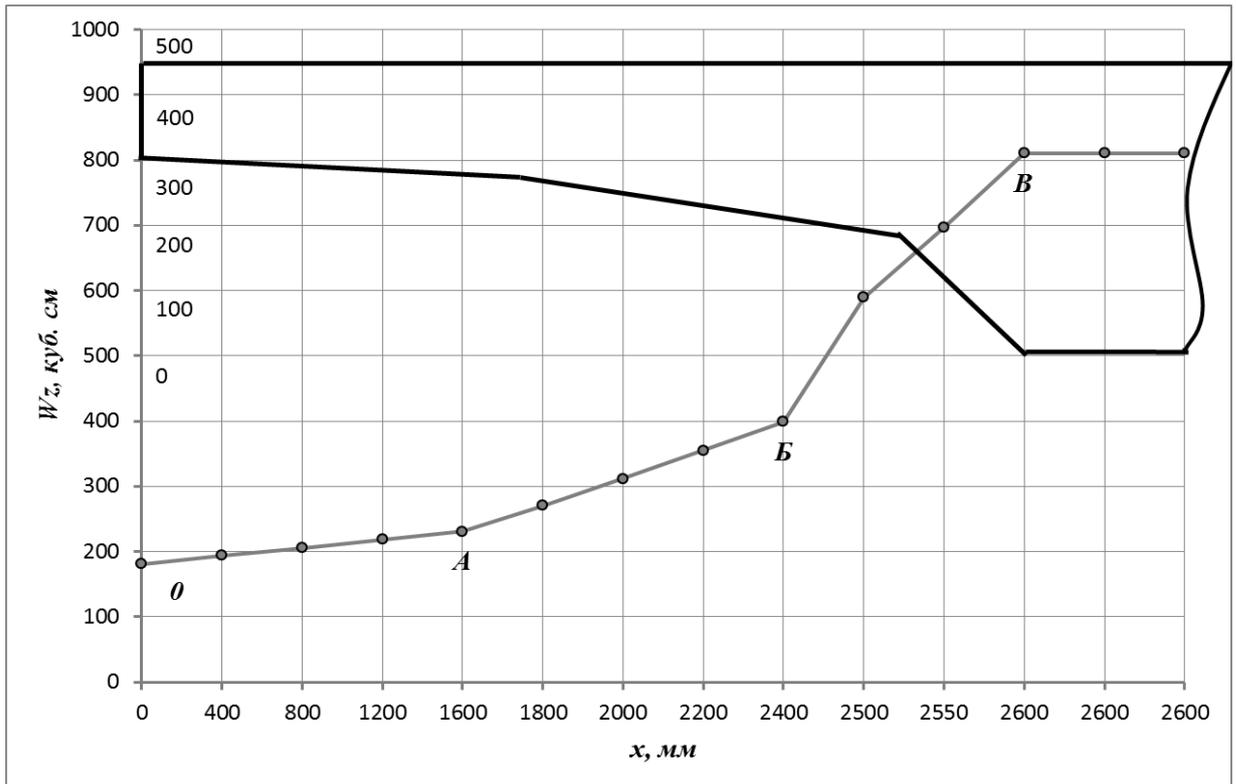


Рисунок 2.17 – Зависимость момента сопротивления  $W_z$  от расстояния до левого края рамы

Для дальнейшего решения задачи оптимизации размещения рулонов на раме рассмотрим базовый (существующий) вариант их размещения на полуприцепе и найдем наиболее нагруженные элементы переходной зоны (по максимальным напряжениям  $\sigma_{\max}$ ). Существующая схема размещения рулонов изображена на рис. 2.18.

Для предварительной оценки распределения изгибающих моментов  $M_z$  и максимальных напряжений вдоль балки (эпюр  $M_z$  и  $\sigma_{\max}$ ) положим, что  $P_1 = P_2 = P_3 = P$ .

Масса рулонов колеблется в пределах от 8 до 10 т. нагрузка, приходящаяся на одну балку, тогда составит от 4 до 5 т. Для определенности примем, что  $P = 5$  т.

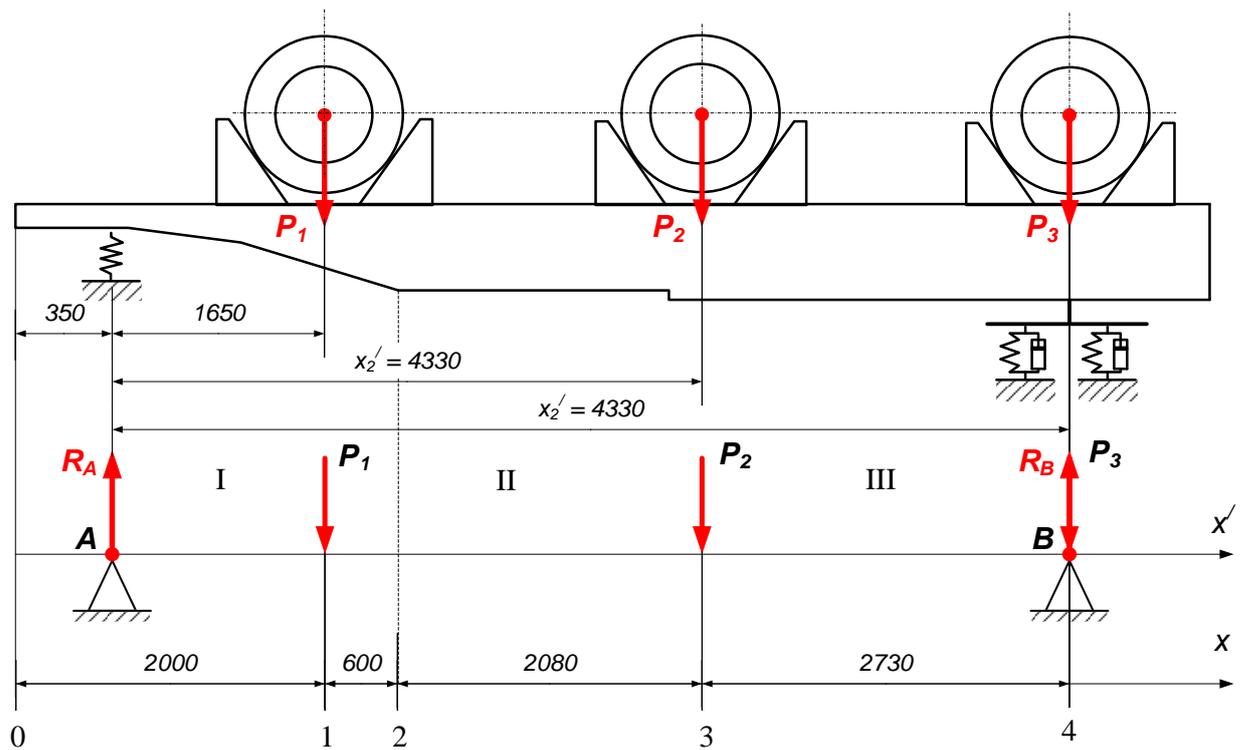


Рисунок 2.18 – Существующая схема размещения рулонов

Определим реакции опор  $A$  и  $B$  из уравнений моментов:

$$\sum M_A = R_B \cdot x'_3 - P_1 x'_1 - P_2 x'_2 - P_3 x'_3 = 0, \text{ откуда } R_B = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i x'_i}{x'_3} = \frac{P \sum x'_i}{x'_3}.$$

$$\sum M_B = R_A x'_3 - P_1 (x'_3 - x'_1) - P_2 (x'_3 - x'_2) = 0, \text{ откуда}$$

$$R_A = \frac{(P_1 + P_2) x'_3 - P_1 x'_1 - P_2 x'_2}{x'_3}.$$

Эшюра  $M_Z$  будет построена от левого конца балки

$$R_A = 2P - \frac{P(x'_1 + x'_2)}{x'_3}, \text{ подставив численные значения, получим:}$$

$$R_A = 2 \cdot 5 - \frac{5(1,65 + 4,33)}{7,06} = 57,6 \quad \text{т.} \quad \text{Переходя к кН, получим,}$$

$$R_A = 5,76 \cdot 10^3 \cdot 10 = 57,6 \text{ кН.}$$

На участке I:  $M_{Z_I} = 57,6x'$ , кН·м;

На участке II:  $M_{Z_{II}} = 7,6x' + 82,5$ , кН·м;

На участке III:  $M_{Z_{III}} = -42,4x' + 299$ , кН·м.

Координата  $x'$  выражается в метрах.

Эпюра изгибающих моментов  $M_Z$  вдоль балки представлена на рис. 2.19. В табл. 2.2 приведены результаты расчетов  $M_Z$  и  $\sigma_{\max}$  для переходной зоны.

На рис. 2.19 представлена также эпюра  $\sigma_{\max}$ . Видно, что  $\sigma_{\max}$  имеют максимум в окрестности переходной зоны. Локализация  $\sigma_{\max}$  в данном случае не принципиальна, хотя она близка к реальной области обнаружения дефектов рамы.

Следующим этапом исследования будет определение координат оптимального размещения рулонов на платформе. Оценка в первом приближении будет основана на системе уравнений (2.14) и том факте, что локализация дефектов и максимальные  $\sigma_{\max}$  находятся на участке I схем (рис. 2.13, 2.18, 2.19).

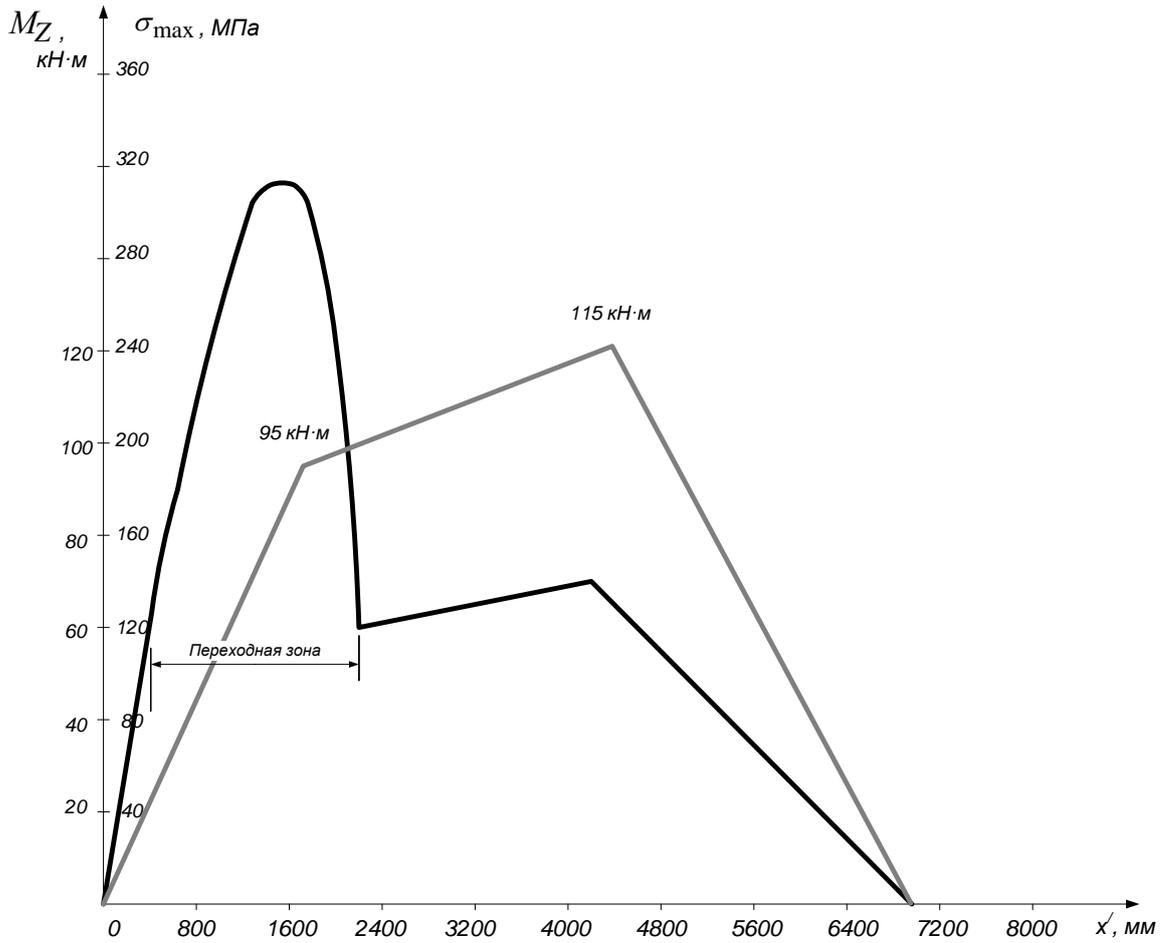


Рисунок 2.19 – Эпюры  $M_Z$  и  $\sigma_{\max}$

Примем опять, что  $P_1 = P_2 = P_3 = P$ . Тогда система уравнений имеет

ВИД:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_A = \left( 3 - \frac{\sum_{i=1}^3 x'_i}{a} \right) P, \\ R_B = \frac{\sum_{i=1}^3 x'_i}{a} \cdot P. \end{array} \right. , \quad (2.14)$$

Ограничивающие условия:  $R_A \leq [P_A]$  и  $R_B \leq [P_B]$ , где  $[P_A]$  и  $[P_B]$  - соответственно допускаемые нагрузки на оси полуприцепа.

Запишем следующие неравенства  $(3 - \frac{\sum x_i'}{a})P \leq [P_A]$ ;  $\frac{\sum x_i'}{a}P \leq [P_B]$ ,

откуда получаем  $3 - \frac{[P_A]}{P} \leq \frac{\sum x_i'}{a} \leq \frac{[P_B]}{P}$  - в этом интервале лежат оптимальные значения  $x_i'$ :  $x_1', x_2', x_3'$ . Оценим их следующим образом.

Нагрузка  $P$  лежит в интервале 4-5 т (при массе рулонов 8-10 т). Среднее значение примем 4,5 т. допускаемые нагрузки  $[P_A] = 5,5$  т;  $[P_B] = 8$  т (на всю раму соответственно 11 и 16 т).

Тогда получаем:  $3 - \frac{5,5}{4,5} \leq \frac{\sum x_i'}{a} \leq \frac{8}{4,5}$  или  $\frac{\sum x_i'}{a} \leq 1,77$ .

$$\sum x_i' = 1,77 \cdot a = 1,77 \cdot 7,06 = 12,5 \text{ м.}$$

В первом приближении примем, что  $x_1' = 0$ ;  $x_3' = 7,06$ , тогда  $0 + x_2' + 7,06 = 12,5$  м;  $x_2' = 5,44$  м – оптимальное положение среднего рулона на раме.

Если третий рулон передвинуть за заднюю ось – предельный сдвиг  $\sim 0,2$  м, то получим  $x_2' = 5,24$  м.

Далее приведены результаты компьютерного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS.

Напряженно-деформированное состояние переходной зоны («опасной зоны») при существующем размещении рулонов показано на рис. 2.20. Эпюра изгибающих моментов продольной несущей балки показана на рис. 2.21, эпюра напряжений, определенная как  $M_{изг}/W$ , на рис. 2.22.

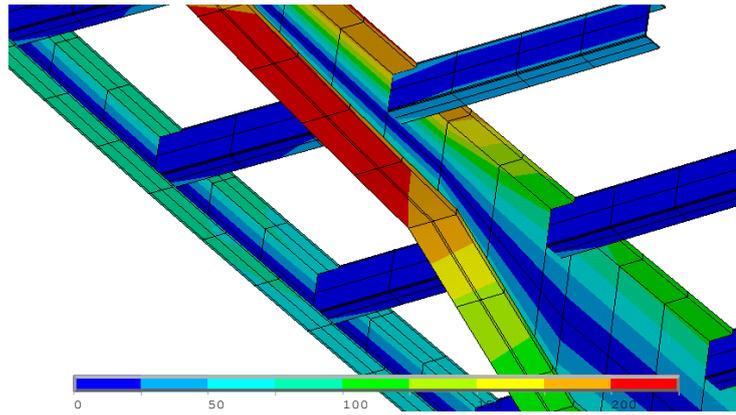


Рисунок 2.20 – Напряженно-деформированное состояние «опасной зоны»

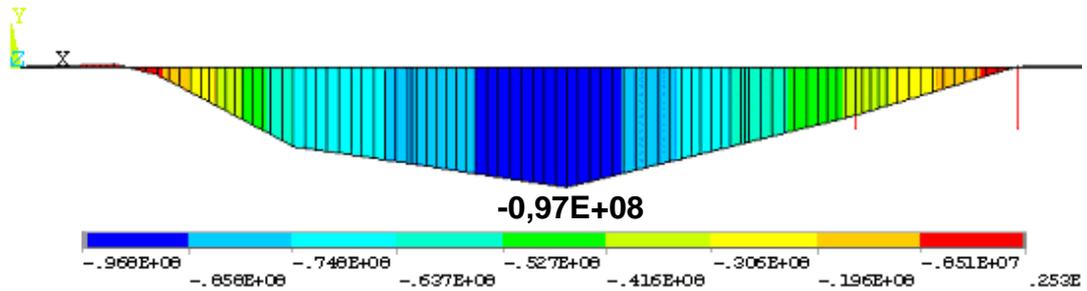


Рисунок 2.21 – Эпюра  $M$  продольной балки при существующем размещении рулонов

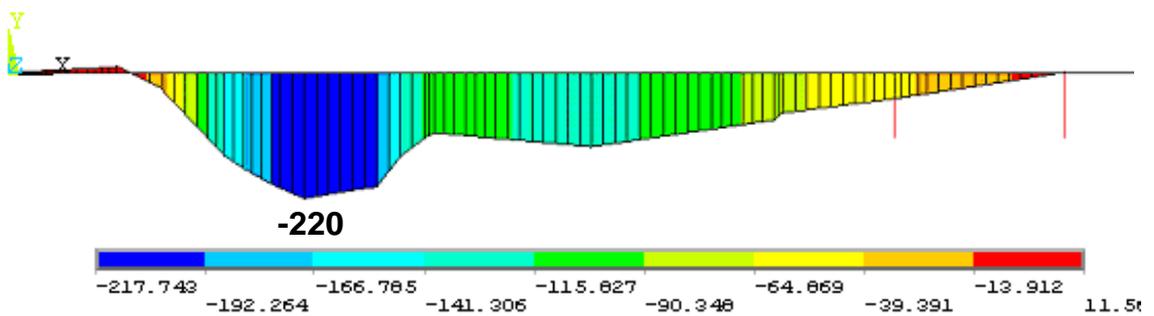


Рисунок 2.22 – Эпюра  $M_{u3z}/W$  продольной балки при существующем размещении рулонов

По результатам расчетов видно, что величина максимального момента в зоне опорно-сцепного устройства «рулоновозов» в 1,1 раз больше, чем у «слябовозов». В то же время, величина напряжения больше в 3 раза.

Расчеты показали, что при действии практически одинакового изгибающего момента в зоне опорно-сцепного устройства, в рамках полуприцепов-«рулоновозов» действуют значительно большие по величине напряжения, которые необходимо уменьшить.

## **2.3 Оптимизация схем погрузки металлопродукции повышенной массы**

### **2.3.1 Метод оптимизации**

Для определения оптимального расположения груза на полуприцепе принят метод циклического покоординатного спуска. Этот метод относится к многомерным задачам оптимизации.

Математическая постановка такой задачи в рамках настоящей работы следующая. Требуется найти такое размещение рулонов на платформе полуприцепа (координаты  $x_i$ ), чтобы максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  в «опасной зоне» рамы имели бы наименьшие значения.

В «опасной зоне» всегда наблюдается концентрация напряжений  $\sigma_{\max}$ . Это отмечают и натурные наблюдения и предварительные оценки, приведенные выше, которые регистрируют наличие различных поверхностных дефектов – трещин и концентрацию напряжений. Поэтому задача сводится к тому, чтобы выбрать такие координаты  $x_i'$  и нагрузки  $P_i$ , чтобы эта концентрация напряжений была минимальной из всех возможных (рис. 2.23).

Положение максимума  $\sigma_{\max}$  не является постоянным, оно смещается в зависимости от изменения координат  $x_i'$  и нагрузок  $P_i$ .

Поэтому в качестве целевой функции был выбран максимум функции  $\frac{M_Z}{W_Z}(P_1, P_2, P_3, x_1, x_2, x_3)_{\max}$ . Оптимизация в данном случае будет состоять в

том, чтобы найти такое значение  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}^{opt}$ , которое было бы самым

наименьшим среди всех  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}$ , из переходной зоны (рис. 2.23).

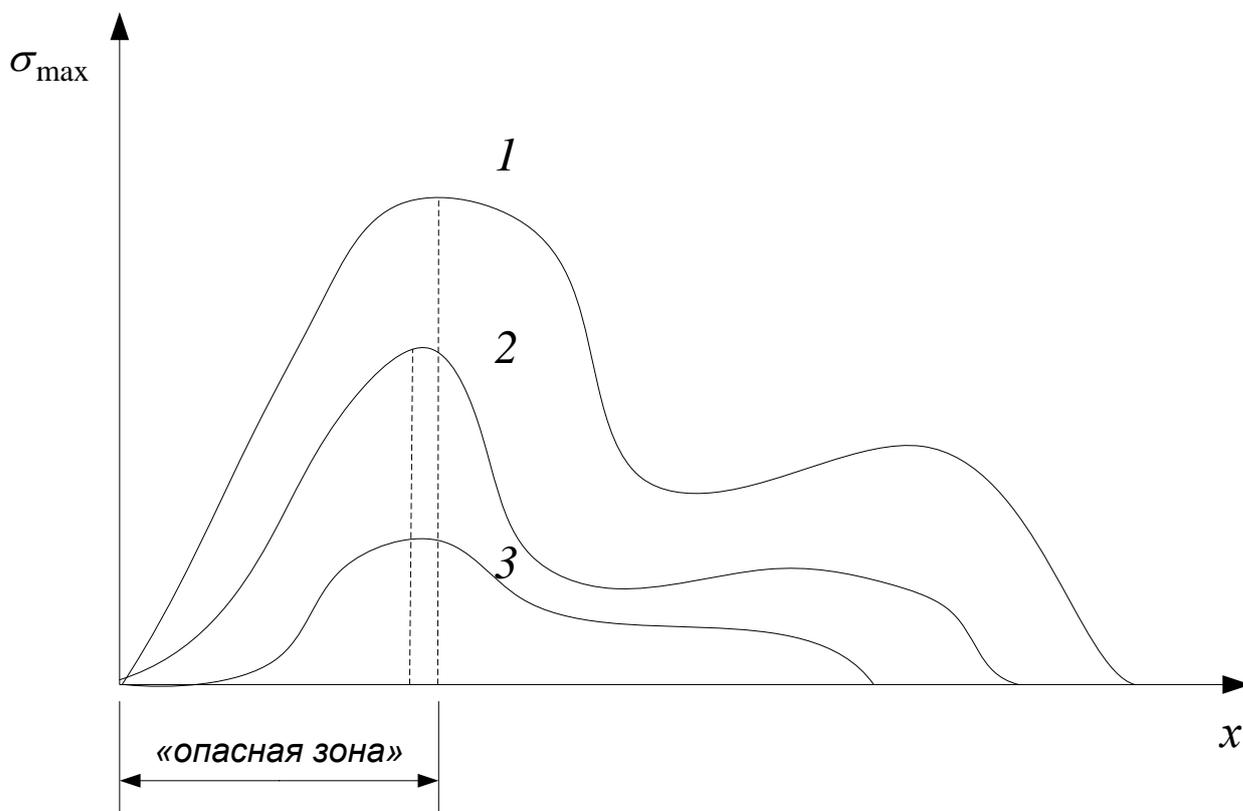


Рисунок 2.23 – Зона концентрации напряжений

### 2.3.2 Алгоритм оптимизации схемы размещения груза

В пространственном случае рама представляет из себя две балки, скрепленные поперечными стержнями. Поэтому задача является статически неопределимой, и функцию  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}$  трудно выразить аналитически.

Для оптимизационного исследования была использована конечно-элементная модель состоящая из балочных элементов BEAM 189 (рис. 2.11), которая создана с использованием программного комплекса ANSYS. С помощью данной программы выполнен расчет моментов и напряжений.

При расчете принимаем следующие допущения и ограничения:

1) Суммарная масса рулонов для обеспечения максимальной провозной способности имеет наибольшее значение и постоянна

$$\sum P = const . \quad (2.15)$$

2) Масса каждого из рулонов находится в определенных пределах

$$P_1 \in [P_{1\min} \dots P_{1\max}], P_2 \in [P_{2\min} \dots P_{2\max}], P_3 \in [P_{3\min} \dots P_{3\max}] \text{ или} \\ P_1 \in [8000 \text{ м} \dots 10000 \text{ м}], P_2 \in [8000 \text{ м} \dots 10000 \text{ м}], P_3 \in [8000 \text{ м} \dots 10000 \text{ м}]. \quad (2.16)$$

3) Положение каждого рулона принято конструктивно в соответствии с существующей схемой размещения

$$x_1 \in [x_{1\min} \dots x_{1\max}], x_2 \in [x_{2\min} \dots x_{2\max}], x_3 \in [x_{3\min} \dots x_{3\max}] \\ \text{или } x_1 \in [1 \text{ м} \dots 2,25 \text{ м}], x_2 \in [4 \text{ м} \dots 5,25 \text{ м}], x_3 \in [7 \text{ м} \dots 8,125 \text{ м}]. \quad (2.17)$$

4) Нагрузки на переднюю опору прицепа (седельное устройство тягача) и на оси прицепа не превышают допускаемых значений

$$R_A \leq R_{A \max}, R_B \leq R_{B \max}. \quad (2.18)$$

Для нашего случая  $R_{A \max} = 110$  кН;  $R_{B \max} = 160$  кН.

Таким образом, мы имеем целевую функцию  $\frac{M_Z}{W_Z}$ , зависящую от шести варьируемых параметров, а выражения (2.16), (2.17), (2.18) определяют область, в которой находятся значения нескольких параметров.

Алгоритм поиска оптимальных значений  $P_{1opt}, P_{2opt}, P_{3opt}, x_{1opt}, x_{2opt}, x_{3opt}$  сводится к следующему.

Выбирается начальная точка с координатами  $M_0 = (P_1^0, P_2^0, P_3^0, x_1^0, x_2^0, x_3^0)$  и строится эпюра  $\frac{M_Z}{W_Z}(M^0)$  в переходной зоне.

Далее все переменные фиксируются, кроме первой и мы получаем функцию одной переменной  $P_1$ . Изменяя пошагово переменную  $P_1$ , определяют снова

эпюру  $\frac{M_Z}{W_Z}(P_1^0, P_2^0, P_3^0, x_1^0, x_2^0, x_3^0)$  и максимум  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}^1$  в переходной

зоне. Затем сравнивают этот максимум с предыдущим. Если

$\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}^1 < \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}^0$ , то снова изменяют  $P_1$ :  $P_1 + 2\Delta P_1$  и повторяют

процедуру определения  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}$ , до тех пор, пока эта функция не примет

минимальное значение при  $P_1^1$ , после которого она начинает возрастать.

Точку с координатами  $(P_1^1, P_2^0, P_3^0, x_1^0, x_2^0, x_3^0)$  обозначим через  $M^1$ , при этом

$$\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^0) \geq \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^1).$$

Фиксируем переменные  $(P_1^1, P_3^0, x_1^0, x_2^0, x_3^0)$  и повторяем процедуру определения функции  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}$  уже как зависящую от одной переменной  $P_2$ . Изменяя  $P_2$  пошагово будем опять двигаться от начального значения  $P_2^0$  в сторону убывания  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max}$ , пока не дойдем до минимума при  $P_2^1$ . Точку с координатами  $(P_1^1, P_2^1, P_3^0, x_1^0, x_2^0, x_3^0)$  обозначим через  $M^2$ , при этом  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^1) \geq \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^2)$ .

Проведем такую же минимизацию целевой функции по переменным  $P_3, x_1, x_2, x_3$ . Дойдя до переменной  $x_3$ , снова возвращаемся к  $P_1$  и продолжим процесс. Далее строим последовательность точек  $M^0, M^1, M^2, \dots$ , которой будет соответствовать значения функции  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^0) \geq \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^1) \geq \dots$

Условием прекращения вычислительной процедуры служит неравенство:

$$\left| \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^{k+1}) - \left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^k) \right| \leq \varepsilon, \quad (2.19)$$

где  $\varepsilon$  - точность определения функции. В нашем случае  $\varepsilon = 1$  МПа,  $\Delta P = 200$  кг,  $\Delta x_1 = 0,08$  м,  $\Delta x_2 = 0,09$  м,  $\Delta x_3 = 0,08$  м.

Это значение функции  $\left(\frac{M_Z}{W_Z}\right)_{\max} \cdot (M^k)$  и принимаем за наименьшее в рассматриваемой области изменения параметров  $P_1, P_2, P_3, x_1, x_2, x_3$ .

Приняты следующие шаги изменения этих величин:  $\Delta P = 200$  кг,  $\Delta x_1 = 0,08$  м,  $\Delta x_2 = 0,09$  м,  $\Delta x_3 = 0,08$  м.

Для расчета оптимальных координат положения рулонов была написана программа на языке макрокоманд APDL, реализующая прогонку положения рулонов.

Результаты расчетов, выполненные программой, представлены в табл. 2.3.

В этой таблице приняты следующие обозначения:

$M/W_1, M/W_2, M/W_3, M/W_4, M/W_5$  – напряжения в наиболее нагруженных элементах переходной зоны;

$R_1, R_2$  – нагрузка на переднюю ось и тележку полуприцепа.

Для данной задачи количества вариаций координат каждой из нагрузок составляют  $n_1 = 15, n_2 = 14, n_3 = 14$ . Общее число циклов прогонки

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 15 \cdot 14 \cdot 14 = 2940.$$

Выбрав в полученной таблице строку с наименьшими значениями изгибающих моментов и величинами  $R_1$  и  $R_2$ , не превышающими допускаемых значений, получим координаты  $x_1, x_2, x_3$  оптимального расположения рулонов (табл. 2.3)

Блок-схема алгоритма оптимизации приведена в приложении В.

После того, как получено оптимальное расположение рулонов (рис. 2.24) на основе многомерной оптимизации пространственной задачи, построена эпюра моментов и напряжений, используя плоскую модель одной балки (рис. 2.25).

Таблица 2.3 - Значения координат положения рулонов, напряжений и нагрузок

№ п/п	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$M/W_1$	$M/W_2$	$M/W_3$	$M/W_4$	$M/W_5$	$R_1$	$R_2$
1	1	1	1	1077	4005	7030	93	100	106	111	115	62	57
2	2	1	1	1175	4005	7030	104	110	115	119	122	62	57
3	2	1	1	1263	4005	7030	114	119	123	126	129	61	58
4	4	1	1	1352	4005	7030	124	12	13	13	13	61	58
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	1650	4330	7060	44	46	48	50	52	49	70

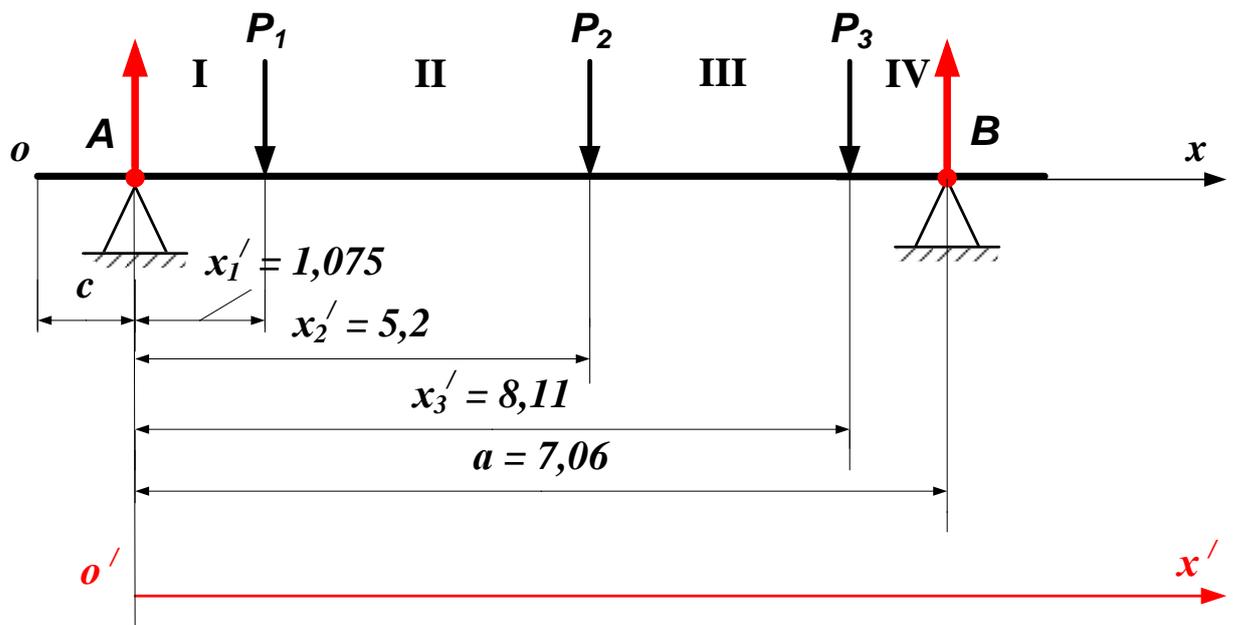


Рисунок 2.24 – Расчетная схема после оптимизации

Прежде всего, найдем реакции опор из уравнений моментов:

$$\sum M_A = 0 \text{ и } \sum M_B = 0.$$

Из уравнения  $\sum M_A = 0$  находим:

$$\sum M_A = R_B \cdot a - P_1 \cdot x_1' - P_2 \cdot x_2' - P_3 \cdot x_3' = 0.$$

$$\text{Реакция будет равна } R_B = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i \cdot x_i'.$$

Из уравнения  $\sum M_B = 0$  находим:

$$\sum M_B = R_A \cdot a - P_1 \cdot (a - x_1') - P_2 \cdot (a - x_2') + P_3 \cdot (a - x_3') = 0.$$

Откуда реакция равна  $R_A = \sum_{i=1}^3 P_i - \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i \cdot x_i'$ .

Как в случае с базовым вариантом, положим, что  $P_1 = P_2 = P_3 = P$ .

Примем, что  $P = 5000$  кг для плоского случая одной балки.

Тогда  $R_A = 15000 - \frac{1}{7,06} \cdot 5(1,075 + 5,2 + 8,11) = 4800$  кг,

$R_B = 10200$  кг.

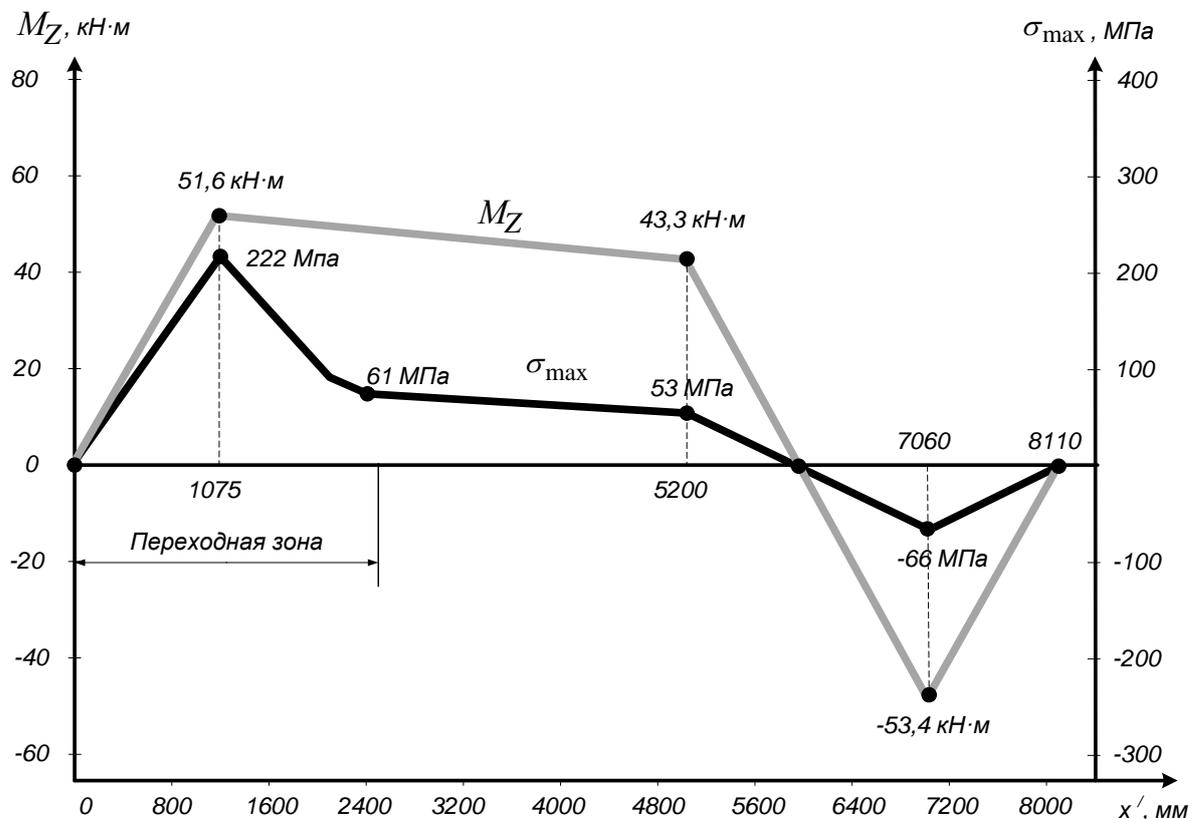


Рисунок 2.25 - Эпюра моментов и напряжений продольной балки после оптимизации схемы размещения груза

Запишем уравнения изгибающих моментов  $M_Z$  для каждого из участков балки:

для участка I:  $M_Z = 48 \cdot x'$ , кН·м;

для участка II:  $M_Z = 48 \cdot x' - 50(x' - 1,075) = -2x' + 53,75$ , кН•м;

для участка III:

$M_Z = 48 \cdot x' - 50(x' - 1,075) - 50(x' - 5,2) = -52 \cdot x' + 313,75$ , кН•м;

для участка IV:

$M_Z = 48 \cdot x' - 50(x' - 1,075) = -50(x' - 5,2) + 102(x' - 7,06) = 50 \cdot x' - 406,37$ ,  
кН•м.

### 2.3.3 Модель оптимизации схемы размещения груза

По результатам исследования математическая модель оптимизации размещения нескольких единиц груза на платформе представлена в следующем виде:

$$\sigma_{\max}(x') = \frac{M_Z(x')}{W_Z(x' + c)}; \quad \begin{cases} R_A = \sum_{i=1}^3 P_i - \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i, \\ R_B = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^3 P_i x_i. \end{cases}, \quad (4)$$

где  $c$  - расстояние от переднего конца балки до оси седельно-цепного устройства, кН.

Формулы для определения значений  $M_Z$  и  $W_Z$  приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 - Формулы для определения значений  $M_Z$  и  $W_Z$ 

Значение изгибающего момента по участкам балки, Н·м:		Значение момента сопротивления сечения по участкам балки, см <sup>3</sup> :	
I	$M_Z = R_A x'$	ОА	$W_Z = 0,031x + 181$
II	$M_Z = (R_A - P_1)x' + P_1 x'_1$	АБ	$W_Z = 0,213x - 113$
III	$M_Z = (R_A - P_1 - P_2)x' + P_1 x'_1 + P_2 x'_2$	БВ	$W_Z = 2,21x - 4935$
IV	$M_Z = (R_A - \sum_1^3 P_i)x' + \sum_1^3 P_i x'_i$	$x > B$	$W_Z = 811$

### 2.3.4 Верификация полученных данных

Для проверки правильности нахождения оптимальных координат размещения грузов, выполним проверочный расчет с использованием программного комплекса ANSYS и встроенной в него программы на языке макрокоманд APDL. Результаты расчетов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Значения координат оптимального положения рулонов и соответствующие им значения напряжений

№ п/п	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$M/W_1$	$M/W_2$	$M/W_3$	$M/W_4$	$M/W_5$	$R_1$	$R_2$
2926	1	14	14	107 7	519 6	8110	44	46	48	50	52	49	70

Эпюра  $M$ , для найденного оптимального значения размещения рулонов приведена на рис. 2.26, а эпюра  $M_{изг}/W$  на рис. 2.27.

Из представленных результатов видно, что оптимально разместив рулоны на полуприцепе, можно в  $n = 217/52 = 4,2$  раза снизить напряжение в «опасной зоне».

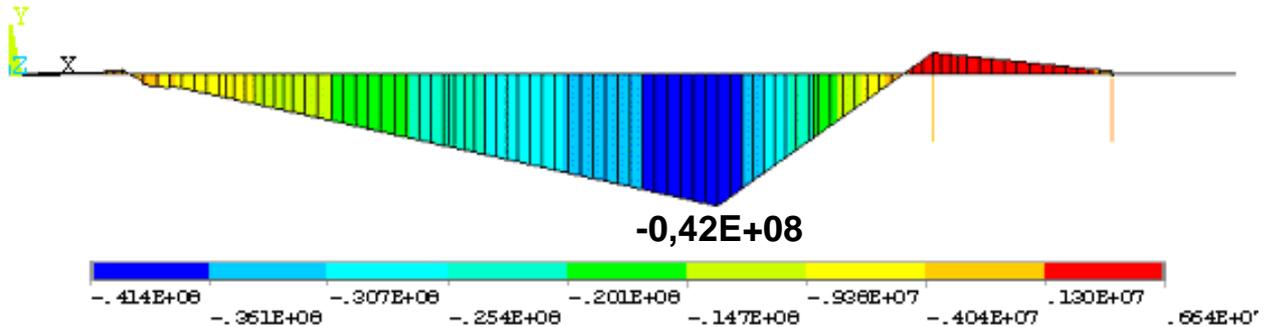


Рисунок 2.26 – Эпюра  $M$  продольной балки при оптимальном размещении рулонов

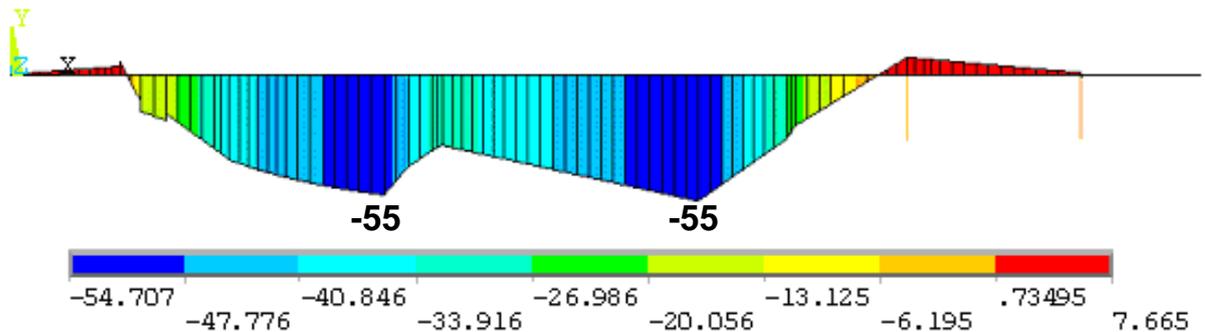


Рисунок 2.27 – Эпюра  $M_{изг}/W$  продольной балки при оптимальном размещении рулонов

На рис. 2.28 представлены схемы существующего и оптимизированного размещения рулонов.

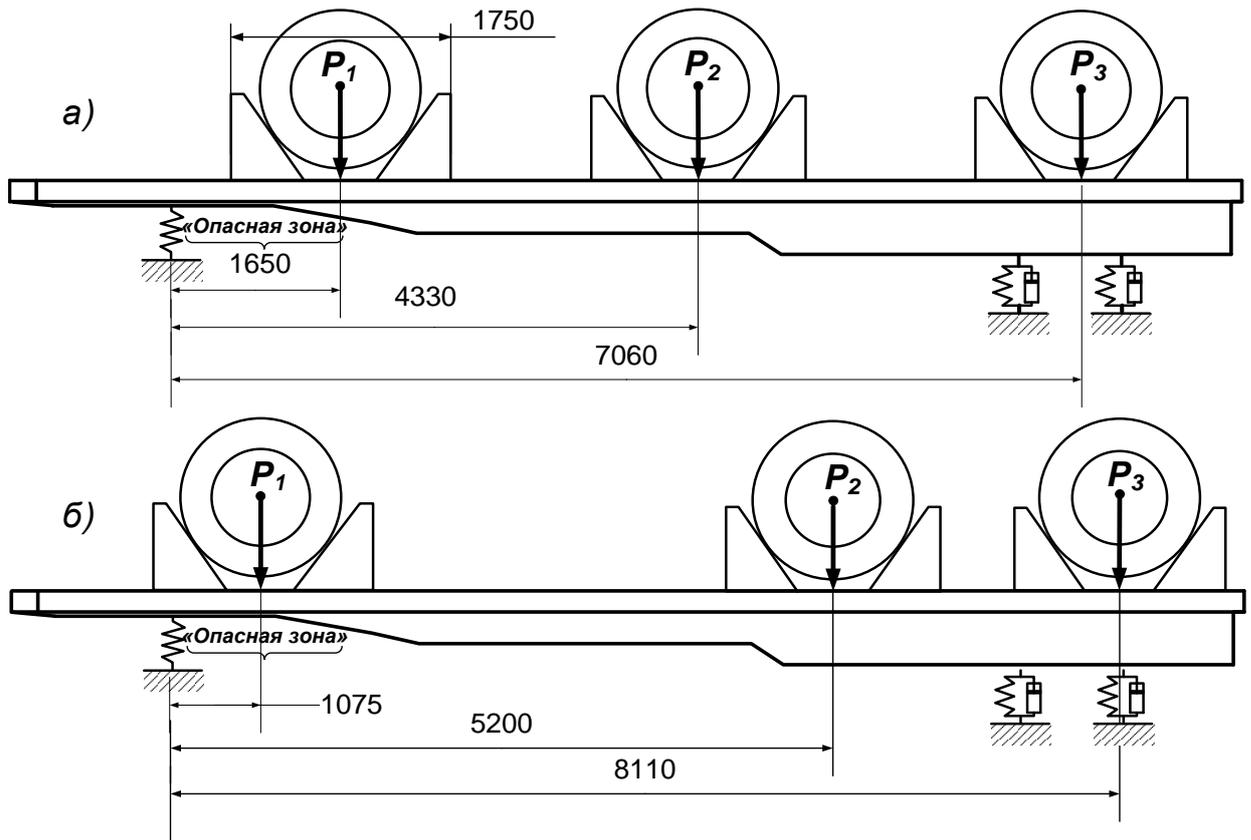


Рисунок 2.28 – Схемы размещения рулонов: *а* – существующая; *б* – оптимизированная

## 2.4 Выводы по разделу 2

Проведен анализ отказов, габаритно-весовых параметров металлопродукции и конструктивных особенностей несущей системы автопоездов. Установлено, местом концентрации отказов является участок зоны опорно-сцепного устройства тягачей и полуприцепов, где наблюдается максимальный уровень статических нагрузок (напряжений).

Расчеты величин статических нагрузок в несущих системах автопоездов подтвердили, что наиболее нагруженным участком является зона опорно-сцепного устройства с переменным сечением лонжерона и показали, что величина напряжений у автопоездов-«рулоновозов» в 3 раза больше, чем у «слябовозов».

Уменьшение статических нагрузок в рассматриваемой зоне впервые выполнено многомерной оптимизацией размещения груза с применением метода циклического покоординатного спуска на основе разработанных модели и алгоритма.

С использованием данного метода рассчитана схема оптимального размещения стальных рулонов на платформе полуприцепа, для которой характерно значительное уменьшение величины изгибающего момента (в 2,3 раза) и напряжения (в 4,2 раза).

Разработанные модель и алгоритм оптимизации приняты в основу инженерной методики для расчета схем размещения груза.

### РАЗДЕЛ 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ, ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЕ АВТОПОЕЗДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

### 3.1 Характеристика условий автомобильных перевозок металлопродукции

**Классификация условий.** Условия, при которых осуществляются автомобильные перевозки экспортной металлопродукции, обусловлены габаритными и весовыми параметрами груза, условиями и технологией выполнения грузовых операций, конструктивными особенностями подвижного состава, особенностями существующей маршрутной сети автодорог, местоположением пунктов погрузки и выгрузки, режимом движения (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Классификация условий перевозок экспортной металлопродукции

Ниже дана общая характеристика эксплуатационным факторам.

**Параметры и свойства груза.** Анализ номенклатуры экспортной металлопродукции показал, что груз характеризуется рядом специфических

свойств: значительной массой одной грузовой единицы, различными габаритными размерами, повышенной температурой, большим объемным весом, разным сортаментом и др. Всю металлопродукцию по виду создаваемой нагрузки на подвижной состав, условно можно разделить на 2 группы:

- металлопродукция, которая создает дискретную сосредоточенную нагрузку;
- металлопродукция, которая создает равномерно распределенную нагрузку.

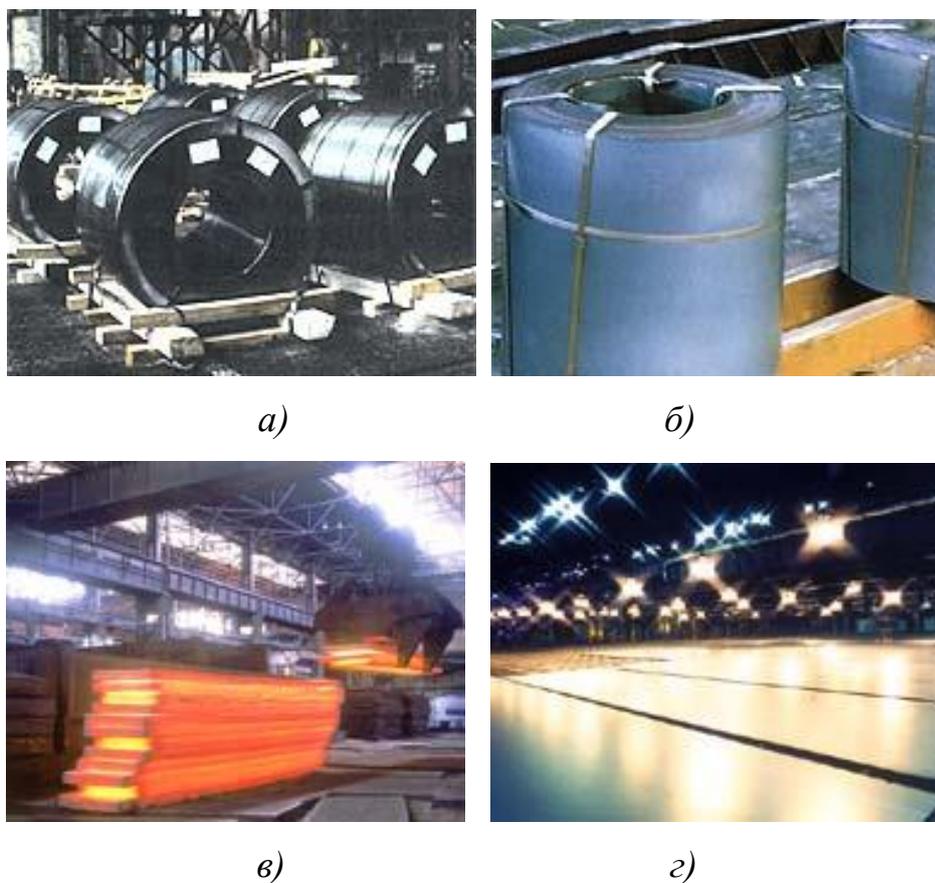


Рисунок 3.2 - Экспортная металлопродукция: а) горячекатаный прокат в рулонах; б) холоднокатаный прокат в рулонах; в) литая и катаная заготовка (товарные слябы); г) толстолистовой прокат

К первой группе относятся стальные горяче- и холоднокатаные рулоны (рис. 3.2, а и б), пачки тонколистового проката, ко второй группе - толстый лист, товарные слябы, квадратная заготовка (рис. 3.2 в и г).

Масса стального рулона в зависимости от марки стали может достигать 10 т, пачек холоднокатаного листа – 8 т, пачек горячекатаного листа и квадратных заготовок – 30 т, слябов – 30 т и более. В табл. 3.1 приведены основные весовые и габаритные параметры металлопродукции, перевозимой автотранспортом.

Таблица 3.1 – Характеристика основных параметров металлопродукции

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Масса стального рулона, т	
	- горячекатаной стали	7-10
	- холоднокатаной стали	5-7
2.	Масса пачки холоднокатаных листов, т	6-8
3	Масса грузов, создаваемых равномерно распределенную нагрузку, т	
	- слябы товарные	25-32
	- квадратная заготовка	26-30
	- толстый лист	25-30
4.	Максимальная длина грузов, создаваемых равномерно распределенную нагрузку, мм	8000
5.	Максимальная высота погрузки грузов, создаваемых равномерно распределенную нагрузку, мм	1500
6.	Максимальная высота погрузки грузов, создаваемых сосредоточенную нагрузку, мм	1700
7.	Максимальный диаметр горячекатаных рулонов, мм	1700
8.	Максимальный диаметр холоднокатаных рулонов, мм	1600

Номенклатура, свойства и параметры металлопродукции определяются требованиями потребителей. В перспективе основные характеристики металлопродукции существенно изменяться не будут.

**Условия и технология выполнения грузовых операций.** Технологические операции при проведении погрузочно-разгрузочных работ с металлопродукцией производятся непосредственно в прокатных цехах, на

складах комбинатов и портовых причалах. Так, погрузочные операции в местах отгрузки выполняются имеющимися средствами - общепроизводственными кранами, которые по техническим параметрам и типу грузозахватных устройств, в большинстве случаев, не предназначены для работы с автотранспортом. Выгрузка металлопродукции также осуществляется перегрузочными машинами и механизмами, которыми оснащен порт. В табл. 3.2 приведены некоторые параметры погрузочно-разгрузочных средств и характеристики условий выполнения грузовых работ.

Таблица 3.2 – Характеристика технологии и условий выполнения грузовых операций

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Отгрузка металлопродукции на комбинате:	
	– основной тип погрузочных средств	мостовой кран
	– тип грузозахватного устройства	скоба, магнитная шайба, клещевой захват
	– грузоподъемность, т	до 32
	– число циклов погрузки	1-3
	– продолжительность цикла погрузки,	1-2
2.	Выгрузка металлопродукции в порту:	
	– основной тип погрузочных средств	портальные краны, автопогрузчики
	– грузоподъемность портального крана,	до 50
	– грузоподъемность автопогрузчика, т	до 42
	– тип грузозахватного устройства	стропы, вилочный захват
	– число циклов выгрузки	1-3
	– продолжительность цикла выгрузки,	2-4
3.	Высота подъема груза, м	до 5

Анализ условий выполнения грузовых операций и данных, приведенных в табл. 3.2 показал, что отсутствие специализированных погрузочно-разгрузочных средств, машин и механизмов, малое число циклов погрузки-выгрузки (1-3) из-за значительной массы единицы груза (5–30 т), способствует возникновению повышенных нагрузок на подвижной состав. Кроме того, имеются данные о возникновении аварийных нагрузок, в несколько раз превышающих предельные значения. Примерами таких нагрузок является резкое опускание груза с высоты на грузовую платформу или боковой удар грузозахватным устройством о подвижной состав.

Уменьшения нагрузок на подвижной состав можно достигнуть путем отработки режимов и строгого соблюдения правил выполнения грузовых операций. Для этого необходимо привлечение высококвалифицированного персонала и усиление контроля, с целью соблюдения нормативных требований.

Другим путем уменьшения нагрузок при выполнении грузовых операций является приобретение специализированных погрузочно-разгрузочных средств, машин и механизмов, а также модернизация существующей техники. Расходование дополнительных средств на осуществление указанных мероприятий не планируется.

**Конструктивные особенности подвижного состава.** При перевозках металлопродукции базовым предприятием, задействован собственный подвижной состав, находящийся у него на балансе. На рис. 3.3 показан общий вид используемых на перевозках металлопродукции автомобильных поездов («металловозов»). Технические параметры автопоездов базового предприятия приведены в приложении А.

Ряд металлургических предприятий осуществляет вывоз металлопродукции и доставку ее в порт с привлечением сторонних автотранспортных организаций различных форм собственности.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.3 – Общий вид некоторых автопоездов-«металловозов»:

*а* - тягач КАМАЗ-54115 с полуприцепом ОДАЗ-9370; *б* - тягач МАЗ-642208 с полуприцепом МТМ-93301; *в* - тягач МАЗ-643008 с полуприцепом МАЗ-938660; *г* - тягач SCANIA P380LA6x4NHZ с полуприцепом ВАРЗ-9996

На рассматриваемых грузопотоках используется разнотипный и разномарочный подвижной состав производства стран СНГ, ряда Европейских стран и даже Северной Америки - 2-х и 3-х осные седельные тягачи капотной и бескапотной компоновки марок МАЗ, КамАЗ, МАЗ-МАН, MAN, SCANIA, DAF, Mercedes-Benz, IVECO, VOLVO, Renault, Peterbilt, MACK, Freightliner и др. (рис. 3.4); 2-х и 3-х осные полуприцепы-платформы марок МАЗ, МТМ, НЕФАЗ, СЗАП, ОДАЗ, ВАРЗ, ТОНАР, Faymonville, Schmitz, Grunwald, Krone, Wielton, Koegel и др. (рис. 3.5).



Рисунок 3.4 – Седелные тягачи: *а* – 3-х осный тяжелый седельный тягач капотной компоновки; *б* - 3-х осный седельный тягач бескапотной компоновки; *в* - 2-х осный седельный тягач капотной компоновки

Некоторые технические параметры подвижного состава для перевозки металлопродукции приведены в приложении В.



Рисунок 3.5 – Полуприцепы, используемые для перевозки металлопродукции: *а*) – бортовая платформа; *б*) - платформа без бортов

Подвижной состав базового предприятия для перевозки горячекатаной рулонной стали, представляет собой автомобильные поезда, состоящие из седельных тягачей (КамАЗ-54115, МАЗ-642208 и –643008, SCANIA-P380LA6x4HHZ) и полуприцепов общего назначения (ОдАЗ-9370, МТМ-93301, МАЗ-938660), а также специализированного типа – «рулоновозы» (ВАРЗ-9996 и –9995) (рис. 3.3 и 3.6). Автомобильные поезда с седельными тягачами КамАЗ способны перевозить одновременно 2 рулона (рис. 3.6, *а*). Составы транспортных средств с седельными тягачами МАЗ и SCANIA

осуществляют перевозку сразу 3 рулонов (рис. 3.6, б, в). На бортовые полуприцепы общего назначения под рулон устанавливают специальную металлическую подставку (ложемент) массой около 1 т (рис. 3.6, а, в). При использовании специализированного подвижного состава (SCANIA P380LA6x4HHZ с полуприцепом ВАРЗ-9995 или -9996) груз укладывается на специально предусмотренные конструкцией грузовые места (рис. 3.6, б, в, г).

Для перевозки толстого листа и товарных слябов используются специализированные автомобильные поезда – «листовозы» и «слябовозы», состоящие из седельных тягачей МАЗ-642208, SCANIA- P380LA6x4HHZ и специализированных полуприцепов ВАРЗ-9997 (рис. 3.6, д, е).

Седельные тягачи МАЗ и КамАЗ имеют колесную формулу 6×4 и оснащены дизельными 8-цилиндровыми двигателями, многоступенчатой механической трансмиссией (число передач 8-10), передней и задней зависимой рессорной или рессорно-балансирной подвеской с гидравлическими амортизаторами, стандартной рамой. Седельные тягачи SCANIA оснащены 6-цилиндровыми дизельными двигателями, 9-ти ступенчатой трансмиссией с колесной формулой 6×4, рессорной подвеской и усиленной рамой.

Полуприцепы общего назначения ОдаЗ, МАЗ имеют 2 оси, а полуприцепы МТМ – 3 оси со сдвоенными шинами. Ходовая часть и платформа этих полуприцепов имеет стандартную комплектацию для работы в нормальных условиях и перевозок обычных грузов. Специализированные полуприцепы ВАРЗ предназначены для перевозок металлопродукции. Их конструкция включает усиленную раму, специальную платформу, пневматическую подвеску, 2-х осную тележку с одинарными или сдвоенными шинами.

Как показал опыт эксплуатации и анализ данных по отказам, автопоезда недостаточно приспособлены к перевозкам металлопродукции. Конструкция несущей системы тягачей и прицепов имеет недостаточный запас прочности для нагрузок, действующих на подвижной состав от перевозимого груза. По

данной причине комбинатом были приобретены седельные тягачи SCANIA с усиленной рамой и специализированные полуприцепы ВАРЗ (рис. 3.6, з, д, е). Но и на этом подвижном составе за первые полгода эксплуатации возникли отказы в несущей системе.

**Схема размещения груза на подвижном составе.** Схемы размещения металлопродукции на подвижном составе обусловлены габаритными размерами и параметрами массы груза (табл. 3.1), а также особенностями конструкции полуприцепов (рис. 3.6).

Вертикальные координаты размещения груза определяются высотой груза, погрузочной высотой и высотой подставки под груз (ложемента) для грузов, создающих сосредоточенную нагрузку.

Горизонтальные координаты размещения груза определяются длиной грузовой платформы и груза, положением груза (ложемента) на платформе по отношению к оси седельно-сцепного устройства либо оси тележки полуприцепа. Основные параметры схем размещения груза (координат центров тяжести) приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Значения координат центров тяжести различной металлопродукции (усредненные значения)

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Грузы, создающие равномерно-распределенную нагрузку:	
	– высота центра тяжести груза по отношению к поверхности грузовой платформы, мм	200
	– расстояние от оси седельно-сцепного устройства до центра тяжести груза, мм	4500
2.	Грузы, создающие сосредоточенную нагрузку:	
	– высота центра тяжести груза по отношению к поверхности грузовой платформы, мм	1000
	– расстояние от оси седельно-сцепного устройства до центра тяжести груза, мм	350, 3100, 5700*

\*Приведены расстояния от седельно-сцепного устройства до центра тяжести каждого из трех стальных рулонов

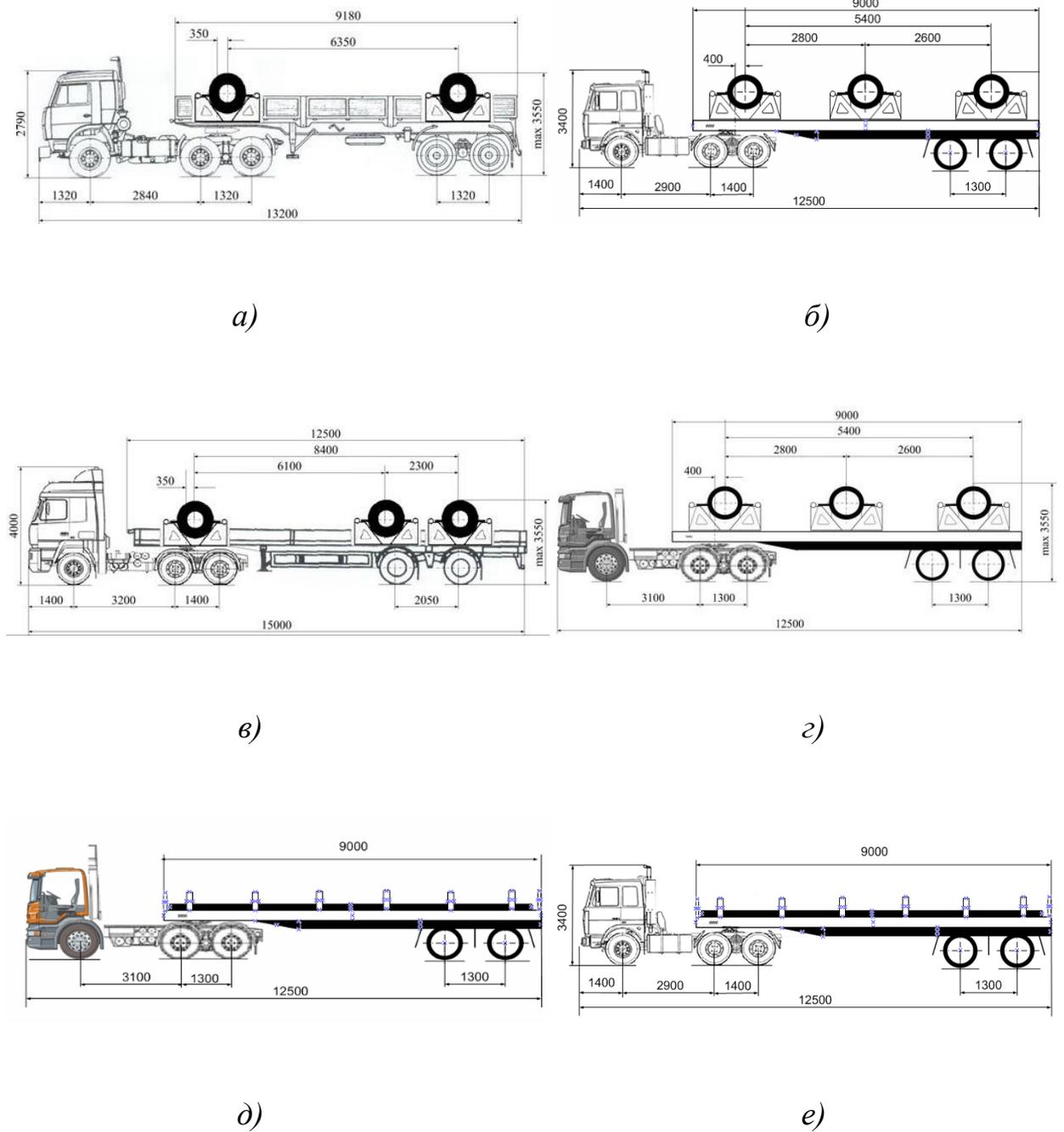


Рисунок 3.6 - Размещение груза и габаритные размеры подвижного состава:  
 а - автопоезд КамАЗ-54115 с полуприцепом ОдАЗ-9370; б - автопоезд МАЗ-642208 с полуприцепом ВАРЗ-9996; в - автопоезд МАЗ-643008 с полуприцепом МАЗ-938660; г - автопоезд SCANIA P380LA6x4HHZ с полуприцепом ВАРЗ-9995 или -9996; д – автопоезд МАЗ-642208 с полуприцепом ВАРЗ-9997; е - автопоезд SCANIA P380LA6x4HHZ с полуприцепом ВАРЗ-9997

Как показал анализ опыта эксплуатации автопоездов, наиболее сложной является перевозка металлопродукции, которая создает дискретную сосредоточенную нагрузку на грузовую платформу подвижного состава (перевозка стальных рулонов, рис. 3.6 *а-г*).

Положение рулонов и значения координат их геометрических центров тяжести оказывает существенное влияние на величину нагрузок в несущей системе автопоездов. Существующая схема размещения груза определена заводом-изготовителем из условия соблюдения нагрузок на оси подвижного состава.

В несущей системе полуприцепов (рис. 3.6), устанавливаются рамы лестничного типа, которые имеют лонжероны с переменным сечением. Наименьшее значение высоты профиля лонжерона рамы в передней части, наибольшее – в задней. Наличие седельно-сцепного устройства у полуприцепов данного типа требует различной высоты профиля лонжеронов.

На рис. 3.6, *б* и *г* показан основной тип подвижного состава для перевозки стальных рулонов. На данной схеме видно, что груз равноудаленно размещен друг от друга, оси переднего и заднего рулонов почти совпадают с осями седельно-сцепного устройства и задней тележки.

Такая схема обеспечивает одинаковую по величине нагрузку на всей длине рамы. Однако, разность высоты сечения лонжеронов обеспечивает существенную разницу величин напряжений и деформаций в передней и задней частях рамы.

Приведенные рассуждения подтверждаются данными по эксплуатационным отказам автопоездов.

Очевидно, что уменьшения величины напряжений и деформаций, а следовательно, и числа отказов в несущей системе, можно добиться путем изменения значений горизонтальных координат размещения рулонов (перестановки ложементов). Осуществление подобных мероприятий предусмотрено конструкцией полуприцепов, может быть выполнено с

минимальными трудовыми затратами и практически не требует материальных затрат.

**Дорожные условия.** Местоположение грузообразующего и грузопоглощающего пунктов (металлургического комбината и порта), а также существующая сеть автомобильных дорог определяют маршруты транспортирования экспортной металлопродукции. На рис. 3.7 показан маршрут транспортирования металлопродукции с базового предприятия в порт.

Маршрут перевозки проходит по улично-дорожной сети через три городских района и характеризуется сложным планом и профилем трассы. На пути следования имеются светофорные объекты, кривые, в том числе малого радиуса, места, требующие полной остановки, участки дорог с уклонами, неровностями и значительным износом дорожного полотна (табл. 3.4). За последние годы состояние дорожного полотна городских улиц и дорог значительно ухудшилось в связи с увеличением объемов внешних автомобильных перевозок металлопродукции. Кроме того, дорожные условия и дорожная обстановка на маршрутах движения большегрузных автопоездов существенно ухудшаются под действием природно-климатических условий в зимний и летний периоды.

В аналогичных условиях (по такому же маршруту) осуществляются автотранспортные перевозки металлопродукции и другими металлургическими предприятиями Донбасса и Украины.

Улучшение дорожных условий путем реконструкции существующей сети автомобильных дорог или изменением маршрутов движения связано с большими объемами дорожных работ и значительными капиталовложениями. Проектные, строительные, ремонтные и другие работы для осуществления указанных мероприятий требуют значительных материальных затрат, поэтому, в ближайшие годы существенного улучшения дорожных условий не ожидается. Разработка мероприятий по совершенствованию дорожных условий не имеет научной и практической



Таблица 3.4 - Характеристика дорожных условий на маршруте перевозки металлопродукции

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Протяженность маршрута, км	25
2.	Категории автодорог на маршруте	<i>I-III</i>
3.	Тип дорожной одежды	Асфальтобетон, цементобетон
4.	Количество участков с уклоном:	
	до 20%	5
	более 20%	1
5.	Количество светофорных объектов	15
6.	Количество мест, требующих полной остановки	17
7.	Количество кривых	29
	в том числе с углом поворота 90°	14
8.	Минимальная ширина полосы движения, м	2,75
9.	Число полос движения в одном направлении	1-2
10.	Характеристика неровностей дорожной одежды:	
	максимальная глубина выбоин, мм	до 300
	максимальная высота наплывов, мм	до 250

**Режимы движения.** Сложность дорожных условий перевозок, особенности дорожной сети, влияние природно-климатических условий, изменение дорожной обстановки обуславливают сложные режимы движения большегрузных автопоездов. Режимы движения автопоездов на перевозках металлопродукции в рассматриваемых условиях существенно отличаются от перевозок обычных грузов в нормальных условиях эксплуатации.

Режимы движения на маршрутах перевозки металлопродукции характеризуются частыми остановками, служебными торможениями, переключениями передач при движении автопоездов на участках дорог с различными параметрами плана, продольного и поперечного профиля,

различной степенью организации дорожного движения, типом и состоянием дорожной одежды, профессиональных навыков и дисциплины водителя (табл. 3.5).

Уменьшение значений некоторых параметров, приведенных в табл. 3.5, позволит снизить величину динамических нагрузок в несущей системе, а также число их циклов приложения при эксплуатации подвижного состава. Снижение нагрузок возможно только при строгом соблюдении параметров режима движения (скорость, интенсивность разгона и замедления).

Таблица 3.5 – Характеристика режима движения большегрузных автопоездов при перевозке металлопродукции

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Максимальная интенсивность движения автотранспорта на отдельных участках маршрута, авт./сут.:	
	– в летний период	7500
	– в зимний период	5500
2.	Среднее число служебных торможений при движении на маршруте за одну езду	90
3.	Среднее число полных остановок автопоезда за одну езду	10
4.	Среднее число торможений двигателем за одну езду	800
5.	Среднее количество переключений передач за одну езду	250
6.	Среднетехническая скорость, км/ч	32,5

**Общая оценка эксплуатационных факторов.** Общая оценка рассмотренных выше факторов (факторного пространства) показала, что условия автотранспортных перевозок металлопродукции существенно отличаются от обычных условий по многим параметрам. Факторы,

показанные на схеме (рис. 3.1), оказывают наибольшее влияние на эффективность эксплуатации подвижного состава. Наиболее значимыми

факторами, определяющими эксплуатационную готовность подвижного состава, имеющими возможность оптимизации параметров и требующими на это минимум затрат, являются схемы размещения груза и режимы движения.

Вопросы совершенствования схем размещения груза и режимов движения большегрузных автопоездов являются весьма актуальными и требуют дальнейшего исследования с целью оптимизации их параметров.

## **3.2 Исследование дорожных условий на маршруте перевозки**

### **3.2.1 Методика исследования дорожных условий**

Исследование дорожных условий на маршруте перевозки металлопродукции необходимо для количественной оценки их параметров и дальнейшей разработки оптимальных режимов движения.

В основу исследования взята методика оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, правила проведения которой приведены в ОДН 218.0.2006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог».

Сущность данной методики состоит в том, что оценка дорожных условий производится с помощью коэффициентов обеспечения расчётной скорости. Маршрут разбивается на участки, а затем для них определяются частные коэффициенты обеспеченности расчетной скорости:

- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc1}$ , учитывающий влияние ширины основной укрепленной поверхности дороги;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc2}$ , учитывающий влияние ширины и состояние обочины;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc3}$ , учитывающий влияние интенсивности и состава движения;

- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc4}$ , учитывающий влияние продольных уклонов дороги;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc5}$ , учитывающий влияние радиуса кривых в плане и поперечного уклона виража;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc6}$ , учитывающий продольную ровность покрытия;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc7}$ , учитывающий влияние коэффициента сцепления колеса с покрытием;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc8}$ , учитывающий состояние и прочность дорожной одежды;
- частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости  $K_{pc9}$ , учитывающий ровность в поперечном направлении.

На первом этапе исследования дорожных условий, весь маршрут перевозки был разбит на участки с кривыми и прямыми вставками. Прямым участкам присвоен нечетный номер, кривым – четный. Определена длина, всех участков, категория автодороги, количество полос движения и их ширина, интенсивность движения автомобилей в сутки, а также параметры кривых.

Общая характеристика дорожных условий по различным параметрам с указанием диапазона значений приведена в приложении Г (табл. Г.1).

Как видно из табл. Г.1, дорожные условия на маршруте перевозки можно разделить на две группы:

- дорожные условия, характеризующие параметры плана и продольного профиля (длина, уклон, количество полос, ширина полосы движения, радиус, угол, тангенс кривых и др.), их количественные значения могут изменяться только после реконструкции дорог, либо проведения ремонтных работ различной сложности;

– дорожные условия, характеризующие параметры дорожного полотна (ровность, сцепление, дефектность, колейность). Значения данных параметров имеют определенный диапазон, изменяются во времени по мере износа и разрушения элементов дорожной одежды вследствие воздействия подвижного состава.

### 3.2.2 Оценка дорожных условий

Второй этап исследования включает в себя определение конкретных значений коэффициентов для каждого  $i$ -го участка маршрута. Данные по параметрам дорожных условий получены путем хронометрических и натурных наблюдений, а также графоаналитическими методами. Эти данные сопоставлены с таблицами, приведенными в ОДН 218.0.2006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог» и получены значения коэффициентов при различной степени состояния дорожного полотна.

Дорожным условиям по износу и состоянию дорожного покрытия условно присвоено три степени: 1 – нормальные условия; 2 – удовлетворительные условия; 3 – неудовлетворительные условия (табл. 3.6).

Значения частных коэффициентов  $K_{pc_i}$  приведены в приложении Г (табл. Г.1).

Определяющим фактором при нахождении итогового коэффициента обеспечения расчётной скорости является выбор наименьшего по значению коэффициента из множества  $\{K_{pc_1}, K_{pc_2}, \dots, K_{pc_n}\}$ :

$$K_{\min}^{pc} = \min\{K_{pc_1}, K_{pc_2}, \dots, K_{pc_n}\}, \quad (3.1)$$

Таблица 3.6 – Классификация дорожных условий по состоянию дорожного покрытия

Дорожные условия	Значение показателя, мм		
	Величина неровностей	Высота колеи	Величина дефектов
Нормальные	60-100	4-50	5-50
Удовлетворительные	100-200	50-150	50-150
Неудовлетворительные	200-350	150-250	150-300

Значения коэффициентов  $K_{\min}^{pc}$  приведены в приложении Г (табл. Г.3).

По данным табл. Г.3 построен линейный график итоговых коэффициентов обеспечения расчетной скорости, который приведен на рис. 3.8.

Линейный график, показанный на рис. 3.8 наглядно отображает степень сложности дорожных условий на маршруте перевозок. На некоторых участках трассы коэффициенты обеспечения расчетной скорости имеют наименьшие значения. Так, к примеру, участок № 6 – это кривая радиусом 62,5 м, углом поворота 65°, уклоном 4 ‰, цементобетонным покрытием с дефектами; участок № 18 – кривая на пересечении дорог радиусом 20 м, углом 90°, уклоном 3,5 ‰, асфальтобетонным покрытием с неровностями и колеей; № 31 – прямая без уклона, с цементобетонным покрытием и дефектами; № 40 – кривая на пересечении дорог (круговое движение) радиусом 29,6 м, углом 115°, асфальтобетонным покрытием с неровностями и колеей, уклоном 15 ‰ и др.

Анализом данных табл. Г.3 и линейного графика на рис. 3.8, установлено, что наиболее сложные участки характеризуются наличием кривых малого радиуса и состоянием покрытия.

### 3.3 Недостатки существующей методики оценки дорожных условий

Существующая методика количественной оценки дорожных условий предназначена, главным образом, для определения транспортно-эксплуатационных показателей автодорог, обеспечивающих максимальную скорость, безопасность, непрерывность, удобство, уровень загруженности, экологическую безопасность и др. Анализ фактических и нормативных значений расчетных коэффициентов снижения скорости позволяет установить причины снижения транспортно-эксплуатационного состояния автодорог. На участках, где значения фактических коэффициентов существенно отличаются от нормативных значений, намечается ряд мероприятий по реконструкции, ремонту и содержанию дорог.

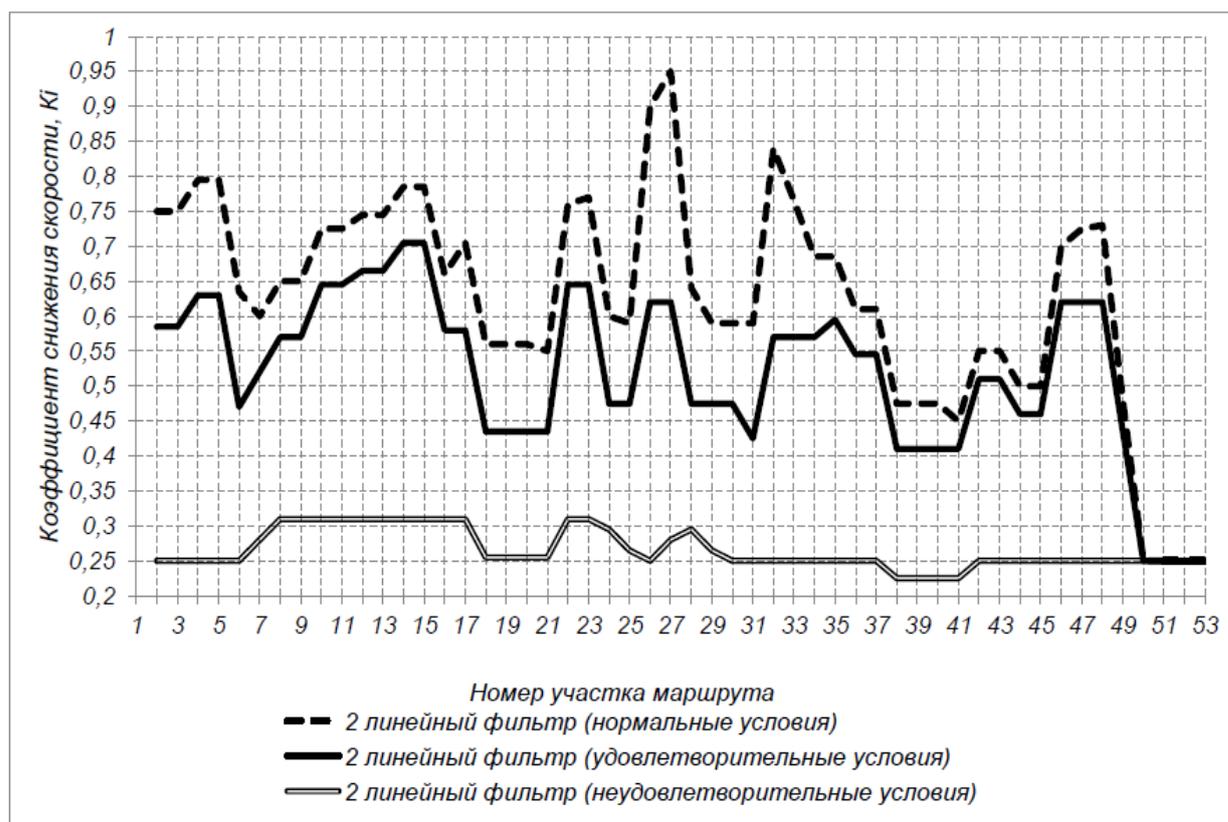


Рисунок 3.8 – Линейных график итоговых коэффициентов обеспечения расчетной скорости

Кроме того, у данной методики имеются существенные недостатки: сложность определения точных значений коэффициентов и параметров дорожных условий; большое количество коэффициентов, в том числе тех которые на динамические нагрузки не влияют; невозможность количественной оценки параметров дорожных условий по параметрам напряженно-деформированного состояния.

Очевидно, что с помощью данной методики невозможно достигнуть одной из главных задач настоящей работы – определения эквивалентного показателя дорожных условий по динамической нагрузке при эксплуатации большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции. Методика требует дальнейшего развития. Также необходимо проведение экспериментальных исследований для определения величин динамических нагрузок и установления взаимосвязи с параметрами дорожных условий.

### **3.4 Оценка нагруженности несущей системы в условиях действия динамических нагрузок**

#### **3.4.1 Методы оценки нагруженности несущей системы автотранспортных средств в условиях действия динамических нагрузок**

Для экспериментального определения динамических нагрузок используют различные виды исследований (испытаний): стендовые (в лабораторных условиях), полигонные (на специальных испытательных полигонах) и дорожные (в реальных условиях эксплуатации). В основе указанных исследований заложен метод тензометрии.

Для экспериментального определения напряженно-деформированного состояния узлов и деталей машин применяются методы и средства, в которых использованы различные принципы измерений. К ним относятся: рентгеновские методы, поляризационно-оптические методы (методы фотоупругости), метод муаровых полос, метод хрупких покрытий, метод

гальванических покрытий, методы, основанные на масштабном преобразовании деформаций поверхности объекта исследования с помощью тензометров и тензометрических преобразователей.

Для исследования напряженно-деформированного состояния автопоездов в настоящей работе принят метод электотензометрии, основанный на масштабном преобразовании деформаций поверхности объекта исследования с помощью тензометров (тензометрических преобразователей) как наиболее приемлемый. Использование других методов невозможно или затруднительно по различным причинам (применение только для лабораторных и стендовых испытаний, для замера только статических нагрузок, сложность измерительных систем, высокая стоимость измерительных устройств и аппаратуры, недостаточная точность показаний приборов, сложность обработки полученной информации).

### **3.4.2 Планирование экспериментальных исследований**

Комплексная задача экспериментальных исследований включает оценку напряженно-деформированного состояния элементов и деталей рам автопоездов при перевозке металлопродукции в специфических городских условиях для установления фактических внешних нагрузок и закономерностей их появления.

Предварительный этап экспериментальных исследований включает следующие вопросы:

- выбор типа автопоезда, как объекта исследования;
- разработка методики проведения экспериментальных исследований;
- замер деформаций на опытном автопоезде в реальных условиях перевозки металлопродукции в местах концентрации отказов;
- определение значений напряжений.

По результатам анализа отказов и расчета статических нагрузок, для проведения экспериментальных исследований выбран автопоезд-

«металловоз» в составе седельного тягача SCANIA P380LA6x4HHZ и специализированного полуприцепа ВАРЗ-9996 (прил. В). Выбор этого автопоезда связан с тем, что он хорошо зарекомендовал себя на перевозках металлопродукции. На раме тягача за 3-х летний период эксплуатации не было не одного повреждения (тягач имеет усиленную двойную раму из титанового сплава). На раме полуприцепа за этот период три раза возникали отказы. Поэтому, данный специализированный автопоезд представляет интерес для экспериментальных исследований.

Важным вопросом экспериментальных исследований явилось определение наиболее нагруженных элементов рамы и мест концентрации напряжений на раме полуприцепа ВАРЗ-9996, которые сосредоточены в зоне седельно-сцепного устройства (рис. 3.9).

### **3.4.3 Информационно-измерительная система**

Проведение измерений величин деформаций несущей системы автопоезда, при движении в сложных дорожных условиях, является весьма сложным с технической точки зрения мероприятием. Измерительная аппаратура, размещённая на подвижном составе, должна снимать показания в процессе движения, трансформировать и фиксировать их в условиях воздействия множества внешних факторов. Поэтому, для проведения экспериментальных исследований выбран метод, основанный на электротензометрии — измерении деформаций с помощью проволочных датчиков-тензорезисторов.

Для реализации данного метода создана специальная информационно-измерительная система (ИИС), принципиальная схема которой приведена на рисунке 3.10.

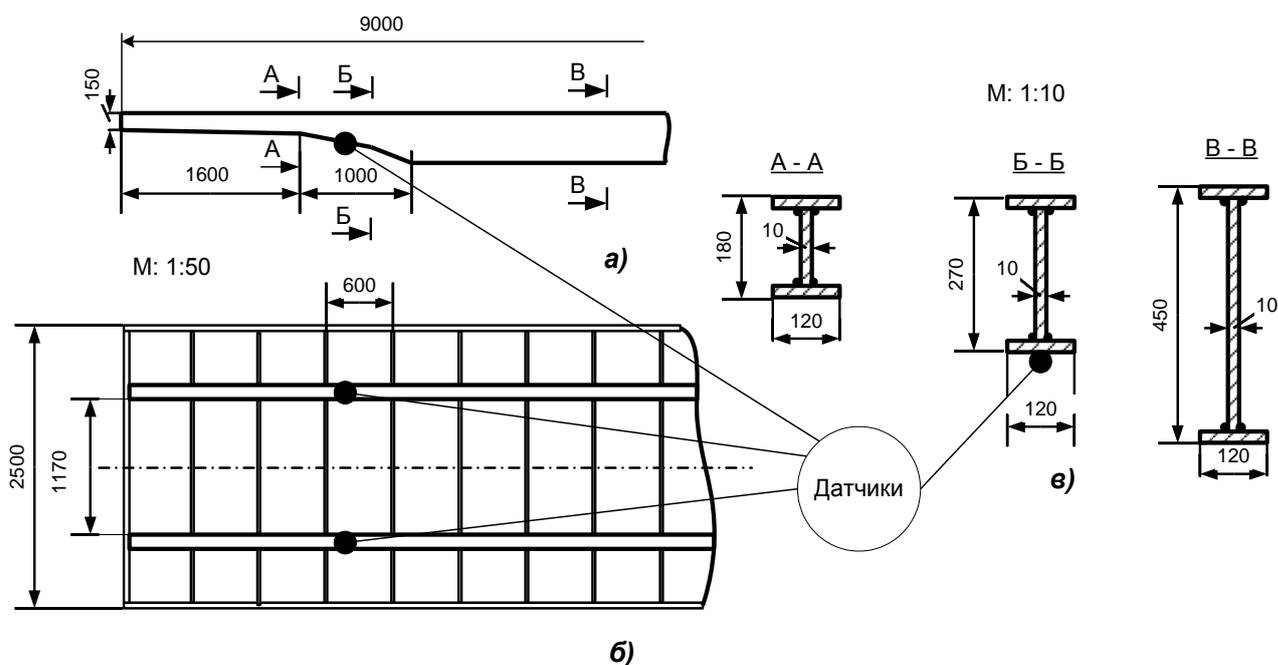
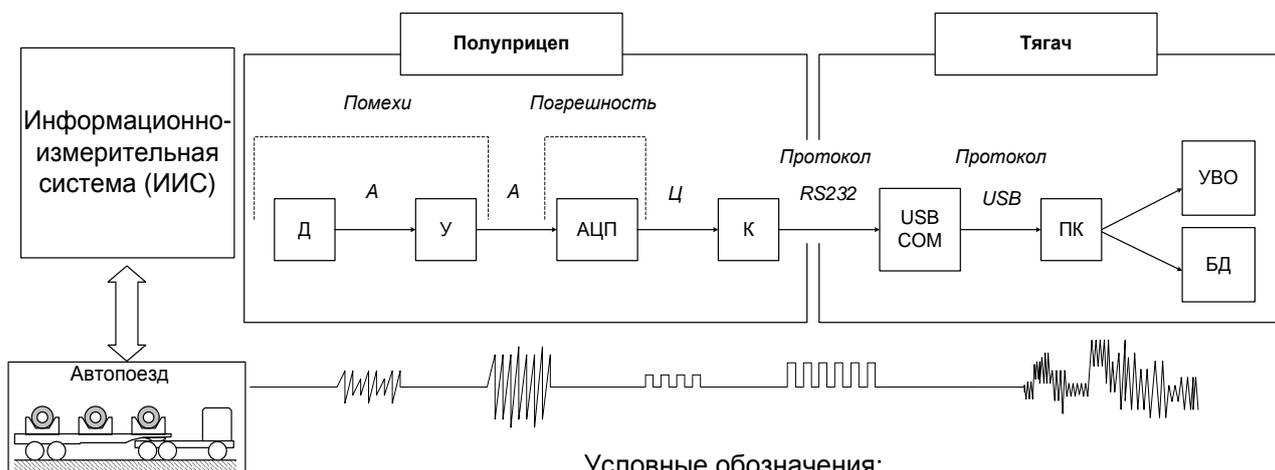


Рисунок 3.9 – Места установки датчиков-тензорезисторов на раме полуприцепа ВАРЗ-9996 в зоне седельно-сцепного устройства:

*a* – лонжерон; *б* – рама; *в* – сечения лонжерона

Все приборы и устройства системы размещаются непосредственно на автопоезде и подключены последовательно. Датчик-тензорезистор (Д), установленный на участке рамы, измеряет величину деформации. Полученный аналоговый сигнал преобразуется по величине усилителем (У). Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) изменяет тип сигнала. Далее информация уже в цифровом представлении фиксируется контроллером (К) и с помощью персонального компьютера (ПК) записывается в базу данных (БД) с последующим выводом на устройство визуального отображения (УВО).



Условные обозначения:  
 Д – датчики (тензорезисторы); У – усилитель сигнала; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; К – контроллер; ПК - персональный компьютер; USB-COM – порт; УВО - устройство визуального отображения; БД – база данных; А - аналоговый сигнал; Ц - цифровой сигнал; RS232 - код

а)



б)

в)

Рисунок 3.10 – Информационно-измерительная система (ИИС): а - принципиальная схема; б – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); в – проволочные датчики (тензорезисторы)

Технические параметры ИИС представлены ниже.

Измеряемое напряжение в системе, В	12±1
Число каналов измерений	8
Число мостов с датчиками	2
Число датчиков в мосту	2

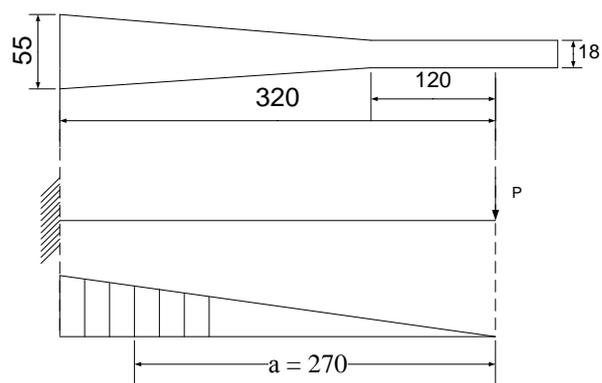
Соединение датчиков	параллельное
Частота измерений, Гц	1000
Тип датчика	КФ-5П1-10-100-Ф-12
База датчика, мм	10
Коэффициент чувствительности	2,5
Сопротивление, Ом	98,3±0,1

### 3.4.4 Тарировка информационно-измерительной системы

Тарировка системы проводилась на тарировочной балке, внешний вид и схема которой приведены на рис. 3.11.



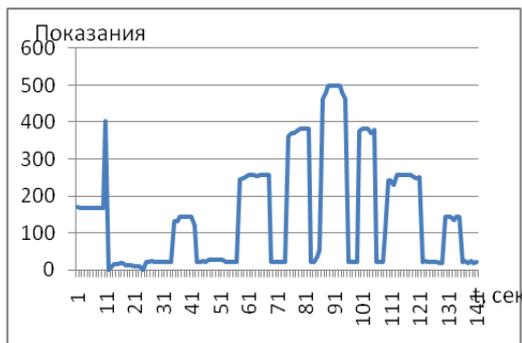
а)



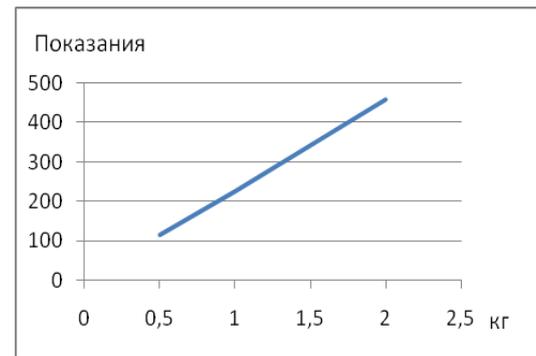
б)

Рисунок 3.11 – Тарировочная балка: а – внешний вид; б – схема

Тарировка тензорезисторов выполнена дискретным нагружением балки грузами массой 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 кг и в обратной последовательности. Полученные данные цифрового сигнала преобразованы в файл формата Excel. При этом данные усредняются в интервале одной секунды. Результаты представлены на рис. 3.12 и в табл. 3.7.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Результаты тарировки: а - график зависимости показаний прибора от времени при нагрузке тарировочной балки; б - график зависимости показаний тензодатчика от нагрузки тарировочной балки

Таблица 3.7 – Результаты расшифровки графика показаний

№ п/п	Нагрузка, кг	Отклонение, мм	Показания прибора
1	2	3	4
1	0,5	38	115
2	1,0	74	224
3	1,5	113	342
4	2,0	151	457

По данным табл. 3.8 построен график тарировки – зависимость «Нагрузка - Показания прибора» (рис. 3.12, б).

Значение изгибающего момента  $M$  в месте наклейки датчиков (рис. 3.11) определяется по формуле:

$$M = P * a , \quad (3.2)$$

где  $P$  - приложенная к балке нагрузка, кг;

$a$  – расстояние от нагрузки до места наклейки тензодатчиков, м.

Напряжения изгиба в сечении балки определяются из выражения, МПа:

$$\sigma = \frac{M}{W} , \quad (3.3)$$

где  $W$  - момент инерции сечения,  $\text{м}^3$ .

Для прямоугольного сечения:

$$W = \frac{b \cdot h^3}{6}, \quad (3.4)$$

где  $b, h$  - соответственно ширина и высота сечения, м.

В месте наклейки тензодатчиков размеры сечения балки равны  $b = 45,7$  мм,  $h = 7,2$  мм.

Момент сопротивления этого сечения:

$$W = \frac{45,7 \cdot 10^{-3} \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^3}{6} = 394,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

Значения изгибающих моментов и напряжений приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Тарировка прибора

№ п/п	Нагрузка, кг	Изгибающий момент $M$ , Н*м	Напряжения $\sigma$ , МПа	Показания прибора
1	0,5	0,135*9,81	0,342*9,81	115
2	1,0	0,270*9,81	0,684*9,81	224
3	1,5	0,405*9,81	1,026*9,81	342
4	2,0	0,540*9,81	1,368*9,81	457

По данным таблицы 3.8 строится тарировочный график (рис. 3.13).

Зависимость линейная, следовательно ее можно описать уравнением вида:

$$y = a + b \cdot x, \quad (3.5)$$

где  $b$  – тангенс угла наклона графика,

$a$  – точка пересечения оси ординат,  $a = 0$ .

$$b = \frac{1000 * 0,012}{457 - 115} = \frac{1}{342} = 0,03$$

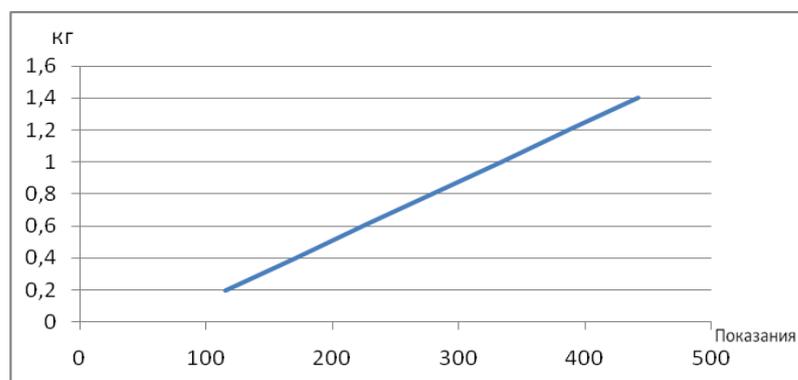


Рисунок 3.13 - График зависимости нагрузки тарировочной балки от показаний тензодатчика (тарировочный график)

Связь между показаниями прибора  $П$  и значениями напряжений в месте наклейки тензодатчиков  $\sigma$  выражается уравнением:

$$\sigma_i = 0,03 \cdot П, \quad (3.6)$$

Далее проверяется точность аппроксимации (табл. 3.9).

Таблица 3.9 - Проверка точности аппроксимации

№ п/п	Показания прибора	Напряжения, МПа		Погрешность, %
		измеренные	вычисленные	
1	115	0,342	0,345	-0,87
2	224	0,684	0,672	1,75
3	342	1,026	1,026	0
4	457	1,368	1,371	-0,22

Погрешность не превышает 2% .

Переводной коэффициент  $K = 0,34$ .

### 3.4.5 Экспериментальное определение динамических нагрузок

Измерения проводились на всем маршруте перевозки длиной 21 км (прокатный цех базового комбината – порт). Измерительная аппаратура, установленная на груженом автопоезде с номинальной нагрузкой (26 т), записывала результаты измерений 2-х датчиков через каналы АЦП в базу данных с частотой 1000 Гц. Максимальная скорость движения груженого автопоезда не превышала 40 км/ч (ограничение для данных перевозок). Во время движения автопоезда фиксировалась скорость движения при прохождении участков маршрута с наиболее сложными дорожными условиями. При движении привязка к указанным объектам производилась нажатием клавиш «пробела» на ПК. Эта функция предусмотрена в программном обеспечении ИИС. После нажатия данной клавиши специальной функцией программы отмечается проходимый объект и фиксируется отметкой (сплошные вертикальные линии на рис. 3.14).

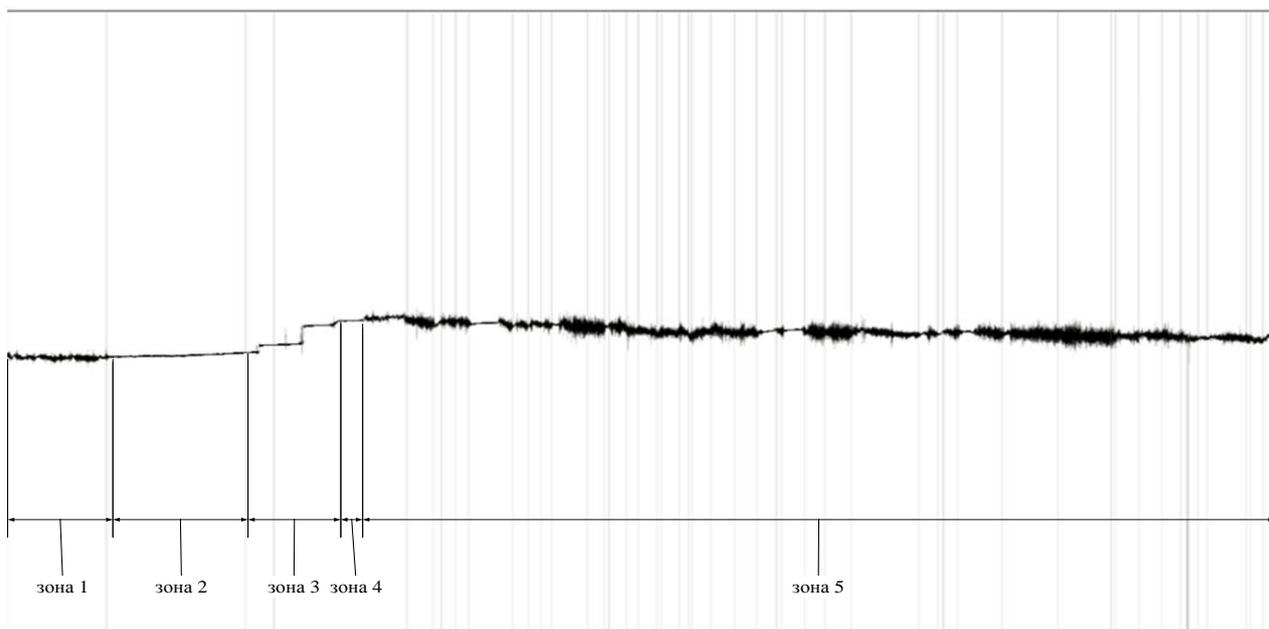


Рисунок 3.14 – Диаграмма значений электронных сигналов ИИС, установленной на автопоезде в процессе движения на одном из экспериментальных заездов: зона 1 – движение автопоезда без груза; зона 2 – неподвижное состояние автопоезда; зона 3 – погрузка груза на автопоезда; зона 4 – неподвижное состояние автопоезда с грузом; зона 5 – движение автопоезда с грузом по маршруту

За период проведения экспериментальных исследований было выполнено 8 измерительных заездов. С использованием данной системы в ходе проведения экспериментальных исследований получен значительный массив данных по величинам нагрузок (напряжений) в несущей системе автопоездов. Объем информации по одному заезду в базе данных составляет свыше 1 Гб.

ИИС в активном состоянии при движении автопоезда отображает диаграмму показаний, автоматически сохраняя результаты замеров в базу данных.

На диаграмме (рис. 3.14) показано изменение величин электронного сигнала, пропорционального напряжению, которые соответствуют изменению дорожных условий, режима движения на маршруте перевозки и выполнению технологических операций при погрузке-выгрузке металлопродукции. Так на рис. 3.15 показаны отдельные фрагменты, соответствующие различным режимам движения и элементам процесса перевозки.

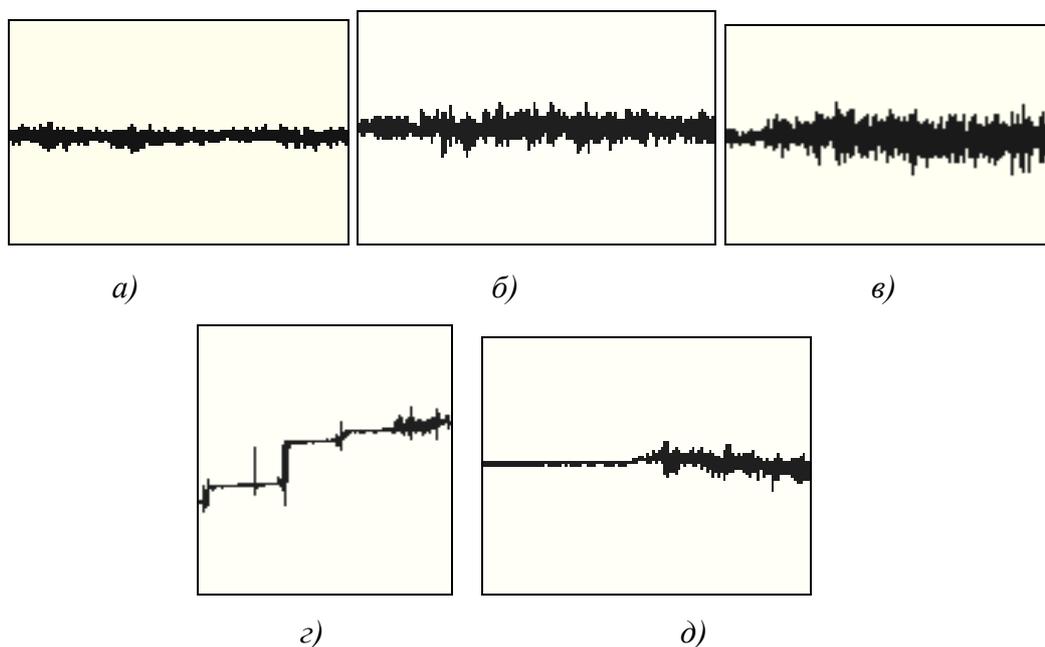


Рисунок 3.15 – Диаграммы деформаций на участке рамы движущегося автопоезда: а – установившееся движение на прямом участке дороги при скорости 40 км/ч; б – торможение на горизонтальном участке с замедлением  $1,5 \text{ м/с}^2$ ; в – движение по кривой радиусом 120 м; г – погрузка металлопродукции на автопоезд; д – начало движения и разгон автопоезда на горизонтальном участке с ускорением  $1,7 \text{ м/с}^2$

Для перевода электронного сигнала  $n_i$  в напряжение  $\sigma_i$  воспользуемся следующей формулой:

$$\sigma_i = n_i * K, \text{ Н/см}^2, \quad (3.7)$$

где  $\sigma_i$  – напряжение, Н/см<sup>2</sup>;

$n_i$  – значения электронного сигнала;

$K$  – переводной коэффициент, полученный по результатам тарировки (п. 3.4.3).

### 3.4.6 Результаты экспериментальных исследований

Специальная компьютерная программа, написанная на языке программирования «Delphi», работающая с ИИС, производит опрос с частотой 1 кГц (1000 опросов в секунду). Обработать такой значительный массив данных весьма сложно. Поэтому для обработки результатов по каждой секунде работы ИИС были выбраны максимальное, среднее и минимальные значения показаний прибора и соответственно напряжений.

Значения показаний ИИС были переведены в значения напряжений, а вся база данных экспериментальных исследований помещена в файлы формата Excel и построены диаграммы минимальных, средних и максимальных значений напряжений, фрагменты которых показаны на рисунке 3.16.

В ходе предварительной обработки результатов измерений установлено, что наибольшие значения динамических нагрузок (напряжений) на маршруте движения были зафиксированы на участках с кривыми, на участках с сильным износом дорожного покрытия и ощутимыми дефектами, а также во время интенсивного торможения.

Величину динамических нагрузок целесообразно характеризовать коэффициентом динамичности, который определяется из выражения:

$$K_{\partial} = \frac{\sigma_{\partial}}{\sigma_{ст}}, \quad (3.8)$$

где  $\sigma_{\partial}$  - величина динамических напряжений, МПа;

$\sigma_{ст}$  - величина статических напряжений, МПа.

С учетом рекомендаций при проектировании автомобильных несущих систем, максимальное значение коэффициента  $K_{\partial}$  для рассматриваемых рамных конструкций принимается равным 3,0. Превышения значений коэффициента  $K_{\partial}$  соответствует недопустимому уровню динамических нагрузок, под воздействием которых создаются предпосылки для появления отказов в несущей системе.

Усредненные значения напряжений  $\sigma_{\partial}$  и коэффициентов динамичности  $K_{\partial}$  на участках маршрута перевозки приведены в приложении Г (табл. Г.4), а их линейные графики на рис. 3.17 и 3.18.

Полученные линейные графики отображают адекватность экспериментальных данных и их взаимосвязь с дорожными условиями. Наибольшие значения напряжений и коэффициентов динамичности соответствуют участкам с наиболее сложными дорожными условиями по параметрам кривых, ровности и дефектности дорожного покрытия.

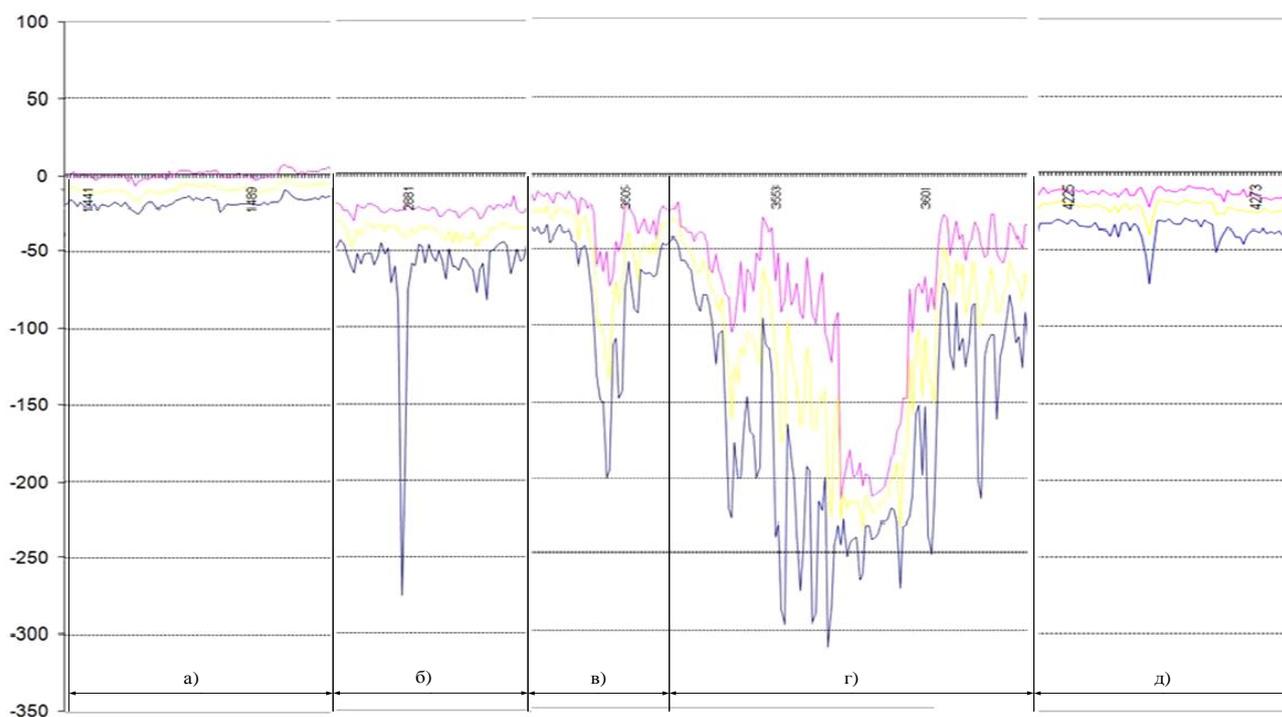


Рисунок 3.16 – Фрагменты диаграмм напряжений автопоезда при движении на некоторых участках маршрута:

а) – статическое напряжение ( $18 \text{ Н}/\text{см}^2$ ) автопоезда с грузом; б) – напряжение ( $275 \text{ Н}/\text{см}^2$ ) при движении автопоезда на кривой пересечения ул. Тополиная/ул. Моцарта со скоростью  $32 \text{ км}/\text{ч}$ ; в) – напряжение ( $199 \text{ Н}/\text{см}^2$ ) при движении автопоезда на перекрестке с круговым движением бул. Шевченко/ул. Куприна со скоростью  $21 \text{ км}/\text{ч}$ ; г) – напряжение ( $311 \text{ Н}/\text{см}^2$ ) при движении автопоезда на выезде из кольца бул. Шевченко/ул. Куприна со скоростью  $22 \text{ км}/\text{ч}$ ; д) - напряжение ( $78 \text{ Н}/\text{см}^2$ ) при движении автопоезда на кривой пересечения ул. Востания/ул. Гагарина со скоростью  $7 \text{ км}/\text{ч}$

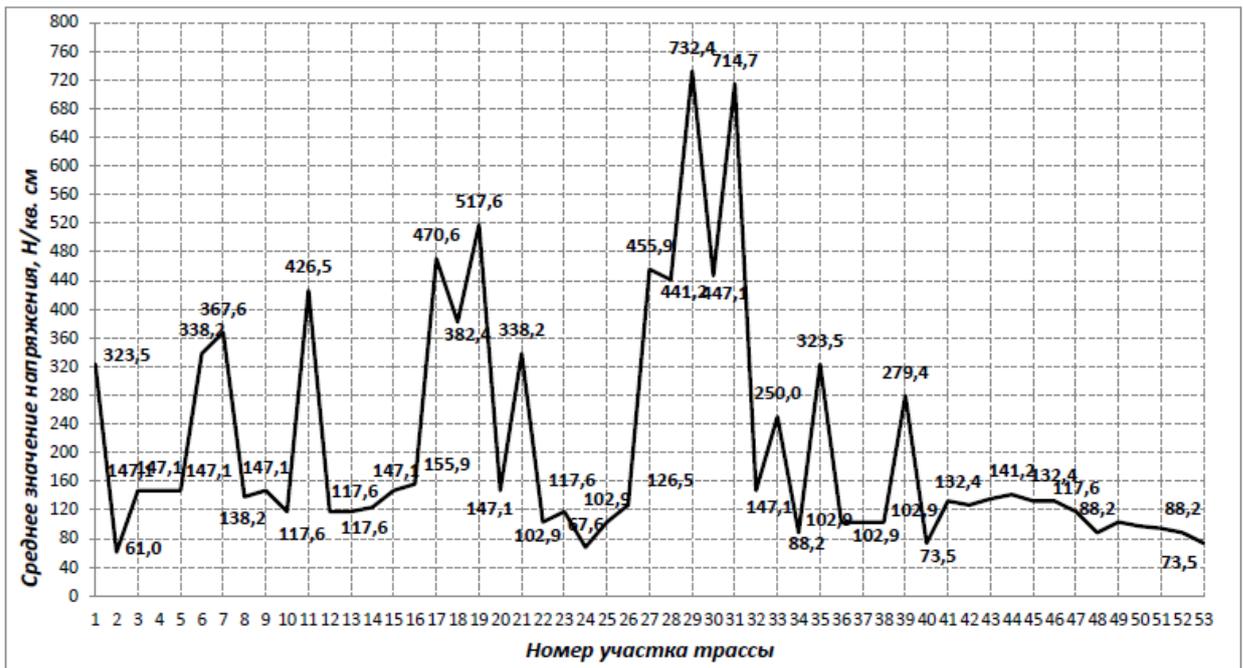


Рисунок 3.17 – Линейный график средних значений напряжений на участках трассы исследуемого маршрута

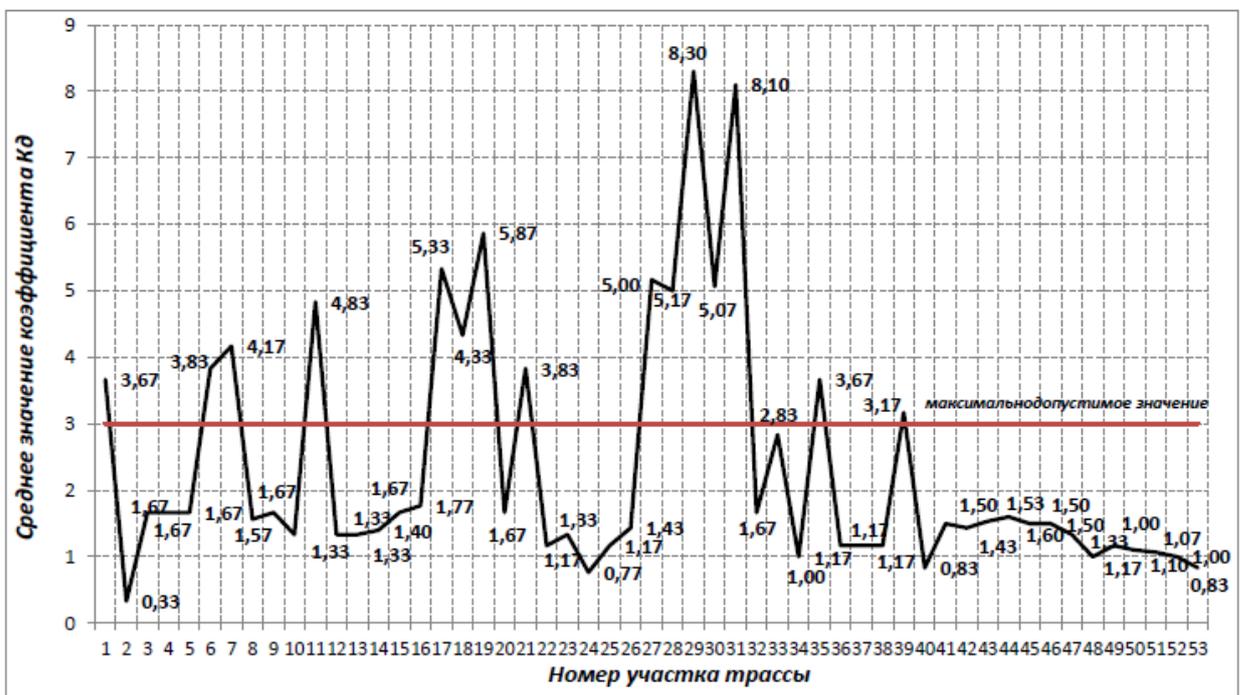


Рисунок 3.18 – Линейный график средних значений коэффициентов динамичности на участках трассы

### 3.5 Установление зависимостей между величиной динамических нагрузок и параметрами дорожных условий

#### 3.5.1 Параметры дорожных условий

Анализом экспериментальных данных установлено, что наибольшее влияние на величину динамических нагрузок оказывают план трассы (параметры кривых) и параметры, характеризующие состояние и степень изношенности дорожного полотна (характеристика покрытия):

- радиус горизонтальной кривой -  $R$ , м (мм);
- ровность дорожного покрытия -  $S$ , м (мм);
- дефектность дорожного покрытия  $d$ , м (мм).

Следующий этап исследования – установление функциональных зависимостей величин динамических нагрузок по указанным показателям дорожных условий при различных значениях скорости движения.

В основу анализа положены данные по динамическим нагрузкам на различных участках маршрута перевозки, полученные при проведении экспериментальных исследований (п. 3.4.4).

#### 3.5.2 Влияние параметров кривых на величину динамической нагрузки

Зависимость коэффициента динамичности  $K_D$  несущей системы автопоезда от радиуса горизонтальных кривых в диапазоне скоростей 1,4 – 11,1 м/с (5-40 км/ч) приведена на рис. 3.19.

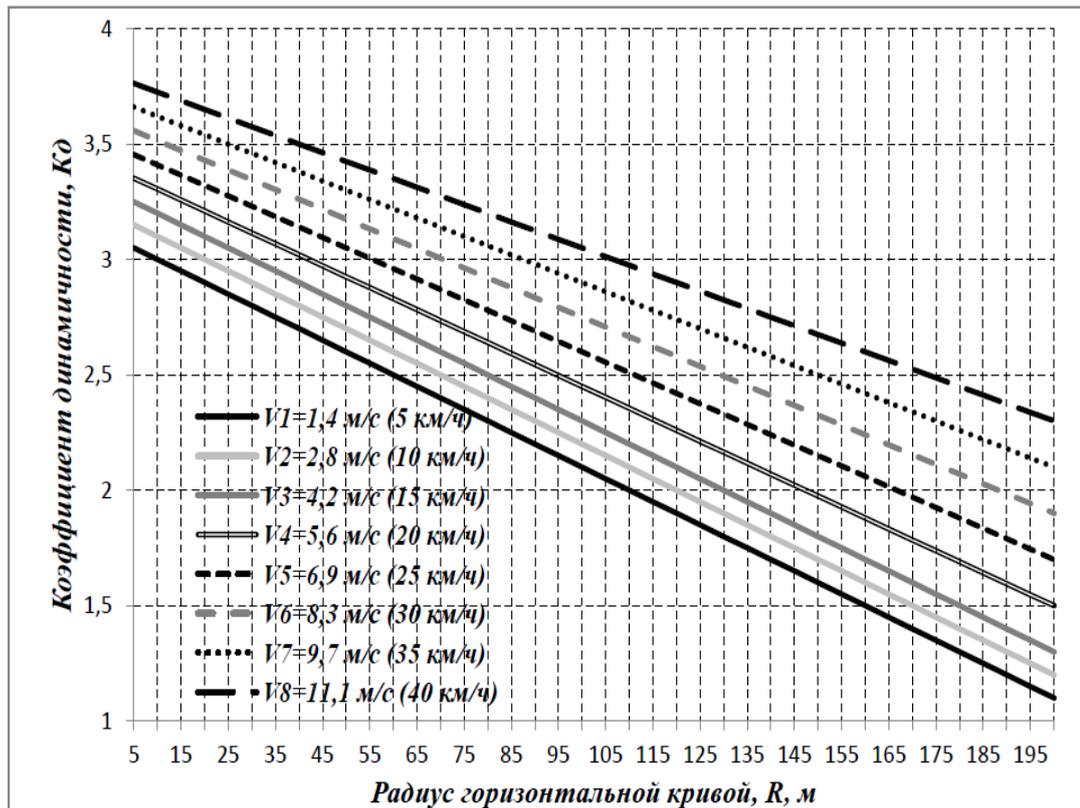
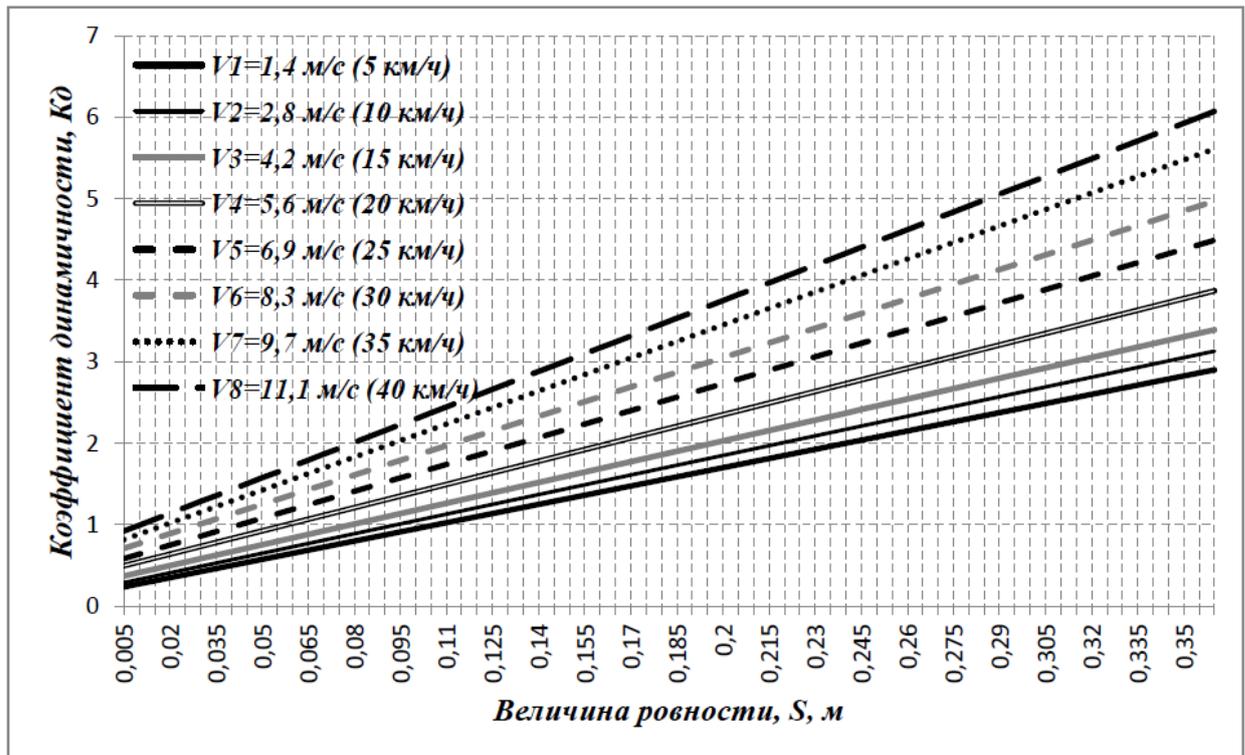


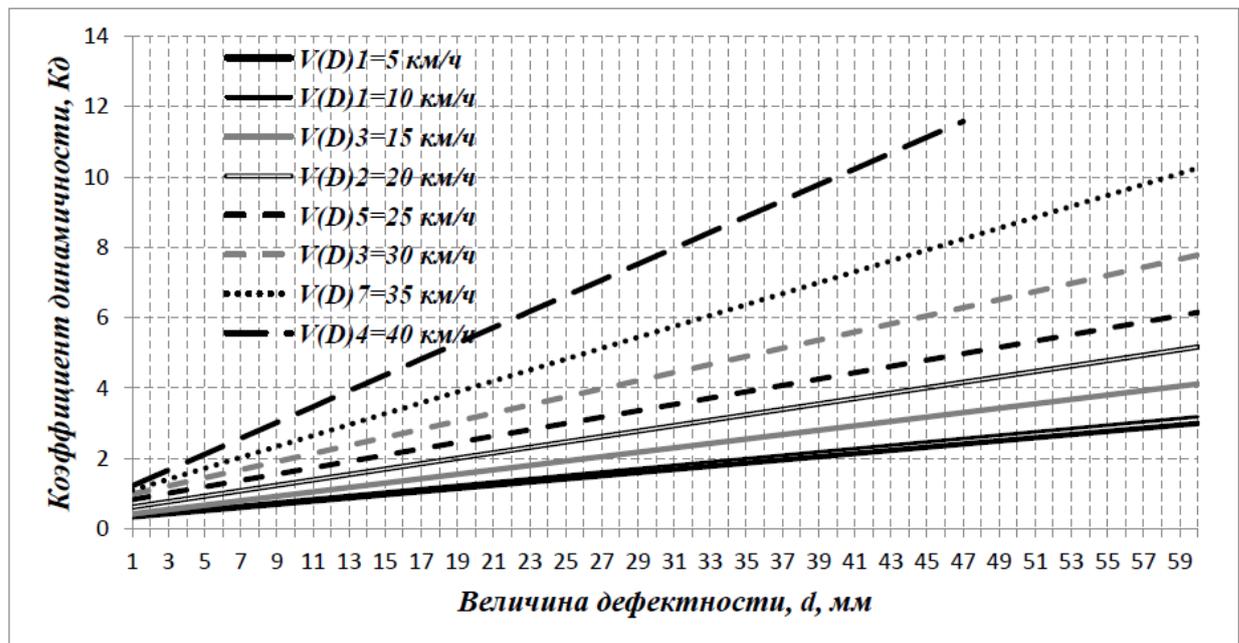
Рисунок 3.19 – Зависимость коэффициента динамичности от радиуса горизонтальных кривых при различных значениях скорости движения

### 3.5.3 Влияние параметров ровности и дефектности дорожного покрытия на динамическую нагрузку

Динамическая нагрузка по критериям ровности и дефектности имеет также линейную зависимость. На рис. 3.20 приведены графики зависимостей коэффициента динамичности от величин неровностей и дефектов.



а)



б)

Рисунок 3.20 – Зависимости коэффициента динамичности в различных интервалах скоростей движения: а – от высоты неровностей; б – от высоты дефекта

### 3.6 Определение интегрального показателя дорожных условий по динамической нагрузке

#### 3.6.1 Метод определения интегрального показателя дорожных условий

Оценка дорожных условий и расчет интегрального показателя выполнены на основе метода частных корректирующих коэффициентов. В качестве оценочного критерия принят коэффициент динамичности ( $K_{\partial}$ ), который определяется по формуле (3.8).

Управляемой переменной является динамическая нагрузка ( $\sigma_{\partial}$ ), а факторами, формирующими ее величину - радиус горизонтальной кривой ( $R$ ), ровность ( $S$ ) и дефектность дорожного покрытия ( $d$ ) при заданном значении скорости движения ( $V = const$ ).

В качестве частных корректирующих коэффициентов  $i$ -го участка  $j$ -го маршрута перевозок приняты коэффициенты динамичности по радиусу горизонтальной кривой ( $K_{\partial(R)}^{ij}$ ), величинам неровностей ( $K_{\partial(S)}^{ij}$ ) и дефектов ( $K_{\partial(d)}^{ij}$ ) как основные оценочные показатели.

Идея отыскания интегрального эквивалентного показателя заключается в количественной оценке дорожных условий каждого участка маршрута движения по перечисленным выше оценочным показателям (п. 3.5) и сопоставлении нескольких имеющихся маршрутов.

Для количественной оценки указанных критериев требуется сопоставить фактическую величину соответствующего показателя дорожных условий с допустимым значением. Допустимым следует считать значение, при котором величина напряжений и коэффициента динамичности соответствуют требуемому уровню, а значение основного показателя режима движения –

скорости будет соответствовать допустимому пределу по динамической нагрузке.

### 3.6.2 Модель определения интегрального показателя дорожных условий

Моделированием установлено, что функциональные зависимости динамической нагрузки от параметров дорожных условий  $K_{\partial} = f(R, S, d)$  имеют линейный характер (рис. 3.19 и 3.20). Уравнения, полученные после аппроксимации линейных графиков, приведены в табл. 3.10.

Для количественной оценки дорожных условий  $m$  маршрутов перевозки принимается комплексный показатель, соответствующий минимальному значению коэффициента динамичности одного из маршрутов:

$$K_{\partial}^k = \min(K_{\partial}^j) = \min(K_{\partial}^1, K_{\partial}^2, \dots, K_{\partial}^m), \quad (3.9)$$

где  $K_{\partial}^j$  - среднее значение коэффициента динамичности на  $j$ -м маршруте перевозок.  $K_{\partial}^j$  определяется как среднее арифметическое коэффициентов динамичности каждого участка маршрута перевозок:

$$K_{\partial}^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{\partial}^{ij}, \quad (3.10)$$

где  $K_{\partial}^{ij}$  - коэффициент динамичности  $i$ -го участка  $j$ -го маршрута перевозок;  
 $n$  - количество участков  $j$ -го маршрута.

Таблица 3.10 - Уравнения, устанавливающие зависимость коэффициента динамичности  $K_{\partial}$  от параметров дорожных условий при заданных величинах скоростного режима

№ п/п	Параметры дорожных условий	Общий вид уравнения	Уравнения, соответствующие заданному скоростному режиму	
1.	Радиус горизонтальной кривой, $R$ , м	$y = -ax + b$	$V_1=1,4$ м/с (5 км/ч)	$y = -0,01x + 3,1$
			$V_2=2,8$ м/с (10 км/ч)	$y = -0,01x + 3,2$
			$V_3=4,2$ м/с (15 км/ч)	$y = -0,01x + 3,4$
			$V_4=5,6$ м/с (20 км/ч)	$y = -0,0095x + 3,5$
			$V_5=6,9$ м/с (25 км/ч)	$y = -0,009x + 3,5$
			$V_6=8,3$ м/с (30 км/ч)	$y = -0,0085x + 3,6$
			$V_7=9,7$ м/с (35 км/ч)	$y = -0,008x + 3,7$
			$V_8=11,1$ м/с (40 км/ч)	$y = -0,0075x + 3,8$
2.	Величина неровности $S$ , м	$y = ax + b$	$V_1=1,4$ м/с (5 км/ч)	$y = 0,0075x + 0,2$
			$V_2=2,8$ м/с (10 км/ч)	$y = 0,008x + 0,25$
			$V_3=4,2$ м/с (15 км/ч)	$y = 0,0085x + 0,33$
			$V_4=5,6$ м/с (20 км/ч)	$y = 0,0095x + 0,45$
			$V_5=6,9$ м/с (25 км/ч)	$y = 0,011x + 0,53$
			$V_6=8,3$ м/с (30 км/ч)	$y = 0,012x + 0,65$
			$V_7=9,7$ м/с (35 км/ч)	$y = 0,0135x + 0,75$
			$V_8=11,1$ м/с (40 км/ч)	$y = 0,0145x + 0,85$
3.	Величина дефектности, $d$ , м	$y = ax + b$	$V_1=1,4$ м/с (5 км/ч)	$y = 0,009x + 0,3$
			$V_2=2,8$ м/с (10 км/ч)	$y = 0,0095x + 0,34$
			$V_3=4,2$ м/с (15 км/ч)	$y = 0,0125x + 0,37$
			$V_4=5,6$ м/с (20 км/ч)	$y = 0,0154x + 0,55$
			$V_5=6,9$ м/с (25 км/ч)	$y = 0,018x + 0,75$
			$V_6=8,3$ м/с (30 км/ч)	$y = 0,023x + 0,88$
			$V_7=9,7$ м/с (35 км/ч)	$y = 0,031x + 0,95$
			$V_8=11,1$ м/с (40 км/ч)	$y = 0,045x + 1$

В свою очередь, коэффициент  $K_{\partial}^{ij}$  соответствует максимальному значению одного из коэффициентов динамичности  $i$ -го участка по критериям дорожных условий:

$$K_{\partial}^{ij} = \max \left( K_{\partial(R)}^{ij}, K_{\partial(S)}^{ij}, K_{\partial(d)}^{ij} \right), \quad (3.11)$$

где  $K_{\partial(R)}^{ij}, K_{\partial(S)}^{ij}, K_{\partial(d)}^{ij}$  - коэффициенты динамичности  $i$ -го участка  $j$ -го

маршрута перевозок по радиусу горизонтальной кривой, величинам неровностей или дефектов соответственно.

С учетом уравнений, приведенных в табл. 3.10, можно записать:

$$K_{\partial}^{ij} = \max(a_R^i \cdot R_i + b_R^i; a_S^i \cdot S_i + b_S^i; a_d^i \cdot d_i + b_d^i), \quad (3.12)$$

где  $a_R^i, b_R^i, a_S^i, b_S^i, a_d^i, b_d^i$  - эмпирические коэффициенты, соответствующие  $i$ -му участку по радиусу горизонтальной кривой  $R_i$ , величинам неровностей  $S_i$  или дефектов  $d_i$  соответственно.

Подставляя (3.10) в (3.12), окончательно получаем

$$K_{\partial}^j = \frac{1}{n} \left[ \sum_1^n \max(a_R^i \cdot R_i + b_R^i; a_S^i \cdot S_i + b_S^i; a_d^i \cdot d_i + b_d^i) \right]. \quad (3.13)$$

Выражения (3.12) и (3.16) позволяют расчетным путем реализовать предложенный метод оценки дорожных условий при эксплуатации БАП на перевозках металлопродукции.

### 3.6.3 Алгоритм расчета интегрального показателя дорожных условий

Расчет интегрального показателя дорожных условий должен выполняться по следующему алгоритму:

- 1) Разбивка маршрута на участки.

Маршрут перевозки разбивается на прямые участки и участки с горизонтальными кривыми. Каждому участку присваивается порядковый номер. Границами участков являются точки начала и конца кривых. Для

выполнения данных мероприятий целесообразно использовать графо-аналитические методы, а в качестве исходных данных – топографические карты.

2) Определение фактических величин параметров дорожных условий.

Исходными данными для определения фактических параметров дорожных условий являются результаты расчетов, данные хронометрических и натурных наблюдений, а также оперативная информация от работников, находящихся на линии. Определяются следующие параметры: величина ровности дорожного покрытия ( $s_\phi$ ), величина дефектности ( $d_\phi$ ), радиус горизонтальной кривой ( $R_\phi$ ), коэффициент сцепления ( $\phi_\phi$ ).

3) Определение статических и динамических нагрузок.

Данные параметры устанавливаются экспериментально.

4) Нахождение функциональных зависимостей  $K_\partial = f(R, S, d, V)$  и вывод на печать графиков.

5) Определение эмпирических коэффициентов  $a, b$ .

Величин эмпирических коэффициентов определяются методом аппроксимации на ЭВМ с использованием прикладных программ.

6) Определение частных корректирующих коэффициентов динамичности по уравнениям, приведенным в табл. 3.10.

7) Выбор максимального значения из 3-х частных корректирующих коэффициентов динамичности.

8) Определение эквивалентного показателя по выражению (3.13).

Вывод на дисплей и печать значений. Выбор маршрута с наименьшим значением искомого коэффициента.

Блок-схема алгоритма определения интегрального показателя дорожных условий представлена в приложении Д.

### 3.6.4 Номограмма для определения частных коэффициентов динамичности и расчета интегрального показателя оценки дорожных условий

Для определения комплексного показателя на основе экспериментальных данных и полученных линейных зависимостей разработана номограмма, представленная на рис. 3.21.

Номограмма позволяет расчетным путем реализовать предложенный метод оценки дорожных условий при эксплуатации БАП на перевозках металлопродукции.

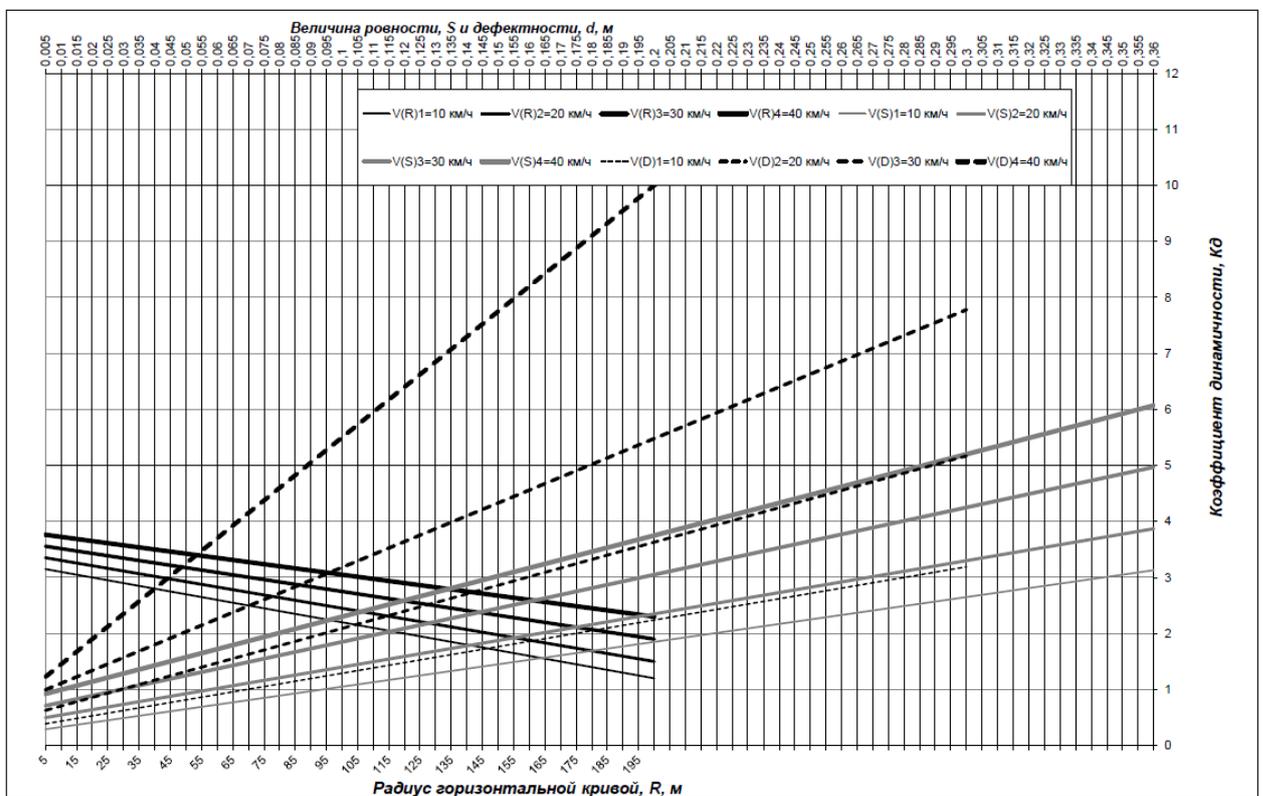


Рисунок 3.21 - Номограмма для определения комплексного показателя оценки дорожных условий

В табл. 3.11 представлен пример расчета комплексного показателя оценки дорожных условий по динамической нагрузке в несущей системе БАП на рассматриваемых перевозках.

За основу приняты два маршрута с различными дорожными условиями, состоящие из 3-х участков. Каждый участок имеет горизонтальную кривую радиусом  $R_i$ , неровности величиной  $S_i$  и дефекты величиной  $d_i$ . Для каждого из 3-х участков скоростной режим составляет  $V_i = 20, 25, \text{ и } 30$  км/ч соответственно.

Таблица 3.11 - Результаты расчета комплексного показателя оценки дорожных условий

№ участка	Критерий дорожных условий	Скорость, км/ч	Маршрут перевозки			
			№1		№2	
			критерий	$K_\partial$	критерий	$K_\partial$
1.	радиус, м	20	50	2,93	80	2,64
	величина неровности, м		0,04	0,83	0,135	1,73
	величина дефекта, м		0,095	2,01	0,08	1,78
	$K_\partial^{ij}$			<b>2,93</b>		<b>2,64</b>
2.	радиус, м	25	15	3,37	35	3,19
	величина неровности, м		0,195	2,68	0,205	2,79
	величина дефекта, м		0,1	2,55	0,08	2,19
	$K_\partial^{ij}$			<b>3,37</b>		<b>3,19</b>
3.	радиус, м	30	110	2,67	75	3,1
	величина неровности, м		0,3	4,25	0,25	3,65
	величина дефекта, м		0,07	2,49	0,13	3,87
	$K_\partial^{ij}$			<b>4,25</b>		<b>3,87</b>
$K_\partial^j$			<b>3,52</b>		<b>3,23</b>	

Как показывают данные табл. 3.11, средние коэффициенты динамичности для двух маршрутов составляют  $K_\partial^1 = 3,52$  и  $K_\partial^2 = 3,23$ . Комплексный показатель оценки дорожных условий при этом составит  $K_\partial^K = 3,23$ , поэтому маршрут №2 характеризуется менее сложными дорожными условиями.

Таким образом, выполненный расчет позволяет комплексно оценить дорожные условия и выбрать наиболее рациональный маршрут перевозки металлопродукции.

### **3.7 Выводы по разделу 3**

Установлено, что параметры нагрузочного режима несущих систем большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции зависят главным образом от параметров дорожных условий, которые характеризуются радиусом горизонтальной кривой, ровностью и дефектностью дорожного покрытия. Линейные зависимости критерия динамических нагрузок и параметров дорожных условий при заданных скоростных режимах, получены на основе данных экспериментальных исследований. На основании предложенного подхода разработан инженерный метод и номограмма для оценки дорожных условий. Установление более рациональных маршрутов транспортирования с использованием предложенного метода обеспечивает заданный уровень эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов, их высокопроизводительную и экономичную эксплуатацию. Полученные линейные зависимости приняты в основу оптимизации режимов движения.

## РАЗДЕЛ 4

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

#### 4.1 Критерии оптимизации режимов движения и оценочные показатели

Режим движения характеризуют два основных параметра: скорость движения автотранспортного средства ( $V$ ) и модуль ускорения ( $|a|$ ) (ускорение при разгоне ( $a$ ) и замедление при торможении ( $-a$ )).

Для автомобильного транспорта оптимальная величина ускорений ( $|a|_{opt}$ ) должна находиться в пределах 1,5-2,5 м/с<sup>2</sup>, что соответствует обычному темпу разгона и служебному торможению.

Величины ускорения и замедления (отрицательное ускорение) зависят от большого числа факторов (изменение дорожной обстановки, появление препятствия на дороге, техническое состояние и конструктивные особенности транспортного средства, дисциплина, квалификация и психофизиологические особенности водителя и др.).

Оперативно повлиять на указанные параметры в процессе перевозки во многих случаях практически невозможно. Кроме того, превышение ( $|a|_{opt}$ ) при работе на линии происходит в большинстве случаев по независящим от водителя причинам.

С учетом этого, можно записать:

$$(|a|_{opt}) = 1,5 \div 2,5, \quad (4.1)$$

Для дальнейшего исследования принимаем:

$$(|a|_{opt}) = const. \quad (4.2)$$

Другим критерием оптимизации режима движения является скорость движения. Этот параметр в большей степени зависит от квалификации и психофизиологических особенностей водителя с одной стороны, а также от дорожных условий (радиуса горизонтальной кривой ( $R$ ), степени ровности ( $S$ ) и дефектности дорожного покрытия ( $d$ )), с другой стороны.

Скорость движения является функцией параметров дорожных условий, то есть:

$$V = f(d, S, R). \quad (4.3)$$

Величина оптимальной скорости, должна соответствовать допустимому уровню динамической нагрузки, а также заданному значению прочностной характеристики несущей системы автопоезда.

С учетом вышесказанного и полученных экспериментальных данных, приняты следующие критерии и оценочные показатели:

- критерий оптимизации режима движения - скорость движения автопоезда,  $V$ , км/ч (м/с);
- параметры дорожных условий - радиус кривой  $R$ , м (мм), величина (высота) неровности  $S$ , м (мм), величина (высота) дефекта  $d$ , м (мм);
- величина динамической нагрузки – максимальное значение коэффициента динамичности ( $K_d$ );
- прочностная характеристика - коэффициент запаса прочности ( $K_3$ ).

## 4.2 Метод оптимизации режимов движения

В основу метода поставлена задача усовершенствовать способ транспортирования грузов большой массы большегрузными автопоездами путем установления рациональных скоростных режимов движения, в соответствии с конкретными дорожными условиями и за счет этого увеличить ресурс работы несущей системы, повысить эксплуатационную готовность и снизить затраты на перевозки.

На основе экспериментальных данных по динамическим нагрузкам были получены экспериментальные кривые, устанавливающие функциональные зависимости скорости движения от величин радиуса  $R$ , размеров неровностей  $S$  и дефектов  $d$ , дорожного покрытия для несущих систем с различными значениями коэффициента запаса прочности  $K_{3j}$  при допустимом уровне динамических нагрузок  $K_{\delta}^H$ .

Моделированием установлено, что функциональные зависимости скорости движения от параметров дорожных условий  $V = f(R, S, d)$  имеют экспоненциальный и степенной характер (рис. 4.1). Экспериментальные кривые аппроксимированы и получены уравнения, выраженные формулами (4.4-4.6), которые приняты в основу определения скоростного режима.

Допустимая скорость движения автопоезда на  $i$ -м участке маршрута с кривой радиусом  $R_i$ , км/ч;

$$V_i^R = a_j \cdot R_i^{\alpha_j}, \quad (4.4)$$

где  $a_j, \alpha_j$  - эмпирические коэффициенты для расчета допустимой скорости движения при прохождении горизонтальной кривой, соответствующие  $j$ -му значению прочностной характеристики несущей системы;

Допустимая скорость движения автопоезда на  $i$ -м участке маршрута, имеющем неровности дорожного покрытия величиной  $S_i$ , км/ч;

$$V_i^S = b_j \cdot \exp^{-\beta_j \cdot S_i}, \quad (4.5)$$

где  $b_j, \beta_j$  - эмпирические коэффициенты для расчета допустимой скорости движения при прохождении участка с неровностями, соответствующие  $j$ -му значению прочностной характеристики несущей системы.

Допустимая скорость движения автопоезда на  $i$ -м участке маршрута, имеющем дефекты дорожного покрытия величиной  $d_i$ , км/ч;

$$V_i^d = c_j \cdot \exp^{-\varphi_j \cdot d_i}, \quad (4.6)$$

где  $c_j, \varphi_j$  - эмпирические коэффициенты для расчета допустимой скорости движения при прохождении участка с дефектами дорожного покрытия, соответствующие  $j$ -му значению прочностной характеристики.

С учетом рекомендаций при проектировании автомобильных несущих систем, максимальное значение коэффициента  $K_D$  для рассматриваемых рамных конструкций принимается равным 3,0. Значения  $K_{3j}$  устанавливаются предприятием-изготовителем в пределах 1,5-3,0 и зависят от марки стали, формы и геометрических размеров профиля рамы.

Эмпирические коэффициенты для определения допустимой скорости движения, соответствующие нормативному коэффициенту динамичности  $K_d^H$  и различным значениям коэффициента запаса прочности  $K_{3j}$ , приведены в табл. 4.1.

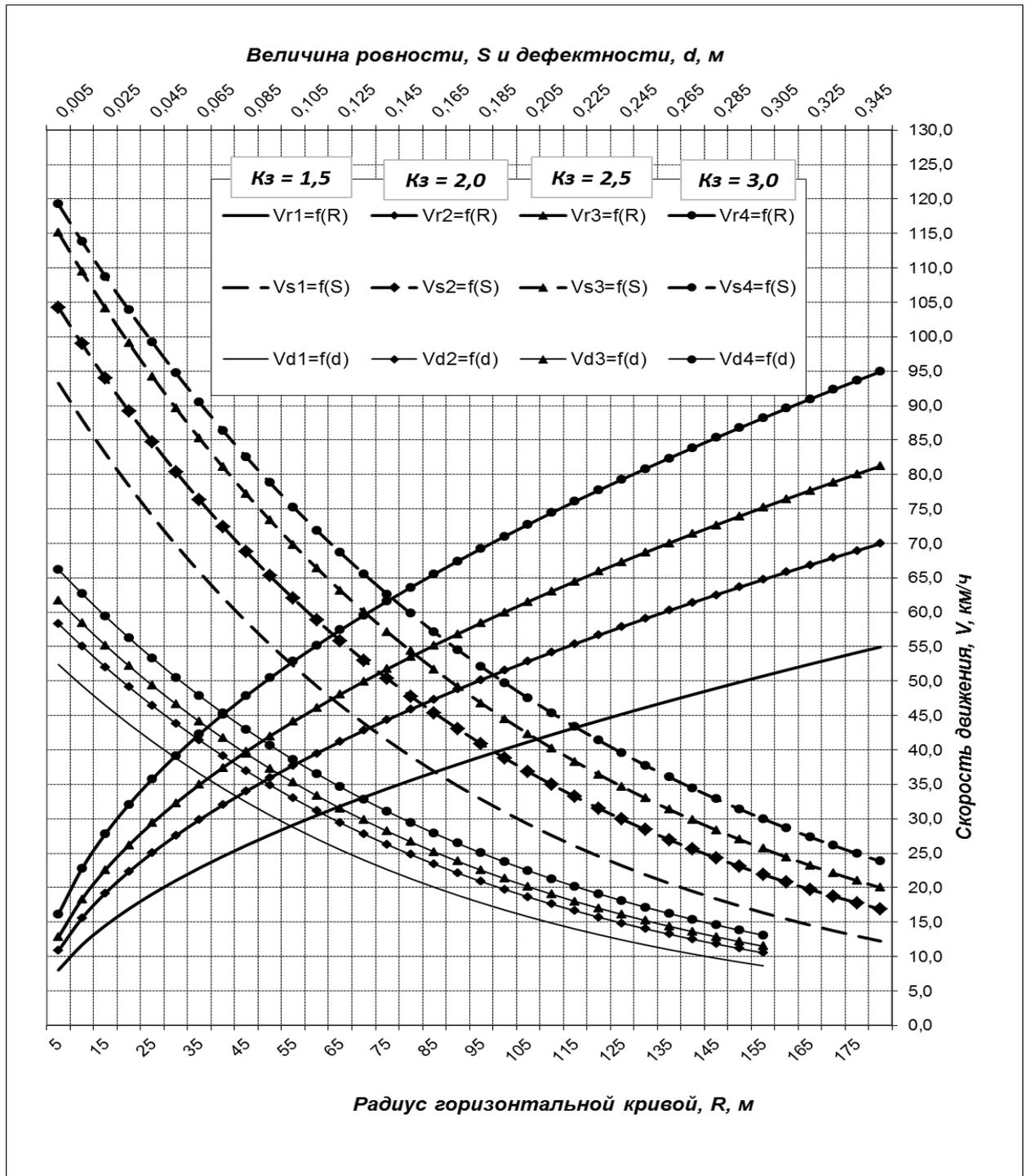


Рисунок 4.1 – Зависимость скорости движения от величин ровности, дефектности и радиуса горизонтальной кривой

Таблица 4.1 – Значения эмпирических коэффициентов для определения допустимой скорости движения

№ п/п	Критерий дорожных условий	Эмпирический коэффициент	Значения коэффициентов запаса прочности при:			
			$K_{31}=1,5$	$K_{32}=2,0$	$K_{33}=2,5$	$K_{34}=3,0$
1.	Радиус горизонтальной кривой	$a$	3,4	4,7	5,6	7,3
		$\alpha$	0,536	0,52	0,515	0,494
2.	Величина неровности	$b$	96	107	107	122
		$\beta$	5,8	5,2	5,0	4,6
3.	Величина дефектности	$c$	54	60	63,5	68
		$\varphi$	6	5,7	5,6	5,4

### 4.3 Модель оптимизации режимов движения

Для решения поставленной задачи оптимизации режимов движения большегрузных автопоездов при транспортировке грузов большой массы необходимо определить допустимую скорость движения. При этом, на каждом участке трассы в зависимости от его сложности при определении допустимой скорости движения дополнительно необходимо учитывать допустимый уровень динамических нагрузок в соответствии с выражением

$$V_i^d = \min \{ V_i^R ; V_i^S ; V_i^d \}. \quad (4.7)$$

Подставляя выражения (4.4-4.6) в (4.7), получим

$$V_i^d = \min \left\{ V_i^R a_j \cdot R_i^{\alpha_j} ; V_i^S = b_j \cdot \exp^{-\beta_j \cdot S_i} ; V_i^d = c_j \cdot \exp^{-\varphi_j \cdot d_i} \right\}. \quad (4.8)$$

#### 4.4 Алгоритм расчета параметров оптимальных режимов движения

Разработка оптимальных режимов движения должна выполняться по следующему алгоритму:

- 1) Разбивка маршрута на участки.

Маршрут перевозки разбивается на прямые участки и участки с горизонтальными кривыми. Каждому участку присваивается порядковый номер. Границами участков являются точки начала и конца кривых. Для выполнения данных мероприятий целесообразно использовать графо-аналитические методы, а в качестве исходных данных – топографические карты.

- 2) Определение фактических значений параметров дорожных условий.

Исходными данными для определения параметров дорожных условий являются результаты расчетов, данные хронометрических и натурных наблюдений, а также оперативная информация от работников, находящихся на линии. Определяются следующие параметры: величина ровности дорожного покрытия ( $d_\phi$ ), величина дефектности ( $S_\phi$ ), радиус горизонтальной кривой ( $R_\phi$ ), коэффициент сцепления ( $\varphi_\phi$ ).

- 3) Определение статических и динамических нагрузок.

Данные параметры устанавливаются экспериментально.

- 4) Нахождение функциональных зависимостей  $V = f(d, S, R, K_3)$  и вывод их на печать.

- 5) Определение эмпирических коэффициентов  $a_j, \alpha_j, b_j, \beta_j, c_j, \varphi_j$ .

- 6) Определение допустимой скорости движения на каждом участке по различным критериям дорожных условий из множества  $\{V_i^R = a_j \cdot R_i^{\alpha_j}; V_i^S = b_j \cdot \exp^{-\beta_j \cdot S_i}; V_i^d = c_j \cdot \exp^{-\varphi_j \cdot d_i}\}$ .

7) Определение допустимой скорости движения на каждом из участков

$$V_i^d = \min\{V_i^R; V_i^S; V_i^d\} = \min\left\{V_i^R = a_j \cdot R_i^{\alpha_j}; V_i^S = b_j \cdot \exp^{-\beta_j \cdot S_i}; V_i^d = c_j \cdot \exp^{-\varphi_j \cdot d_i}\right\}$$

Блок-схема алгоритма определения и выбора оптимальных режимов движения представлена в приложении Д (рис. Д.2).

#### 4.5 Расчет параметров оптимальных режимов движения

Пример определения скоростного режима для предложенного способа транспортирования грузов большой массы седельными автопоездами приведен ниже. Расчеты проводились для дорожных условий базового маршрута перевозок металлопродукции и применяемого подвижного состава.

Исходные данные для расчета:

1) Характеристика расчетного подвижного состава.

Тип подвижного состава – автопоезд-«рулоновоз» в составе седельного тягача SCANIA P380 и специализированного полуприцепа ВАРЗ-9995. Число осей тягача – 3; число осей полуприцепа – 2. Грузоподъемность полуприцепа – 26 т. Коэффициент запаса прочности несущей системы  $K_{31} = 1,5$ .

Нормативный коэффициент динамичности  $K_d^{pac} = 2,5 \div 3,0$ .

2) Характеристика перевозимого груза.

Вид груза – горячекатаные стальные рулоны. Количество и масса стальных рулонов – 3 рулона: 8,5 т, 8,5 т, 9 т соответственно. Фактическая масса груза – 26 т. Груз размещен на ложементов по оптимизированной ранее схеме.

3) Характеристика условий транспортирования.

Расчетный месяц года – август. Общая характеристика дорожных условий второй группы (п. 2.2.1) – удовлетворительные. За основу взят один участок маршрута, который характеризуется следующими дорожными

условиями: имеется горизонтальная кривая радиусом  $R = 62,5$  м; неровности дорожного покрытия величиной  $S = 0,056$  м; дефекты  $d = 0,035$  м.

Пример расчета.

- 1) По формуле (4.4) определяется допустимая скорость движения автопоезда на участке маршрута с горизонтальной кривой радиусом  $R_i = 62,5$  м, эмпирические коэффициенты выбираются по табл. 4.1 для коэффициента запаса прочности  $K_{31} = 1,5$ , то есть  $a_j = 3,4$  и  $\alpha_j = 0,536$ .

$$V_i^R = 3,4 \cdot 62,5^{0,536} \approx 31 \text{ км/ч.}$$

- 2) По формуле (4.5) определяется допустимая скорость движения автопоезда на участке маршрута с неровностями величиной  $S_i = 0,056$  м, эмпирические коэффициенты выбираются по табл. 4.1 для коэффициента запаса прочности  $K_{31} = 1,5$ , то есть  $b_j = 96$  и  $\beta_j = 5,8$ .

$$V_i^S = 96 \cdot \exp^{-5,8 \cdot 0,056} \approx 69 \text{ км/ч.}$$

- 3) По формуле (4.6) определяется допустимая скорость движения автопоезда на участке маршрута с дефектами величиной  $d_i = 0,035$  м, эмпирические коэффициенты выбираются по табл. 4.1 для коэффициента запаса прочности  $K_{31} = 1,5$ , то есть  $c_j = 54$  и  $\varphi_j = 6,0$ .

$$4) V_i^d = 54 \cdot \exp^{-6 \cdot 0,035} \approx 44 \text{ км/ч.}$$

- 5) По выражениям (4.7) и (4.8) выбирается допустимая скорость движения:

$$V_i^\partial = \min\{31; 69; 44\} = 31 \text{ км/ч.}$$

Результаты расчетов скоростного режима движения на 12 участках маршрута приведены в табл. 4.2.

Таким образом, способ транспортирования грузов большой массы седельными автопоездами в пределах предложенных скоростных режимов ( $V^\partial$ ), обеспечивает снижение динамических нагрузок до уровня допустимых ( $K_\partial^H$ ), увеличивает ресурс несущей системы (рамы) машин, что существенно

снижает эксплуатационные затраты (до 30%) за счет увеличения производительности парка и снижения затрат на ремонты.

По расчетным данным построен линейный график скорости движения большегрузных автопоездов в рассматриваемых выше дорожных условиях (рис. 4.2).

Таблица 4.2 – Результат исследований дорожных условий, нагрузочных и скоростных режимов движения седельных автопоездов при транспортировании грузов большой массы

№ п/п	Участок маршрута	Параметры дорожных условий			Фактические параметры транспортирования		Предлагаемые параметры транспортирования	
		ра- диус, м	ров- ность, м	де- фект- ность, м	скорость, км/ч	коэф- фициент	скорость, км/ч	коэф- фициент
		$R$	$S$	$d$	$V_{\phi}$	$K_{\phi}^{\phi}$	$V_{рас}$	$K_{\phi}^{рас}$
1.	прямой	-	0,081	0,06	40	3,67	<b>37,7</b>	<b>2,4</b>
2.	кривая	62,5	0,056	0,035	30	3,83	<b>31,2</b>	<b>2,8</b>
3.	прямой	-	0,059	0,038	35	4,17	<b>43,0</b>	<b>2,5</b>
4.	прямой	-	0,066	0,045	40	4,83	<b>41,2</b>	<b>2,8</b>
5.	прямой	-	0,076	0,055	40	5,33	<b>38,8</b>	<b>2,9</b>
6.	кривая	20	0,079	0,058	15	4,33	<b>16,9</b>	<b>2,75</b>
7.	прямой	-	0,073	0,052	30	5,87	<b>39,5</b>	<b>2,95</b>
8.	прямой	-	0,069	0,048	30	3,83	<b>40,5</b>	<b>2,7</b>
9.	прямой	-	0,074	0,053	35	5,17	<b>39,3</b>	<b>2,7</b>
10.	кривая	20	0,15	0,25	15	5,0	<b>12,0</b>	<b>2,8</b>
11.	кривая	32,6	0,116	0,095	20	5,07	<b>22,0</b>	<b>2,95</b>
12.	прямой	-	0,103	0,082	40	3,17	<b>33,0</b>	<b>2,5</b>

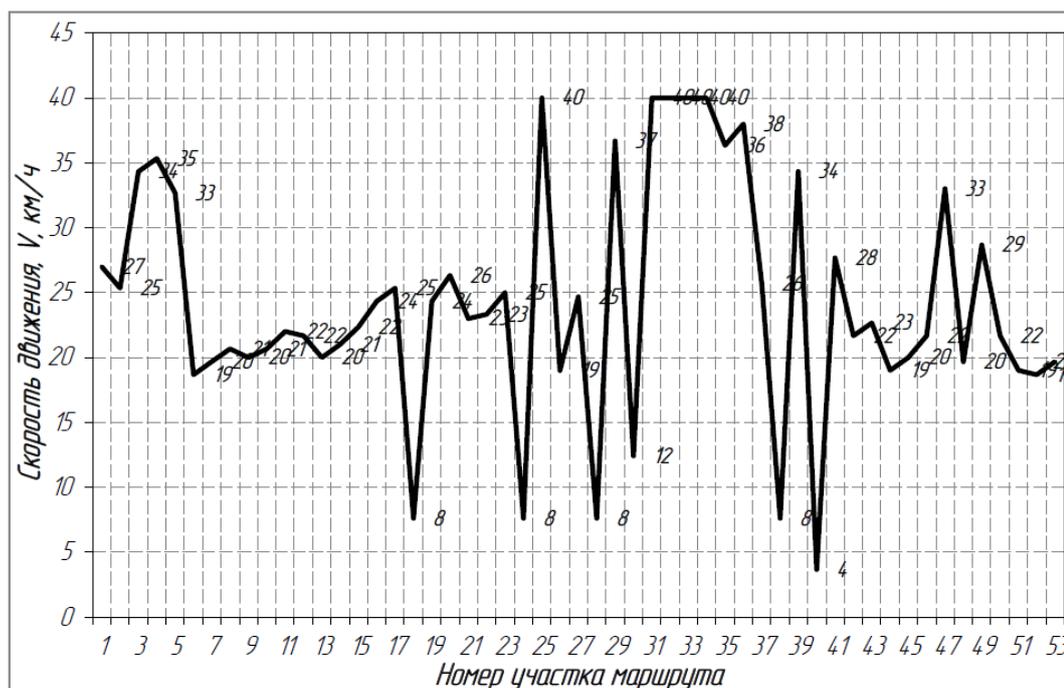


Рисунок 4.2 – Линейный график оптимальной скорости

#### 4.6 Верификация полученных результатов

Для проверки правильности полученных результатов по разработке оптимальных режимов проведен заключительный этап экспериментальных исследований. С этой целью выполнен один экспериментальный заезд автопоезда с измерительной аппаратурой. При выполнении замеров автопоезд двигался в груженом состоянии по строго установленным режимам движения и базовому маршруту перевозок.

В качестве исходных данных для экспериментальных исследований приняты следующие параметры:

- тип подвижного состава – автопоезд-«рулоновоз» в составе седельного тягача SCANIA P380 и специализированного полуприцепа ВАРЗ-9995;
- маршрут перевозок – металлургический комбинат – морской порт, длина маршрута – 21 км;

- фактическая масса груза – 25,5 т, 3 рулона: 8,0 т, 8,5 т, 9 т соответственно;
- характеристика дорожных условий второй группы – удовлетворительные, величины некоторых параметров приведены в табл. 4.2;
- величина допустимой скорости движения – 40 км/ч;
- величина максимального ускорения –  $2,5 \text{ м/с}^2$ ;
- величина оптимальной скорости движения на  $i$ -х участках маршрута установлена с учетом номограммы (рис. 4.1) и выражений (4.7), (4.8);
- методика исследований и характеристика измерительной системы (ИИС) приведена в п. 2.2 настоящей работы.

При проведении замеров получен массив данных по напряжениям и выполнены расчеты усредненных коэффициентов динамичности, линейный график которых показан на рис. 4.3.

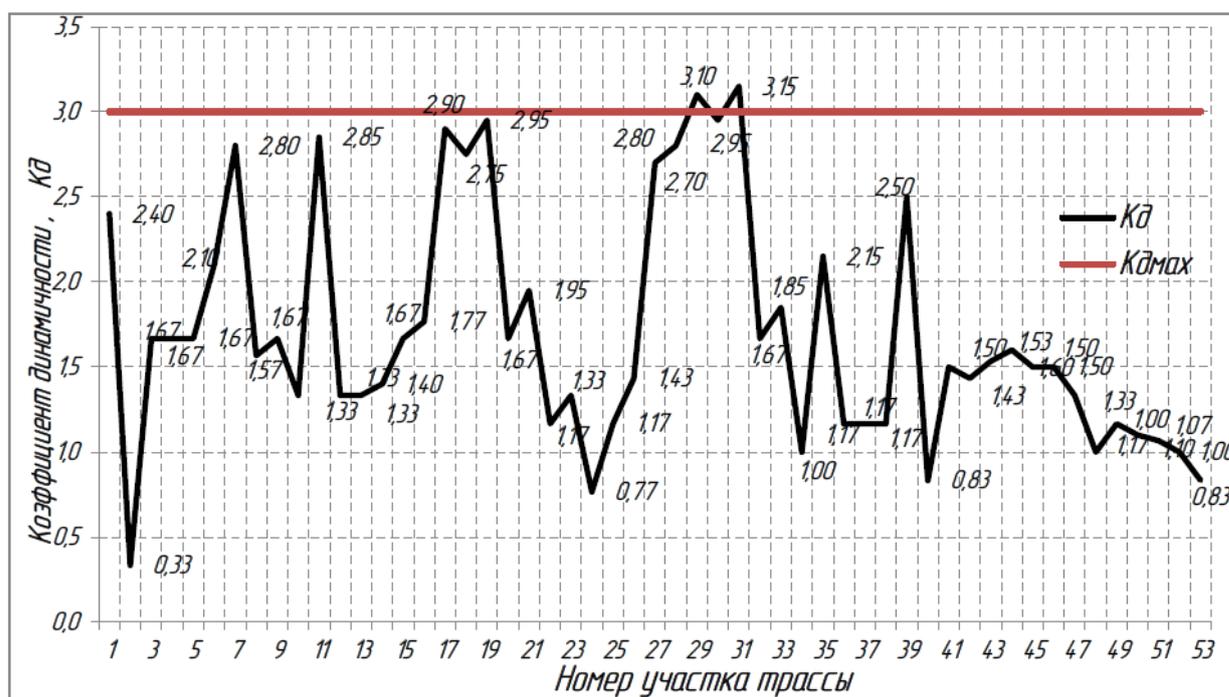


Рисунок 4.3 – Линейный график коэффициентов динамичности при работе автопоездов с оптимизированными режимами движения

Как видно из рис. 4.3, только на двух участках трассы (№29 и №31) имеются незначительные превышения (на 3-5%) коэффициента динамичности.

Результаты экспериментальных исследований заключительного этапа, представленные на рис. 4.3, подтвердили соответствие оптимальных параметров режимов движения допустимому уровню динамических нагрузок, а также адекватность и объективность разработанного метода.

На основании разработанного метода была проведена промышленная проверка, которая также подтвердила соответствие параметров оптимизированных режимов движения допустимому уровню динамических нагрузок. Соответствующие акты и протоколы прилагаются (прил. Е, Ж, К, Л). При этом сходимость результатов достигнута на уровне 93%.

#### **4.7 Рекомендации по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на перевозках грузов повышенной массы**

Проведенные в настоящей работе исследования позволили обозначить ряд организационно-технических мероприятий для повышения эффективности использования парка большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции.

Рекомендации по совершенствованию конструктивных параметров:

- усиление жесткости конструкции переходной части лонжеронов путем увеличения толщины стенок деталей;
- усиление жесткости конструкции переходной части лонжеронов путем замены открытого двутаврового профиля на закрытый профиль (коробчатого сечения);
- применение для перевозок металлопродукции низкорамных и полунизкорамных полуприцепов требуемой грузоподъемности.

Рекомендации эксплуатационно-технического характера:

- использование подвижного состава с оптимальными параметрами подвески по жесткости, амплитуде и частоте колебаний, а также поддержание указанных параметров в оптимальных пределах в процессе эксплуатации с целью уменьшения динамических нагрузок;
- поддержание требуемого давления воздуха в шинах автопоезда для обеспечения их оптимальной жесткости, увеличения плавности хода и снижения динамических нагрузок;
- использование одинаковых типов подвесок тягачей и полуприцепов для исключения резонансных нагрузок;
- применение полуприцепов с поворотными осями для уменьшения величин изгибающих моментов при прохождении кривых.

Рекомендации организационно-технического характера:

- оптимизация схем размещения грузов большой массы с использованием разработанного метода;
- обследование и выбор маршрутов движения с использованием метода оценки дорожных условий на основе полученного эквивалентного показателя;
- оптимизация параметров режимов движения с использованием разработанного метода, модели и номограммы;
- внедрение системы GPS-мониторинга автотранспорта расширенной функциональности, способной контролировать и регулировать скоростной режим по динамической нагрузке в несущей системе автопоезда.

#### 4.8 Расчет экономического эффекта мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на ПАО «ММК им. Ильича»

Экономический эффект от предложенных мероприятий по оптимизации схем размещения груза и разработке оптимальных режимов движения определяется отсутствием дополнительных затрат при снижении показателей эксплуатационной готовности. Его величина определяется выражением:

$$C_{\text{Э}} = (SQ_n^{n.l} - (\Delta S + S)Q_n^{\phi})A_{cn}, \quad (4.9)$$

где  $A_{cn}$  – списочный парк автопоездов, ед., принимаем  $A_{cn} = 30$  ед.;

$S$  – планируемая себестоимость перевозок, грн/т,  $S = 22$  грн./т (по данным предприятия);

$Q_n^{n.l}$ ,  $Q_n^{\phi}$  – соответственно плановая и фактическая производительность одного автопоезда, т/год;

$$Q_n^{n.l} = q\gamma_c^{n.l}n_eT_{\text{дн}}^2\alpha_T^{n.l}, \quad (4.10)$$

где  $q$  – грузоподъемность автопоезда, т, принимаем по техническим данным подвижного состава базового предприятия  $q = 26$  т;

$\gamma_c^{n.l}$  – плановый коэффициент использования грузоподъемности (табл. 4.3);

$\alpha_T^{n.l}$  – плановый коэффициент технической готовности парка автопоездов, (табл. 4.4);

$T_{\text{дн}}^2$  – календарное число дней в году, дн., принимаем 365 дней;

$n_e$  – число ездов автопоезда в сутки, принимаем  $n_e = 8$  ездов.

Необходимо отметить, что на рассматриваемых перевозках автопоезда работают по 12-часовому графику в 2 смены (табл. 1.1). При этом максимальное число ездов в сутки составляет 8 ед., а в смену – не более 4-х. При расстоянии перевозки в 21-25 км, среднем времени на погрузочные операции 1 час, времени в движении 1,3-1,5 часа, время одной ездки составляет 2,3-2,5 часа. Среднетехническая скорость по данным предприятия составляет 32,5 км/ч. По данным хронометрических наблюдений в ходе промышленной проверки, значение среднетехнической скорости уменьшилось до 28-30 км/ч. Поэтому снижение скорости на отдельных участках со сложными дорожными условиями, с целью оптимизации скоростного режима, на выполнение плана перевозок не отразится. При существующей технологии перевозок имеется запас рабочего времени в количестве 2-2,5 часов в смену или 5-5,6 часов в сутки.

$$Q_n^\phi = q\gamma_c^\phi n_e T_{\text{дн}}^\phi \alpha_T^\phi, \quad (4.11)$$

где  $\gamma_c^\phi$  – фактический коэффициент использования грузоподъемности,  $\gamma_c^{nl} = 1,0$ ;

$\alpha_T^\phi$  – фактический коэффициент технической готовности парка автопоездов;

$\Delta S$  – увеличение себестоимости транспортирования от снижения коэффициента технической готовности парка подвижного состава, грн/т;

Увеличение себестоимости транспортирования от снижения коэффициента технической готовности парка подвижного состава определяется уравнением:

$$\Delta S = \frac{\Delta\alpha_T C_{II}}{q\gamma_c^\phi \beta_e} \left[ \frac{L_{ez} + t_{np} V_T \beta_e}{V_T (1 - \Delta\alpha_T)} \right], \text{ грн/т} \quad (4.12)$$

где  $\Delta\alpha_T$  - снижение коэффициента технической готовности, (табл. 4.3);

$C_{II}$  - постоянные расходы, грн./ч, по данным базового предприятия принимаем  $C_{II} = 210$  грн/ч;

$V_T$  - среднетехническая скорость, км/ч, принимается 32,5 км/ч (по данным предприятия);

$t_{np}$  - время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, ч;

$\beta_e$  - коэффициент использования пробега за езду,  $\beta = 0,5$ , для маятникового маршрута с обратным кольцевым пробегом;

$L_{ez}$  - расстояние груженой ездки, принимаем для маршрута «стан 1700 – МГМТП», равным 21 км;

Результаты расчетов по четырехлетнему периоду эксплуатации показаны на диаграмме (см. рис. 4.4) и приведены в табл. 4.3.

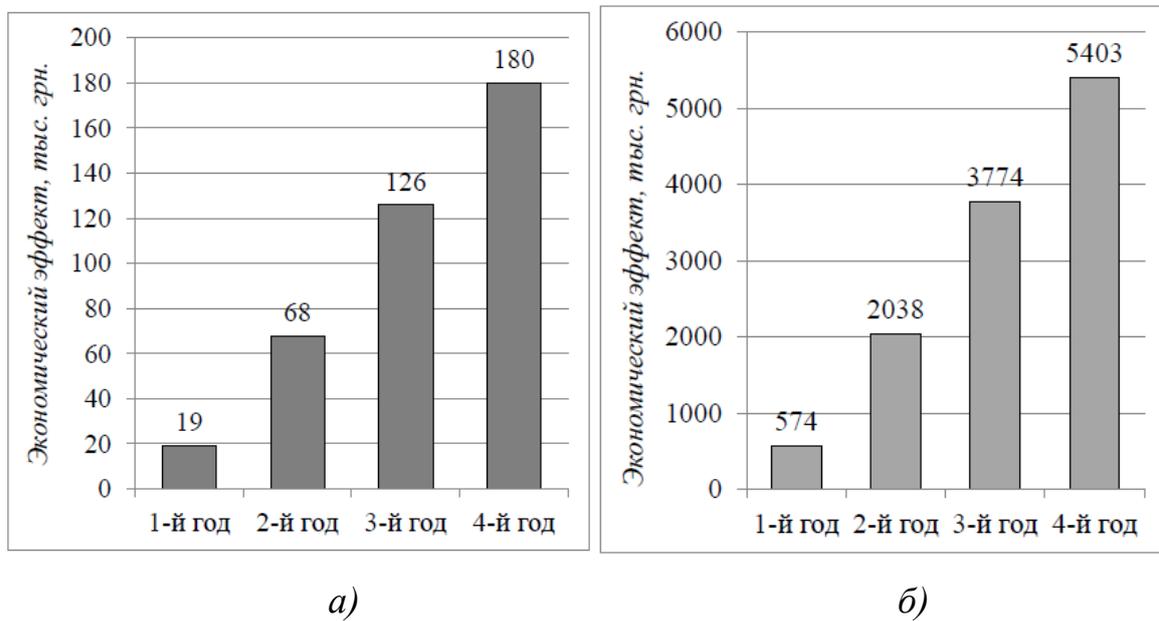


Рисунок 4.4 – Экономический эффект при внедрении мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции: а – на один автопоезд; б – для парка автопоездов (30 ед.)

Таблица 4.3 – Расчет показателей экономического эффекта

Показатели	Обозначение	Период эксплуатации, год			
		1-й	2-й	3-й	4-й
Фактический коэффициент технической готовности парка автопоездов	$\alpha_T^{\phi}$	0,87	0,78	0,69	0,62
Плановый коэффициент технической готовности парка автопоездов	$\alpha_T^{nl}$	0,92	0,87	0,81	0,75
Величина снижения коэффициента технической готовности	$\Delta\alpha_T$	0,05	0,09	0,12	0,13
Фактический коэффициент технической готовности парка автопоездов	$\gamma_c^{\phi}$	1	0,98	0,95	0,91
Плановая производительность одного автопоезда	$Q_n^{nl}$	69846	66050	61495	56940
Фактическая производительность одного автопоезда	$Q_n^{\phi}$	66050	58033	49766	42834
Увеличение себестоимости транспортирования от снижения коэффициента технической готовности парка	$\Delta S$	0,97	1,87	2,66	3,04
Экономический эффект по одному автопоезду	$C_{Э1}$	<b>19148</b>	<b>67942</b>	<b>125794</b>	<b>180107</b>
Экономический эффект по всему парку автопоездов	$C_{Э}$	<b>574450</b>	<b>2038261</b>	<b>3773815</b>	<b>5403199</b>

#### 4.9 Расчет экономического эффекта мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на ПСП «Азовинтэкс»

Исходные данные для расчета.

Тип подвижного состава – автопоезд в составе трехосного седельного тягача и двухосного полуприцепа;

Вид груза – штучный или тарно-штучный большой массы;

Масса единицы груза – 7-10 т;

$S$  – планируемая себестоимость перевозок,  $S = 30$  грн./т;

$q$  - грузоподъемность автопоезда,  $q = 26$  т;

$T_{дн}^c$  – календарное число дней в году, дн.;

$n_e$  – среднее число ездов автопоезда в сутки,  $n_e = 6$  ездов;

$C_{II}$  - постоянные расходы, грн./ч,  $C_{II} = 320$  грн./ч;

$V_T$  - среднетехническая скорость,  $V_T = 30$  км/ч;

$t_{np}$  - среднее время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ и сопутствующих им операций,  $t_{np} = 1,0$  ч;

$\beta_e$  - коэффициент использования пробега за езду,  $\beta = 0,5$  для маятникового маршрута с обратным порожним пробегом;

$L_{ee}$  - среднее расстояние груженой ездки, принимаем для городского маршрута равным 25 км;

$\gamma_c^\phi$  – средний фактический коэффициент использования грузоподъемности при перевозке заданного груза,  $\gamma_c^{nl} = 0,92$ ;

$\alpha_T^\phi$  – средний фактический коэффициент технической готовности парка автопоездов,  $\alpha_T^\phi = 0,74$ ;

$\gamma_c^{nl}$  – средний плановый коэффициент использования грузоподъемности,  $\gamma_c^{nl} = 0,95$ ;

$\alpha_T^{nl}$  – средний плановый коэффициент технической готовности парка автопоездов,  $\alpha_T^{nl} = 0,84$ .

#### Расчеты

Экономический эффект от предложенных мероприятий по оптимизации схем размещения груза и разработке оптимальных режимов движения определяется отсутствием дополнительных затрат при снижении показателей эксплуатационной готовности. Его величина в расчете на один автопоезд определяется выражением:

$$C_{\text{Э}} = SQ_n^{\text{пл}} - (\Delta S + S)Q_n^{\text{ф}}, \quad (4.13)$$

$Q_n^{\text{пл}}$ ,  $Q_n^{\text{ф}}$  определяем по формулам (4.10) и (4.11),  $\Delta S$  определяем по формуле (4.12)

$$\Delta S = \frac{(0,84 - 0,74) \cdot 320}{26 \cdot 0,92 \cdot 0,5} \left[ \frac{25 + 1 \cdot 30 \cdot 0,5}{30 \cdot (1 - 0,1)} \right] = 3,96 \text{ грн./т.}$$

$$Q_n^{\text{пл}} = 26 \cdot 0,95 \cdot 6 \cdot 365 \cdot 0,84 = 47829,6 \text{ т/год.}$$

$$Q_n^{\text{ф}} = 26 \cdot 0,92 \cdot 6 \cdot 365 \cdot 0,74 = 38764,7 \text{ т/год.}$$

Годовой экономический эффект в расчете на один автопоезд:

$$C_{\text{Э}} = 30 \cdot 47829,6 - (3,96 + 30) \cdot 38764,7 = 45770 \text{ грн./год.}$$

#### 4.10 Выводы по разделу 4

Экспериментальными исследованиями установлено, что параметры скоростного режима движения большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции зависят главным образом от параметров дорожных условий. Уравнения, устанавливающие взаимосвязь критериев скоростного

режима, дорожных условий и допустимых динамических нагрузок получены на основе экспериментальных зависимостей.

Динамические нагрузки по оптимизированным режимам движения установлены с помощью предложенной модели.

Сравнение полученных данных с существующими показателями подтверждает, что установленные скоростные режимы в полной мере обеспечивают заданные уровни эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов, их высокопроизводительную и экономичную эксплуатацию.

Разработанные метод, модель и алгоритм, а также номограмма, приняты в основу инженерной методики оптимизации режимов движения по критерию динамической нагрузки.

Результаты работы приняты к внедрению на ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь). Как показала промышленная проверка, планируемый годовой экономический эффект при внедрении разработанных мероприятий составил 19-20 тыс. грн. на один автопоезд в первый год эксплуатации. На ПСП «Азовинтэкс» (г. Мариуполь) результаты работы внедрены. При этом годовой экономический эффект от внедрения разработанных мероприятий составил 45-50 тыс. грн. на один автопоезд. На способ транспортирования получен патент.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научно-прикладная задача повышения эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции на основе оптимизации показателей режимов движения и схем погрузки.

Основные выводы, результаты выполненных исследований и научных разработок заключаются в следующем.

1. Установлено, что на рассматриваемых перевозках подвижной состав эксплуатируется с повышенными, а в ряде случаев, недопустимыми статическими и динамическими нагрузками. Повышенный нагрузочный режим определяется нерациональными схемами размещения груза и режимами движения в сложных дорожных условиях. В этих условиях имеет место быстрый физический износ несущих систем полуприцепов. Поддержание работоспособного состояния требует многократных ремонтов, что приводит к значительному снижению производительности автопоездов и существенному росту затрат на их эксплуатацию.

2. Исследования показали, что местом концентрации отказов является участок лонжерона с переменным сечением в зоне седельно-сцепного устройства, а величину статической нагрузки в этой зоне определяют координаты размещения груза. Уменьшение статических нагрузок в рассматриваемой зоне впервые выполнено многомерной оптимизацией размещения груза с применением метода циклического покоординатного спуска на основе разработанных модели и алгоритма. Предложенная оптимизированная схема обеспечила значительное уменьшение величины изгибающего момента (в 2,3 раза) и напряжения (в 4,2 раза).

3. Впервые в качестве основных факторов дорожных условий, влияющих на величину динамических нагрузок, приняты горизонтальные кривые, неровности и дефекты дорожного покрытия. По результатам

экспериментальных исследований влияние этих факторов определено для различных скоростей движения (10 - 40 км/ч).

Для рассматриваемых условий установлены частные корректирующие коэффициенты динамичности, на основе которых предложен интегральный показатель, соответствующий минимальному значению коэффициента динамичности.

На основе модели разработана номограмма, позволяющая сопоставлять и выбирать оптимальные маршруты движения большегрузных автопоездов по параметрам дорожных условий.

4. В работе впервые установлены зависимости параметров скоростного режима автопоездов от величины динамических нагрузок в увязке с параметрами дорожных условий и прочностными характеристиками несущих систем. С учетом всего комплекса условий (скорость, прочностная характеристика, радиус горизонтальной кривой, ровность и дефектность дорожного полотна) разработаны метод, модель и алгоритм оптимизации режимов движения. Для практических расчетов предложена номограмма, позволяющая определять оптимальные режимы движения большегрузных автопоездов.

Данные промышленной проверки подтвердили соответствие параметров оптимизированных режимов движения допустимому уровню динамических нагрузок. При этом сходимость результатов достигнута на уровне 93%.

5. Результаты проведенных исследований приняты в основу комплексной инженерной методики для расчета схем размещения нескольких штучных грузов повышенной массы, выбора маршрутов транспортирования и оптимизации режимов движения по критерию динамической нагрузки.

Результаты работы приняты к внедрению на ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь). Как показала промышленная проверка, планируемый годовой экономический эффект при внедрении разработанных мероприятий составил 19-20 тыс. грн. на один автопоезд в первый год эксплуатации. На

ПСП «Азовинтэкс» (г. Мариуполь) результаты работы внедрены. При этом годовой экономический эффект от внедрения разработанных мероприятий составил 45-50 тыс. грн. на один автопоезд. На способ транспортирования получен патент.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Автомобильные дороги (примеры проектирования) – [Под ред. В.С. Порожнякова]. – М.: Транспорт, 1983. – 303 с.
2. Автослябовоз на металлургическом заводе / Г.Е. Лебедев, В.А. Мироненко, М.Э. Корленштейн, А.Ф. Примак // Промышленный транспорт. – 1978. – № 9. – с. 16-17.
3. Ага Н. В. Разработка методов расчета показателей качества нелинейных виброзащитных систем автомобиля с учетом многообразия условий эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Н. В. Ага. – Курган, 2007. – 198 с.
4. Ажмегов В.Ф. Исследование систем поддресоривания автомобиля с учетом условий эксплуатации и влияние его колебаний на скорость движения: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / ВФ, Ажмегов. – М., 1982. – 182 с.
5. Альдайуб З. Разработка методики создания рам грузовых автомобилей минимальной массы, отвечающих требованиям по ресурсу, на стадии проектирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / З. Альдайуб – М., 2006. – 159 с.
6. Арнольд В. И. "Жесткие" и "мягкие" математические модели / В.И. Арнольд. – М: МЦНМО, 2008. – 32 с.
7. Астахова Т. В. Напряженно-деформированное состояние рамных конструкций карьерных автосамосвалов / Т.В. Астахова // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. – 2005. – С.78-83.
8. Афанасьев В.Л., Хачатуров А. А. Запись микропрофиля автомобильных дорог и его статистические характеристики./ Автомобильные дороги, №9, 1962 г.
9. Афанасьев В.Л. Метод записи микропрофиля автомобильных дорог и статистическое исследование ровности дорожного покрытия и

- вертикальных колебаний автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. -М., 1965. -158с.
10. Афанасьев В.Л., Хачатуров А.А. Статистические характеристики микропрофиля автомобильных дорог и колебания автомобиля // Автомобильная промышленность, №2, 1966 г.
  11. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов.— М.: Транспорт, 1993.—271 с.
  12. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. / В. Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1979. – 407 с.
  13. Баженов С. П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / С.П. Баженов, Б. Н. Казьмин, С. В. Носов; Под ред. С. П. Баженова. — М.; Издательский центр «Академия», 2005. — 336 с.
  14. Баловнев В. И. Автомобили и тракторы: краткий справочник / В. И. Баловнев, Р. Г.Данилов. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 384 с.
  15. Безверхий, С.Ф. Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей / С.Ф. Безверхий, Н.Н. Яценко М.: ИПК Издательство Стандартов, 1996.– 600 с.
  16. Бейгул О.А. Влияние типа подвески технологических платформ на пневмоколесном ходу на динамику нагружения несущих систем / О.А. Бейгул, А.Л. Лепетова // Системні технології. – 2003. – Вип. 1 (24). – С.3 – 10.
  17. Бейгул О.А. Проблемы проектирования несущих систем самоходных платформ на пневмоколесном ходу / О.А. Бейгул, А. В. Добрик, А.Л. Лепетова // Системні технології. – 2003. – Вип. 3 (26). – С.52 – 57.
  18. Бейгул О.А. Обоснование новых конструктивно-силовых схем несущих систем технологических платформ / О.А. Бейгул, В.В. Дорофеев, А.Л. Лепетова // Механизация производственных процессов рыбного

- хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – 2006. – Вып. 7. – С. 30 – 40.
19. Бейгул О.А. Выбор рациональной конструктивно-силовой схемы платформы-полуприцепа автослябовоза грузоподъемностью 65 т / О.А. Бейгул, С.В. Мямлин, А.Л. Лепетова // Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – 2007. – Вып. 8. – С. 155 – 158.
20. Бейгул О.А. Определение собственных частот технологической платформы на пневмоколесном ходу в поперечной плоскости / О.А. Бейгул, С.В. Мямлин, А.Л. Лепетова // Системні технології. – 2007. – Вип. 1 (48). – С.38 – 43.
21. Бейгул О.А. Научные основы обеспечения рациональных параметров несущих систем технологических платформ промышленного транспорта по критерию металлоемкости / О.А. Бейгул: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.12 / О.А Бейгул. – Днепродзержинск., 2007. – 308 с.
22. Бейко И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько.— К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983.— 512 с.
23. Беляев В.М. Автомобили: Испытания: Учеб. пособие для вузов / В. М. Беляев, М С. Высоцкий, Л. Х. Гилелес и др. - [Под ред. А. И. Гришкевича, М. С. Высоцкого]. — Мн.: Выш шк., 1991.— 187 с.
24. Безбородова Г.Б. Моделирование движения автомобиля / Г.Б. Безбородова, В.Г. Галушко. – Киев: "Вища школа", 1978. – 166 с.
25. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник для студентів спеціальності 7.100403 "Організація перевезень і управління на транспорті (автомобільний)" / М. Г. Босняк ; Мін. освіти і науки України. – К. : Слово, 2010. - 407 с.
26. Булычев Д. В. Автопоезда. Учебное пособие для водителей / Д.В. Булычев, М.И. Грифф.—М.: Транспорт, 1990.—215 с.

27. Ванчукевич В.Ф. Автомобильные перевозки. / В.Ф.Ванчукевич, В.Н. Седюкевич, В.С. Холупов. — Мн.: Дизайн ПРО, 1999. — 224 с.
28. Васильев А.В. Тензометрирование и его применение в исследования тракторов / А.В. Васильев, Д.М. Раппопорт. — М.: Машгиз. — 1969. — 340 с.
29. Васильев А.П. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / А. П. Васильев, В. И. Баловнев, М. Б. Корсунский и др. — [Под ред. А. П. Васильева].— М.: Транспорт, 1989.—287 с.
30. Васильев М.В. Автомобильные дороги / М.В. Васильев, С.М. Дубровицкий. — М.: Транспорт, 1982. — 136 с.
31. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / А.П. Васильев, В.М. Сиденко — М.: Транспорт, 1990. — 304 с.
32. Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях / А.П. Васильев — М.: Транспорт, 1976. — 224 с.
33. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. — Т. 1 : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П.Васильев. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 320 с.
34. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. — Т. 2 : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Васильев. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 320 с.
35. Вейцман М.И. Краткий справочник строителя автомобильных дорог / М. И. Вейцман, В. П. Егозов.— М: Транспорт, 1979.— 248 с.
36. Великанов Д.П. Эффективность автомобиля / Д.П. Великанов. — М.: Изд-во «Транспорт», 1969. — 240с.
37. Вельможин А.В. Грузовые автомобильные перевозки. Учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов - М.: Горячая линия - Телеком, 2006 - 560 с.

38. Власов В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов и др.; под ред. В. М. Власова. — [2-е изд., стер.]. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 480 с.
39. Вновь прирост грузопотоков / Журнал «Порты Украины». – Одесса, 2006. – Вып. №5 – С. 24-28.
40. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг.- [Пер. с англ.]— М.: Машиностроение, 1982.— 284 с.
41. Воронков А.Г. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги : метод. указания / сост. : А.Г. Воронков, К.А. Андрианов. - Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2008. — 24 с.
42. Высоцкий М. С. Основы проектирования автомобилей и автопоездов большой грузоподъемности / Ю. Ю. Беленький, М. С. Высоцкий, Л. Х. Гилелес, И. Ф. Демидович, С. Г. Херсонский, А. И. Титович — Мн., 1980. — 200 с.
43. Высоцкий М. С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плескачевский, А. О. Шимановский; Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. — Мн.: Белавтотракторостроение, 2006. — 320 с.
44. Гарг В. К. Динамика подвижного состава / В. К. Гарг, Р.В. Дуккипати – [Пер. с англ. / Под ред. Н. А. Панькина]. — М.: Транспорт, 1988. – 391 с.
45. Гельфгат Д.Б. Рамы грузовых автомобилей / Д. Б. Гельфгат, В. А. Ошноков. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. – 231 с.
46. Гладов Г.И. Специальные транспортные средства: Теория: Учебник для вузов / Гладов Г.И., Петренко А.М. – М. Академкнига, 2006. - 215 с.
47. Глушак Б.Л. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках / Б. Л. Глушак, В. Ф. Куропатяко, С. А. Новиков.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 295 с.

48. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Э. Горев. — [5-е изд., испр.]. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 288 с.
49. Горев А. Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. Э. Горев, Е. М. Олещенко. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 256 с.
50. Гришкевич, А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов / А.И. Гришкевич. — Мн.: Высш. школа, 1986. - 208 с.
51. Гришкевич А.И. Исследование динамики движения армейских автомобилей по дорогам с неровной поверхностью: автореф. дис. ... докт. техн. наук. — Минск, 1973. - 43 с.
52. Дащенко А. Ф. Анализ напряженно-деформированного состояния рамы автомобильного полуприцепа в программе ANSYS. / А.Ф. Дащенко, Н. Г. Д. В Сурьянинов, Лазарева. // Вестник Харьковский нац. автомобильно-дорож. ун-т. — Х., 2005. — Вып.29. — С. 155-201.
53. Дегтяренко В.Н. Автомобильные дороги и автомобильный транспорт промышленных предприятий / В.Н. Дегтяренко. — М.: Высш. школа, 1981. — 261 с.
54. Дементьев Ю.В. САПР в автомобиле- и тракторостроении: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.В.Дементьев, Ю.С.Щетинин. — [Под общ. ред. В. М. Шарипова]. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 224 с.
55. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин / А.Д. Дербаремдикер. — [2-е изд., перераб. и доп.] — М.: Машиностроение, 1985. — 200 с.
56. Дербаремдикер А.Д. Новый метод оценки плавности хода автотранспортных средств / А.Д Дербаремдикер // Автомобильная промышленность.— 1991. — Вып. 5.— С. 18-20.
57. Дидманидзе О.Н. Автотранспортные и тракторные перевозки. Учебник для сельскохозяйственных вузов / О.Н. Дидманидзе, К. В Рыбаков,

- Г.Е. Митягин, В.Л. Пильщиков, Р.Н. Егоров, Я.В. Чупеев, Е.Э. Чупеева. - М.: УМЦ «ТРИАДА». 2005. – 552 с.
58. Динамика системы дорога — шина автомобиль — водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев и др. – [Под ред. А.А. Хачатурова.] – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
59. Дматриченко С.С. Исследование микропрофилей дорог для городского транспорта / С.С. Дматриченко, И.Н. Илинич, В.А. Колокольцев // Автомобильная промышленность. – 1976. – . С. 24-25.
60. Дячук М.В. Вдосконалення розрахункових методів оцінки параметрів вібронавантаженості несучих систем автомобіля: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / М.В. Дячук; Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. — Х., 2005. — 20 с.
61. Ерёмина И. В. Обеспечение плавности хода при проектировании легкового автомобиля с учетом влияния потерь на трение в подвеске: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / И. В. Ерёмина – Тольятти, 2008. – 148 с.
62. Жилинков А.А. Анализ отказов автопоездов на внешних перевозках металлопродукции / А.А. Жилинков // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ДВНЗ «Приаз. держ. техн. ун-т», 2008. – Вип. № 18. Ч.1. – С.241 – 243.
63. Жилинков А.А. Метод планирования технического обслуживания и текущего ремонта большегрузных автопоездов при перевозке металлопродукции на основе комплексного коэффициента эквивалентности / А.А. Жилинков, В.Э. Парунакян // Межвузовский сборник научных трудов «Защита металлургических машин от поломок» – Мариуполь, 2009. – Вып. № 11. – С. 74 – 81.
64. Жилинков А.А. Методика экспериментальных исследований процессов деформации несущей системы автопоездов при перевозке металлопродукции / А.А. Жилинков, В.Э. Парунакян // Вісник Приазов.

- держ. техн. ун-ту/ Сер.: Технічні науки: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ДВНЗ «Приаз. держ. техн. ун-т», 2009. – Вип. № 19. – С. 256-260.
65. Жилинков А.А. Оценка эффективности эксплуатации большегрузных автопоездов при перевозке металлопродукции / А.А. Жилинков // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту: Наук. Журнал – Донецьк, 2010, - Вип. № 1. - С. 18-25.
66. Жилинков А.А. Расчет оптимального размещения стальных рулонов на специализированных полуприцепах с использованием метода циклического покоординатного спуска / А.А. Жилинков // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. Даля, 2010. – Вип. № 10. Ч. 2. – С. 101–107.
67. Жилинков А.А. Вопросы повышения эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции / А.А. Жилинков // Вісник Східноукр. нац. у-та ім В. Даля. – Наук. журнал. – Луганськ, 2012. – Вип. № 4(175) 2012. – С.146 – 152.
68. Жилинков А.А. Исследование режимов движения большегрузных автопоездов на перевозках экспортной металлопродукции / А.А. Жилинков // Межвузовский сборник научных трудов «Защита металлургических машин от поломок» – Мариуполь, 2012. – Вып. № 12. – С. 220 – 226.
69. Зусов В. Н. Разработка методов создания несущих систем колесных машин с оптимальными параметрами: дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук: 05.05.03 / В.Н Зусов. – М., 2002. – 347 с.
70. Испытания и ремонт автомобильных рам / [Лельчук Л. М., Сархошьян Г. Н., Кобрин М, М., Гурман В. С. (Гос. науч.-исслед. ин-т автомобильного транспорта — НИИАТ)]. – М., «Транспорт», – 1974. 224 с.
71. Каменецкий Б. И. Автомобильные дороги: Учебник / Б. И. Каменецкий, И. Г. Кошкин — [3-е изд., перераб. и доп.] — М.: Транспорт, 1979. – 144 с.

72. Канарчук В.Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. Кн. 1. Теоретические основы. Технология / В. Е. Канарчук, А. А. Лудченко, И. П. Курников. — К.: Выща шк., 1991. — 359 с.
73. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. – УРСС, 2003. – 272 с.
74. Кац Л. М. Автомобильные кузова. / Л. М. Кац – [Изд. 2-е, перераб. и доп.] – М.: «Транспорт», 1972, – 296 с.
75. Клокова Н.П. Тензодатчики для экспериментальных исследований / Н.П. Клокова и др. – «Машиностроение», 1972. – 152 с.
76. Колебания автомобиля. Испытания и исследования / [Певзнер Я.М., Гридасов Г.Г., Конев А.Д.; Под ред. Я. М. Певзнера]. – М.: Машиностроение, 1979 — 208 с.
77. Колокольцев В.А. Расчет несущих систем машин при случайных стационарных колебаниях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / В.А. Колокольцев. – Саратов.: СГТУ, 2000. – 32 с.
78. Конструкция автомобиля. Шасси – [Н. В. Гусаков, И. Н. Зверев, А. Л. Карунин, П. А. Мерзликин и др.; Под общ. ред. А. Л. Карунина] – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.
79. Краткий автомобильный справочник. Том 2. Грузовые автомобили / [Кисуленко Б.В. и др.]. – М.: ИПЦ «Финпол», 2004, – 667 с.
80. Краткий автомобильный справочник. Справ. изд.: В 5. т Т.4. Специальные и специализированные автотранспортные средства в трех ч. Часть I: Фургоны, самосвалы, платформы тягачи специальные, прицепы-ропуски России и СНГ / [М. И. Грифф, И. А. Венгер, В. С. Олитский и др.]. – М.: Автополис-плюс, 2004. – 448 с.
81. Кудрявцев М.Н. Изыскания и проектирование автомобильных дорог / М.Н. Кудрявцев, В.Е. Каганович – М.: Транспорт, 1986. – 296 с.

82. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – [4-е изд., перераб. и дополн.]. – М: Наука, 2001. – 535 с.
83. Леонович И.И. Диагностика автомобильных дорог : учеб. пособие / И.И. Леонович, С.В. Богданович, И.В. Нестерович. — Минск: Новое знание. – М.: ИНФРА-М, 2011. — 350с.
84. Леонтьев Б.К. GPS: Все, что Вы хотели знать, но боялись спросить. Неофициальное пособие по глобальной системе местоопределения / Б.К. Леонтьев. – М.: Литературное агентство «Бук-пресс», 2006. – 352 с.
85. Литвинов А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин .—М.: Машиностроение, 1989.—240 с.
86. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.
87. Лукинский В.С. Прогнозирование надёжности автомобилей. / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
88. Лукинский В.С. Логистика автомобильного транспорта: Учеб. пособие/ В. С. Лукинский, В. И. Бережной, Е. В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.
89. Майборода М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебное пособие / М.Е. Майборода, В.В. Беднарский. — Изд. 2-е. — Ростов н/Д: Феникс, 2008. — 442 с.
90. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей. Теоретические и практические аспекты: учеб пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 288 с.
91. Немец И. Практическое применение тензорезисторов / И. Немец. – [Пер. с чешск.]. – М.: «Энергия». – 1970. – 144 с.

92. Несвитский Я.И. Техническая эксплуатация автомобилей / Я.И. Несвитский. – К.: Вища школа, 1971. – 428с.
93. Нечаев А.Н., Орехов И.А. Определение дорожных неровностей большой длины. В кн.: Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. / А.Н. Нечаев, И.А. Орехов // Труды БелдорНИИ. – 1975. – 193 с.
94. Олещенко Е.М. Основы грузоведения: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е. М. Олещенко, А. Э. Горев. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 288 с.
95. Осепчугов В. В. Анализ конструкций, элементы расчета: Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В.В. Осепчугов, А.К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
96. Павленко П. Д. Методология разработки рациональных конструкций несущей системы и ходовой части большегрузных строительных автомобилей-самосвалов: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.05.03 / П. Д. Павленко. – Набережные челны, 2005. – 400 с.
97. Парунакян В.Э. Оценка работоспособности серийных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции / В.Э. Парунакян, А.А. Жилинков // Межвузовский сборник научных трудов «Защита металлургических машин от поломок» – Мариуполь, 2008. – Вып. № 10. – С. 220 – 226.
98. Парунакян В.Э. Расчет оптимального размещения стальных рулонов на специализированных полуприцепах с использованием метода циклического покоординатного спуска / В.Э. Парунакян, А.А. Никитченко, А.А. Жилинков // Межвузовский сборник научных трудов «Защита металлургических машин от поломок» – Мариуполь, 2010. – Вып. № 12. – С. 118 – 124.
99. Парунакян В.Э. К вопросу повышения эксплуатационной готовности большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции / В.Э. Парунакян, А.А. Жилинков // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту.

- Сер.: Технічні науки: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ДВНЗ «Приаз. держ. техн. ун-т», 2011. – Вип. № 2(23). – С.277 – 282.
100. Певзнер Я. М. Результаты обследования микропрофиля основных типов дорог / Я. М. Певзнер, А. А. Тихонов // Семинар по подвескам автомобиля: Труды НАМИ. – М., 1963. – Вып. 8. С. 135 – 142.
101. Пеньшин, Н.В. Эффективность и качество как фактор конкурентоспособности услуг на автомобильном транспорте: монография / Н.В. Пеньшин. – [под науч. ред. В.П. Бычкова]. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 224 с.
102. Подводя итоги года / Журнал «Порты Украины». – Одесса, 2007. – Вып. №1 – С. 31-34.
103. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / М-во автомоб. трансп. РСФСР. – М.: Транспорт, 1986. – 72 с.
104. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранспорт України, 1998. – 10 с.
105. Порты Украины в цифрах / Журнал «Порты Украины». – Одесса, 2005. – Вып. №6. – С. 14-18.
106. Порты Украины в 1-м полугодии 2006 года / Журнал «Порты Украины». – Одесса, 2006. – Вып. №4.- С. 22-27.
107. Правила перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні, затвержені наказом Міністерства транспорту України 14.10.97 N 363, зі змінами та доповненнями
108. Правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів. – К.: Мінтранс України, 2003. – 24 с.
109. Прокофьев М.В. Автомобильные транспортные средства. Международные требования к конструкции и эксплуатации /

- М.В. Прокофьев. – [Изд. 2-е, изм. и доп. М.: ТРИАДА ЛТД]. – 2005. 120 с.
110. Проскураков В. Б. Динамика и прочность рам и корпусов транспортных машин / В. Б. Проскураков. – Л., «Машиностроение». 1972. – 232 с.
111. Раймпель Й. Шасси автомобиля / Й. Раймпель – [Сокр. пер 1 тома 4 нем. изд. В.П. Агапова; Под ред. И.Н. Зверева]. – М.: "Машиностроение", 1983. – 356 с.
112. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Конструкция подвесок / Й. Раймпель. – [Пер. с нем. В.П. Агапова]. – М.: Машиностроение, 1989. – 328с.
113. Раймпель И. Шасси автомобиля: Амортизаторы, шины, колеса / Й. Раймпель. – [Пер. с нем. В.П. Агапова; Под ред. О.Д. Златовратского]. – М.: Машиностроение, 1986. - 328с.
114. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески / Й. Раймпель. – [Пер. с нем. В.П. Агапова]. – М.: Машиностроение, 1987. - 328с.
115. Рассоха В.И. Расчетно-экспериментальная методика стендовых испытаний на усталость рамных металлоконструкций транспортных средств: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / В.И. Рассоха. — М., 1996. – 358 с.
116. Рафф М. И. Грузовые автомобильные перевозки / М.И. Рафф – Издательское объединение «Вища школа», 1975. – 288 с.
117. Резник Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
118. Рекорд украинских портов / Журнал «Порты Украины». – 2008. №1.
119. Русанов О. А. Расчетный анализ напряженного состояния и оценка прочности несущих систем тракторов: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.05.03 / О. А. Русанов. — М., 2009. – 347 с.
120. Рыков С.П. Разработка методов оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин при расчетах колебаний автомобиля:

- дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.05.03. / С.П. Рыков, – М.: НАМИ, 2000, – 177 с.
121. Савин В.И. Перевозки грузов автомобильным транспортом Справочное пособие / В.И. Савин. — [2-е изд., перераб. и доп.] — М.: Издательство «Дело и Сервис», 2004. — 544 с.
122. Садило М.В. Автомобильные дороги : строительство и эксплуатация : учебное пособие / М.В. Садило, Р.М. Садило. — Ростов н/Д: Феникс, 2011. — 367 с.
123. Самарский А.А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А. П. Михайлов. — [2-е изд., испр.]. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
124. Сибгатуллин К. Э. Разработка методов расчета на прочность несущих систем грузовых автомобилей с учетом пластических деформаций: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / К. Э. Сибгатуллин: – Набережные Челны, 2009. – 151 с.
125. Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Сапегин Л.Н. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах / В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. – М.: МАДИ, 1978. – 116 с.
126. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. — [2-е изд., стер.] — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 352 с.
127. Слепенко Е. А. Оценка стабильности контакта колес автомобиля с опорной поверхностью: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Е.А. Слепенко – Братск, 2004. – 151 с.
128. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. — [2-е изд., доп. и перераб.] — М.: Машиностроение, 1990. —352 с.

129. Современные грузовые автотранспортные средства. Справочник / [Пойченко В.В., Кондрашов П.В., Потемкин СВ. и др.]. — М.: агентство Доринформсервис, 2004. — 592 с.
130. Справочная энциклопедия дорожника. Том 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог. — [Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева]. — М.: 2004. — 512 с.
131. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс. — М.: Мир, 1977. - 349 с.
132. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. — [Р.А. Макаров, А.Б. Ренский, Г.Х. Боркунский. Под ред. канд. техн. Наук Р. А. Макарова]. — М.: «Машиностроение», 1975. — 288 с.
133. Тесер Е. Кузова большегрузных автомобилей / Тесер Е. — [Пер. с пол. / Пер. Г.В. Коршунов]. — М.: Машиностроение, 1979. — 232 с.
134. Туревский И. С. Техническое обслуживание автомобилей. Книга 1. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей: учебное пособие. — М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. — 432 с.
135. Туревский, И. С. Экономика и управление автотранспортным предприятием Учеб. пособие / И.С. Туревский.— М.: Высшая школа, 2006. — 222 с:
136. Фентон Дж. Несущий каркас кузова автомобиля и его расчет / Дж. Фентон. — [Пер. с англ. К. Г. Бомштейна. Под ред. чл.-корр. АН СССР Э. И. Григолюка]. — М.: Машиностроение, 1984. - 200 с.
137. Халтурин В. К. Совершенствование методов обеспечения прочностной надежности несущих систем промышленных тракторов на основе моделирования динамических процессов эксплуатации и накопления усталостных повреждений: дис. .... канд. техн. наук: 05.05.03 / В.К. Халтурин — Челябинск, 2007. — 153 с.
138. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие / Р.Х. Хасанов. — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. — 193 с.

139. Хорольский Д.Ю. Справочник по металлопрокату / Д.Ю. Хорольский. – Харьков: «Металлика», 2005. – 834 с.
140. Чеботаев А. А. Специализированные автотранспортные средства: выбор и эффективность применения.— М.: Транспорт, – 1988.— 159 с.
141. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: «Мир». – 1972. – 376 с.
142. Яценко Н. Н. Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О. К. Прутчиков. М.: – «Машиностроение». 1968. – 220 с.
143. Яценко Н.Н. Колебания и форсированные испытания грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко. – М., «Машиностроение», 1972. – 372 с.
144. Маслак А.В. Модель скоростных режимов движения большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции в условиях города / А.В. Маслак, А.А. Жилинков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе : сб. науч. тр. – Воронеж, 2014. – Вып. №1. – С. 376-381.
145. Жилинков А.А. К вопросу оценки дорожных условий работы большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции / А.А. Жилинков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе : сб. науч. тр. – Воронеж, 2015. – Вып. №2. – С. 271-276.
146. Пат. 109493 Україна, МПК В62D 53/04. Спосіб транспортування вантажів великої маси сидельними автопоїздами / В.Е. Парунакян, О.О. Жилінков. – № 201400142; заявл. 09.01.2014; опубл. 25.08.2015, Бюл. №15. - 6 с.

## Приложение А

## Характерные отказы несущих систем большегрузных автопоездов



а)



б)



в)



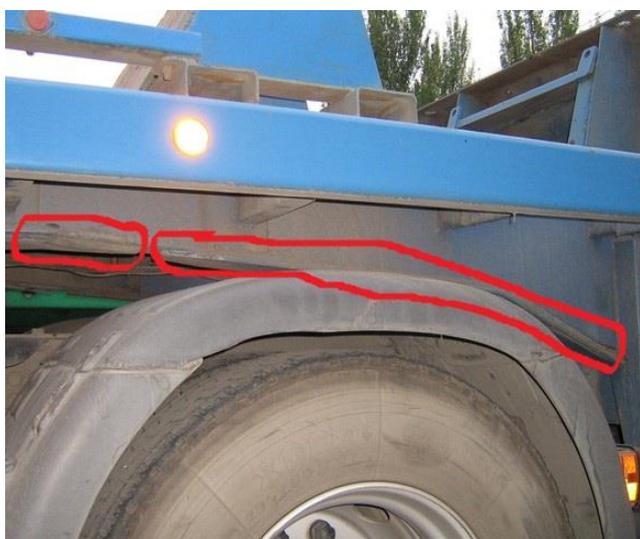
г)

Рисунок А.1 - Отказы элементов рам седельных тягачей МАЗ:

а – восстановленный участок лонжерона рамы в зоне размещения двигателя (МАЗ-642208); б - восстановленный участок лонжерона рамы в зоне седельно-сцепного устройства (МАЗ-642208); в – восстановленный участок лонжерона рамы в зоне размещения двигателя (МАЗ-643008); г - восстановленный участок лонжерона рамы в зоне седельно-сцепного устройства (МАЗ-643008)



Рисунок А.2 - Восстановленный участок лонжерона рамы тягача КАМАЗ-54115 в зоне седельно-сцепного устройства



*а)*



*б)*

Рисунок А.3 – Отказы элементов рам на полуприцепах ВАРЗ-9996:  
*а* – накладка в зоне седельно-сцепного устройства; *б* – сварочный шов в зоне переменного сечения лонжерона



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок А.4 – Отказы элементов рам полуприцепов МТМ-93301:

*а* - поперечная трещина лонжерона рамы; *б* - разрушения опорной плиты седельно-сцепного устройства; *в* - продольная трещина полки лонжерона; *г* - разрушение верхней части лонжерона рамы; *д* – поломки поперечин; *е* – разрушение лонжерона в зоне балансирной подвески

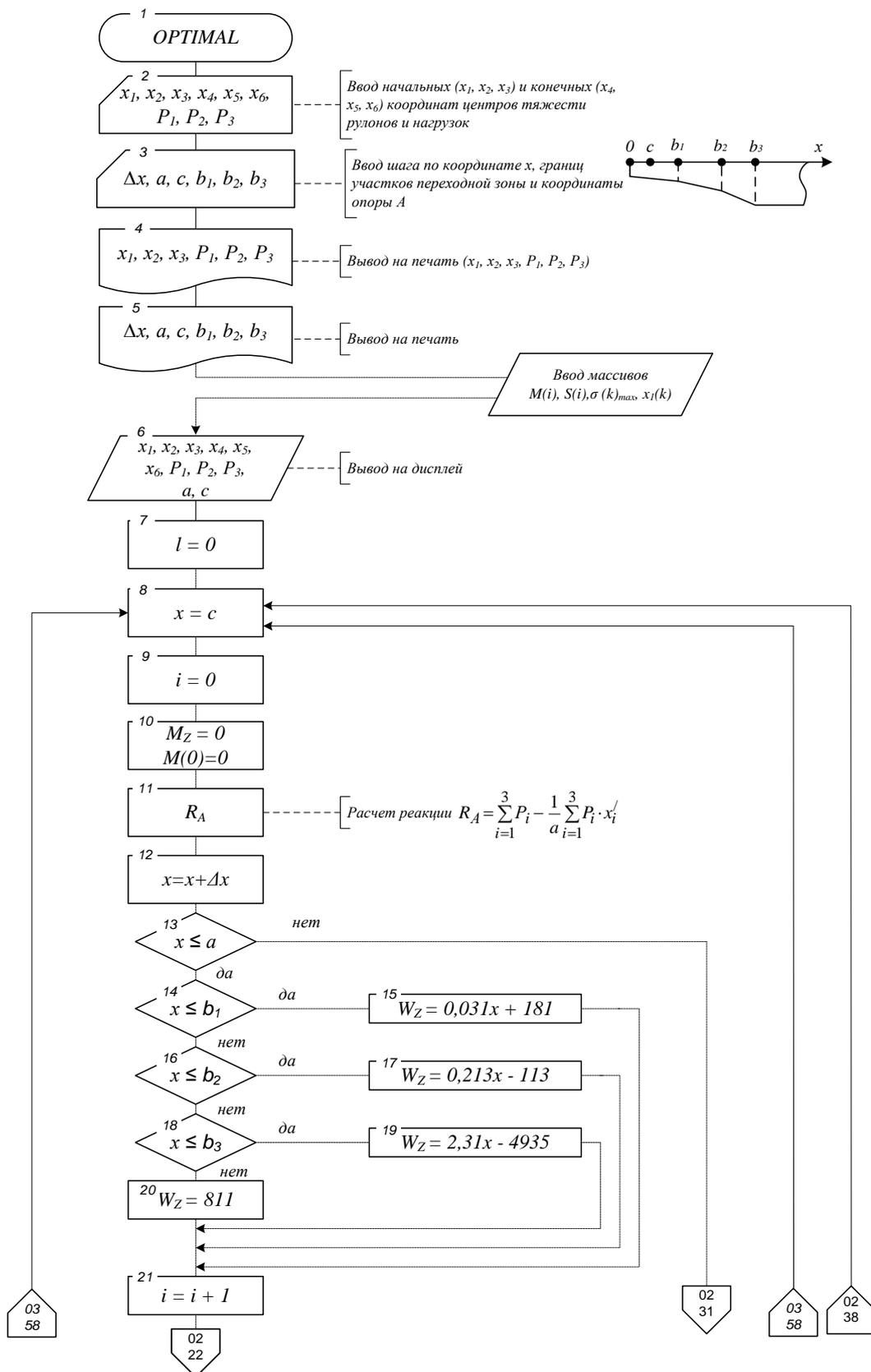
*a)**б)*

Рисунок А.5 – Отказы элементов рам полуприцепов МАЗ-938660:

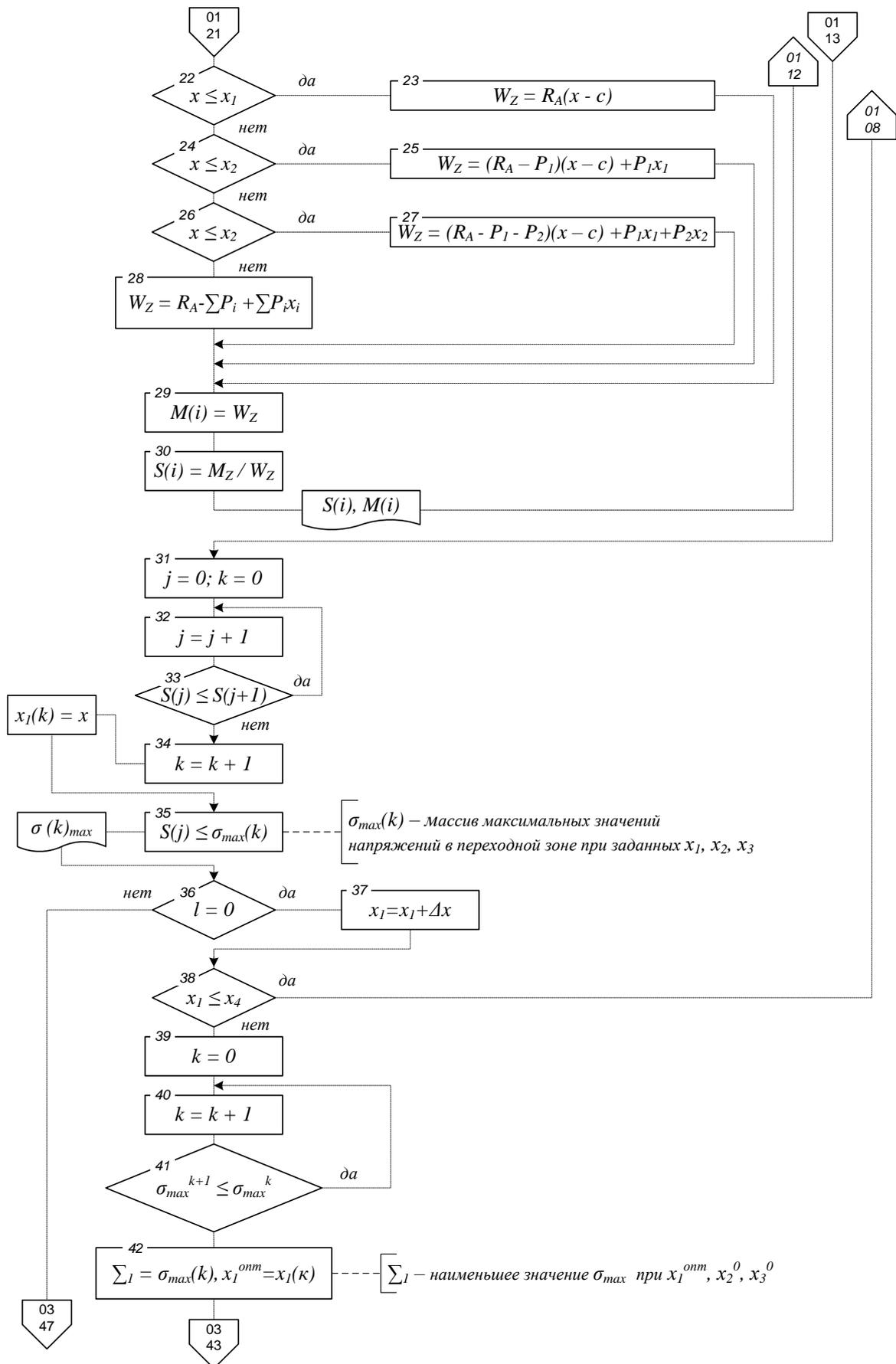
*a* – разрушения лонжерона в зоне балансирной подвески; *б* - разрушения лонжерона в зоне седельно-сцепного устройства

Приложение Б

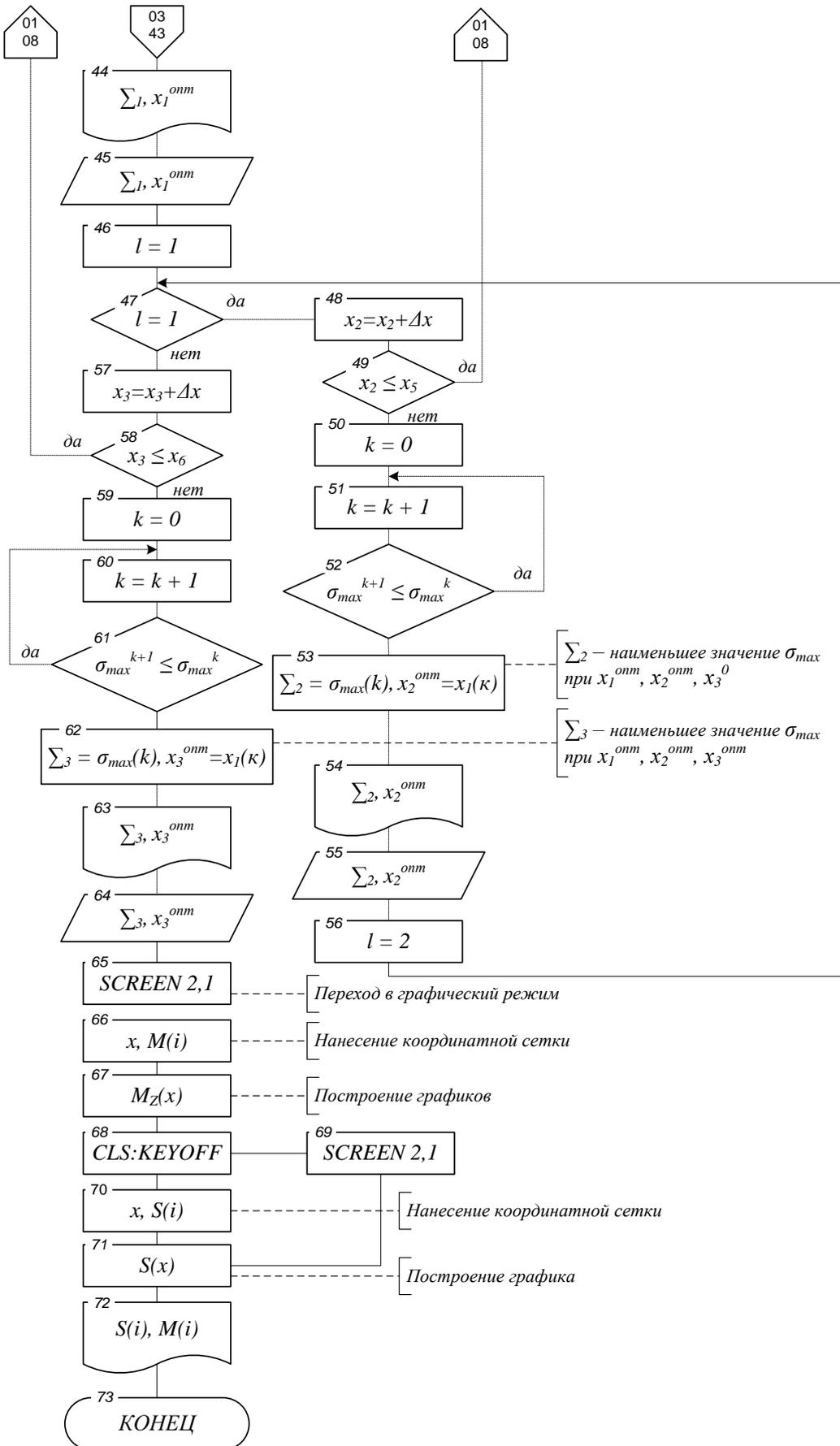
Блок-схема алгоритма многомерной оптимизации схем размещения груза



Продолжение приложения Б



Окончание приложения Б



## Приложение В

## Техническая характеристика подвижного состава

№ п/п	Параметры	Тип и марка подвижного состава							
		1		2		3		4	
1	Модель ПС	КамАЗ-54115	полу-прицеп Ода3-9370	МАЗ-642208	полу-прицеп МТМ-93301	МАЗ-643008	полу-прицеп МАЗ-938660	SCANIA P380LA6x4NHZ	полу-прицеп ВАРЗ-9996
2	Полная масса, кг	19305	19100	24500	32800	26100	32700	26000	
3	Снаряжённая масса, кг	7080	4600	9600	8000	10050	7500		5000
4	Полная масса автопоезда, кг	34305		44000		44000		38000	
5	Нагрузка на седельно-сцепное устройство, кг	12000	8100	14700	8800	15900	14700		16000
6	Распределение полной массы на дорогу, кг								
	передняя ось	4495		6500		7100		9000	
	задняя тележка	14810	11000	18000	8000	19000	18000	16000	16000
7	Масса перевозимого груза, кг		14500		24800		25200		27000
8	Габаритные размеры, мм								
	- длина	6220	9400	6600	13860	6900	12500		8080
	- ширина	2500	2500	2500	2500	2500	2550	2550	2500
	- высота	3150	2040	3400	2330	4000	2790		2080
9	База, мм								
	- тягача	2840		2900		3200		3100	
	- тележки	1320	1320	1400	1400+1400	1400	2050	1400	1310
10	Колея колёс, мм	2050	1850	2032	1800	2015	1800		2040
11	Расстояние от шкворня до передней оси полуприцепа, мм						65575		
12	Погрузочная высота, мм		1460		1410		1450		1500
13	Расстояние от шкворня до оси балансира, мм	350		260		355		250	
14	Передний свес, мм	1320		1400		1400			
15	Высота седельно-сцепного устройства, мм	1265		1400		1380		1285	

## Приложение Г

## Результаты исследования дорожных условий

Таблица Г.1 - Общая характеристика дорожных условий на маршруте перевозок

№ п/п	Характеристика в плане	Длина участка, м	Уклон, %	Кол-во полос	Ширина полосы движения, м	Интенсивность движения, авт./сут.	Параметры кривых			Характеристика покрытия					Техническая категория дороги
							угол, град.	R, м	T, м	тип	Величина неровностей, мм	Коэффициент сцепления	Дефектность	колея, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	прямой	100	-3	4	3,25	свыше 7000				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
2	кривая	164,745	-3	4	3,25	свыше 7000	40,00	236,1	85	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
3	прямой	1100	-3	4	3,25	свыше 7000				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
4	кривая	171,719	-3	4	3,25	свыше 7000	35	281,25	90	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
5	прямой	80	-4	4	3,25	свыше 7000				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
6	кривая	70,8681	-4	4	3,25	свыше 7000	65	62,5	40	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
7	прямой	450	-4	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
8	кривая	120,628	0	2	3,00	до 4500	50	138,3	65	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
9	прямой	280	0	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
10	кривая	164,745	0	2	3,00	до 4500	40	236,1	85	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
11	прямой	640	4	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
12	кривая	143,577	4,5	2	3,00	до 4500	45	182,9	75	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
13	прямой	150	4,5	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
14	кривая	171,719	4,5	2	3,00	до 4500	35	281,25	90	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
15	прямой	645	4,5	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
16	кривая	90,2227	4,5	2	3,00	до 4500	60	86,2	50	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
17	прямой	170	3,5	2	3,00	свыше 4000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
18	кривая	31,4	3,5	2	3,00	свыше 4000	90	20	20	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
19	прямой	480	4	2	3,00	свыше 4000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
20	кривая	31,4	5	2	3,00	свыше 4000	90	20	20	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
21	прямой	480	5	2	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
22	кривая	166,141	0	4	3,00	до 4500	40	238,1	85	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
23	прямой	835	0	4	3,00	до 4500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
24	кривая	31,4	0	4	3,00	до 3500	90	20	20	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
25	прямой	1130	0	6	3,25	до 3500				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I

продолжение табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
26	кривая	500	0	3	3,25	до 3000	90	152,8	152,8	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	I
27	прямой	1850	0	4	3,00	до 1800				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
28	кривая	1,74444	0	4	3,00	до 3000	5	20	20	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
29	прямой	480	0	6	3,25	до 3000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
30	кривая	48,3386	0	4	3,25	до 3000	85	32,6	30	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
31	прямой	650	0	4	3,25	до 3000				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
32	кривая	193,843	0	4	3,25	до 3000	30	370,4	100	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	II
33	прямой	1370	1,5	4	3,25	до 3000				ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
34	кривая	166,141	0,5	4	3,25	до 3000	40	238,1	85	ц	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
35	прямой	1680	0,5	2	3,25	до 2000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
36	кривая	120,628	0	2	3,25	до 2000	50	138,3	65	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
37	прямой	460	-14	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
38	кривая	31,4	-14	2	3,25	до 1500	90	20	20	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
39	прямой	440	-15	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
40	кривая	19,2587	-15	2	3,25	до 1500	115	9,6	15	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
41	прямой	350	-16	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
42	кривая	90,2227	-16	2	3,25	до 1500	60	86,2	50	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
43	прямой	60	-16	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
44	кривая	76,4067	-16	2	3,25	до 1500	75	58,4	45	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
45	прямой	120	-16	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
46	кривая	193,843	-16	2	3,25	до 1500	30	370,4	100	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
47	прямой	140	0,5	2	3,25	до 1500				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
48	кривая	171,719	0	2	3,25	до 1500	35	281,25	90	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
49	прямой	150	0	2	3,25	до 1000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
50	кривая	193,843	0	2	3,25	до 1000	30	370,4	100	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
51	прямой	160	0	2	3,25	до 1000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
52	кривая	193,843	0	2	3,25	до 1000	30	370,4	100	а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III
53	прямой	600	0	2	3,25	до 1000				а	20-350	0,05-0,8	5-300	4-250	III

Условные обозначения: а – асфальтобетон; ц – цементобетон; R – радиус кривой, м; T – тангенс кривой, м; «+» и «-» - уклоны соответственно подъем и спуск

Таблица Г.2 - Значения частных коэффициентов снижения скорости на маршруте перевозок

№ п/п	Крс1			Крс2			Крс3			Крс4			Крс5			Крс6			Крс7			Крс8			Крсmin				
	н	у	ну	н	у	ну	н	у																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
1	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,1	1,1	1,1				0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,9	0,57	0,9		
2	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,1	1,1	1,1	0,6	0,6	0,6	0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,6	0,6	0,6		
3	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,1	1,1	1,1				0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,9	0,57	0,9		
4	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,1	1,1	1,1	0,69	0,69	0,69	0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,69	0,69	0,69		
5	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,05	1,05	1,05				0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,9	0,57	0,9		
6	1,1	1,1	1,1	1,01	1,01	1,01	1,05	1,05	1,05	0,37	0,37	0,37	0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,37	0,37	0,37		
7	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1,05	1,05	1,05				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,83	0,67	0,83		
8	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1,25	1,25	1,25	0,47	0,47	0,47	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,47	0,47	0,47		
9	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,83	0,67	0,83		
10	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1,25	1,25	1,25	0,62	0,62	0,62	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,62	0,62	0,62		
11	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1	1	1				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,83	0,67	0,83		
12	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9	0,66	0,66	0,66	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,66	0,66	0,66		
13	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,83	0,67	0,83		
14	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9	0,74	0,74	0,74	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,74	0,74	0,74		
15	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,83	0,67	0,83		
16	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9	0,49	0,49	0,49	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,83	0,7	0,83	1,25	0,9	1,25	0,49	0,49	0,49		
17	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1	1	1				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,92	0,67	0,92		
18	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1	1	1	0,2	0,2	0,2	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,2	0,2	0,2		
19	1	1	1	0,94	0,94	0,94	1	1	1				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,92	0,67	0,92		
20	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9	0,2	0,2	0,2	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,2	0,2	0,2		
21	1	1	1	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,9	0,67	0,9		
22	1,1	1,1	1,1	1,04	1,04	1,04	1,25	1,25	1,25	0,62	0,62	0,62	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,62	0,62	0,62		
23	1,1	1,1	1,1	1,04	1,04	1,04	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,92	0,67	0,92		
24	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	0,28	0,28	0,28	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,28	0,28	0,28		
25	1	1	1	0,99	0,99	0,99	1,25	1,25	1,25				0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,9	0,67	0,9		
26	1,18	1,18	1,18	1,14	1,14	1,14	1,25	1,25	1,25	1,11	1,11	1,11	0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1	0,75	1	0,9	0,57	0,9		
27	1,3	1,3	1,3	1,28	1,28	1,28	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	1	0,67	1		
28	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	0,28	0,28	0,28	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	1	0,85	1	1,25	0,9	1,25	0,28	0,28	0,28		
29	1	1	1	0,99	0,99	0,99	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1,25	0,75	1,25	0,9	0,67	0,9		

## продолжение табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
30	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	0,28	0,28	0,28	1,15	0,67	1,15	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1,25	0,75	1,25	0,28	0,28	0,28
31	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25				0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1,25	0,75	1,25	0,9	0,57	0,9
32	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	0,78	0,78	0,78	0,92	0,57	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,75	0,9	1,25	0,75	1,25	0,78	0,57	0,78
33	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25				0,92	0,57	0,92	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	0,57	0,75
34	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,25	0,62	0,62	0,62	0,92	0,57	0,92	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,62	0,57	0,62
35	1	1	1	0,98	0,98	0,98	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	0,62	0,75
36	1	1	1	0,98	0,98	0,98	1,25	1,25	1,25	0,47	0,47	0,47	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,47	0,47	0,47
37	1	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	0,62	0,75
38	1	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,2	0,2	0,2
39	1	1	1	1	1	1	0,75	0,75	0,75				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	0,62	0,75
40	1	1	1	1	1	1	0,75	0,75	0,75	0,2	0,2	0,2	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,2	0,2	0,2
41	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,7	0,62	0,7
42	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,4	0,4	0,4
43	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,7	0,62	0,7
44	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,3	0,3	0,3
45	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,7	0,62	0,7
46	1	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,7	0,62	0,7
47	1	1	1	1	1	1	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	0,62	0,75
48	1	1	1	1	1	1	1,25	1,25	1,25	0,71	0,71	0,71	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,71	0,62	0,71
49	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25
50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,25	1,25	1,25	0,78	0,78	0,78	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25
51	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25
52	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,25	1,25	1,25	0,78	0,78	0,78	1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25
53	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,25	1,25	1,25				1,15	0,67	1,15	0,86	0,86	0,86	0,75	0,62	0,75	1,25	0,75	1,25	0,25	0,25	0,25

Таблица Г.3 – Значения итоговых (минимальных) коэффициентов

№ участка	$K_{\min}^{PC}$		
	нормальные	удовлетворительные	неудовлетворительные
1	0,9	0,57	0,25
2	0,6	0,6	0,25
3	0,9	0,57	0,25
4	0,69	0,69	0,25
5	0,9	0,57	0,25
6	0,37	0,37	0,25
7	0,83	0,67	0,31
8	0,47	0,47	0,31
9	0,83	0,67	0,31
10	0,62	0,62	0,31
11	0,83	0,67	0,31
12	0,66	0,66	0,31
13	0,83	0,67	0,31
14	0,74	0,74	0,31
15	0,83	0,67	0,31
16	0,49	0,49	0,31
17	0,92	0,67	0,31
18	0,2	0,2	0,2
19	0,92	0,67	0,31
20	0,2	0,2	0,2
21	0,9	0,67	0,31
22	0,62	0,62	0,31
23	0,92	0,67	0,31
24	0,28	0,28	0,28
25	0,9	0,67	0,25
26	0,9	0,57	0,25
27	1	0,67	0,31
28	0,28	0,28	0,28
29	0,9	0,67	0,25
30	0,28	0,28	0,25
31	0,9	0,57	0,25
32	0,78	0,57	0,25
33	0,75	0,57	0,25
34	0,62	0,57	0,25
35	0,75	0,62	0,25
36	0,47	0,47	0,25
37	0,75	0,62	0,25
38	0,2	0,2	0,2
39	0,75	0,62	0,25
40	0,2	0,2	0,2
41	0,7	0,62	0,25
42	0,4	0,4	0,25
43	0,7	0,62	0,25
44	0,3	0,3	0,25
45	0,7	0,62	0,25
46	0,7	0,62	0,25
47	0,75	0,62	0,25
48	0,71	0,62	0,25
49	0,25	0,25	0,25
50	0,25	0,25	0,25
51	0,25	0,25	0,25
52	0,25	0,25	0,25
53	0,25	0,25	0,25

Таблица Г.4 – Значения напряжений и величин коэффициента динамичности

№ п/п	Характеристика в плане	Уклон, %	R кривых, м	Состояние покрытия	Напряжение, МПа	Величина $K_{\sigma}$
1	2	3	4	5	6	7
1	прямой	-3		удовл.	324	3,67
2	кривая	-3	236,1	хорошее	61	0,33
3	прямой	-3		хорошее	147	1,67
4	кривая	-3	281,25	хорошее	147	1,67
5	прямой	-4		хорошее	147	1,67
6	кривая	-4	62,5	удовл.	338	3,83
7	прямой	-4		удовл.	368	4,17
8	кривая	0	138,3	хорошее	138	1,57
9	прямой	0		хорошее	147	1,67
10	кривая	0	236,1	хорошее	118	1,33
11	прямой	4		неудовл.	426	4,83
12	кривая	4,5	182,9	хорошее	118	1,33
13	прямой	4,5		хорошее	118	1,33
14	кривая	4,5	281,25	хорошее	124	1,40
15	прямой	4,5		хорошее	147	1,67
16	кривая	4,5	86,2	хорошее	156	1,77
17	прямой	3,5		неудовл.	471	5,33
18	кривая	3,5	20	удовл.	382	4,33
19	прямой	4		неудовл.	518	5,87
20	кривая	5	20	хорошее	147	1,67
21	прямой	5		удовл.	338	3,83
22	кривая	0	238,1	хорошее	103	1,17
23	прямой	0		хорошее	118	1,33
24	кривая	0	20	хорошее	68	0,77
25	прямой	0		хорошее	103	1,17
26	кривая	0	152,8	хорошее	126	1,43
27	прямой	0		неудовл.	456	5,17
28	кривая	0	20	неудовл.	441	5,00
29	прямой	0		неудовл.	732	8,30
30	кривая	0	32,6	неудовл.	447	5,07
31	прямой	0		неудовл.	715	8,10
32	кривая	0	370,4	хорошее	147	1,67
33	прямой	1,5		удовл.	250	2,83
34	кривая	0,5	238,1	хорошее	88	1,00
35	прямой	0,5		удовл.	324	3,67
36	кривая	0	138,3	хорошее	103	1,17
37	прямой	-14		хорошее	103	1,17
38	кривая	-14	20	хорошее	103	1,17
39	прямой	-15		удовл.	279	3,17
40	кривая	-15	9,6	хорошее	74	0,83
41	прямой	-16		хорошее	132	1,50
42	кривая	-16	86,2	хорошее	126	1,43
43	прямой	-16		хорошее	135	1,53
44	кривая	-16	58,4	хорошее	141	1,60
45	прямой	-16		хорошее	132	1,50
46	кривая	-16	370,4	хорошее	132	1,50
47	прямой	0,5		хорошее	118	1,33
48	кривая	0	281,25	хорошее	88	1,00
49	прямой	0		хорошее	103	1,17
50	кривая	0	370,4	хорошее	97	1,10
51	прямой	0		хорошее	94	1,07
52	кривая	0	370,4	хорошее	88	1,00
53	прямой	0		хорошее	74	0,83

## Приложение Д

## Блок-схемы алгоритмов для определения интегрального показателя и оптимизации режимов движения

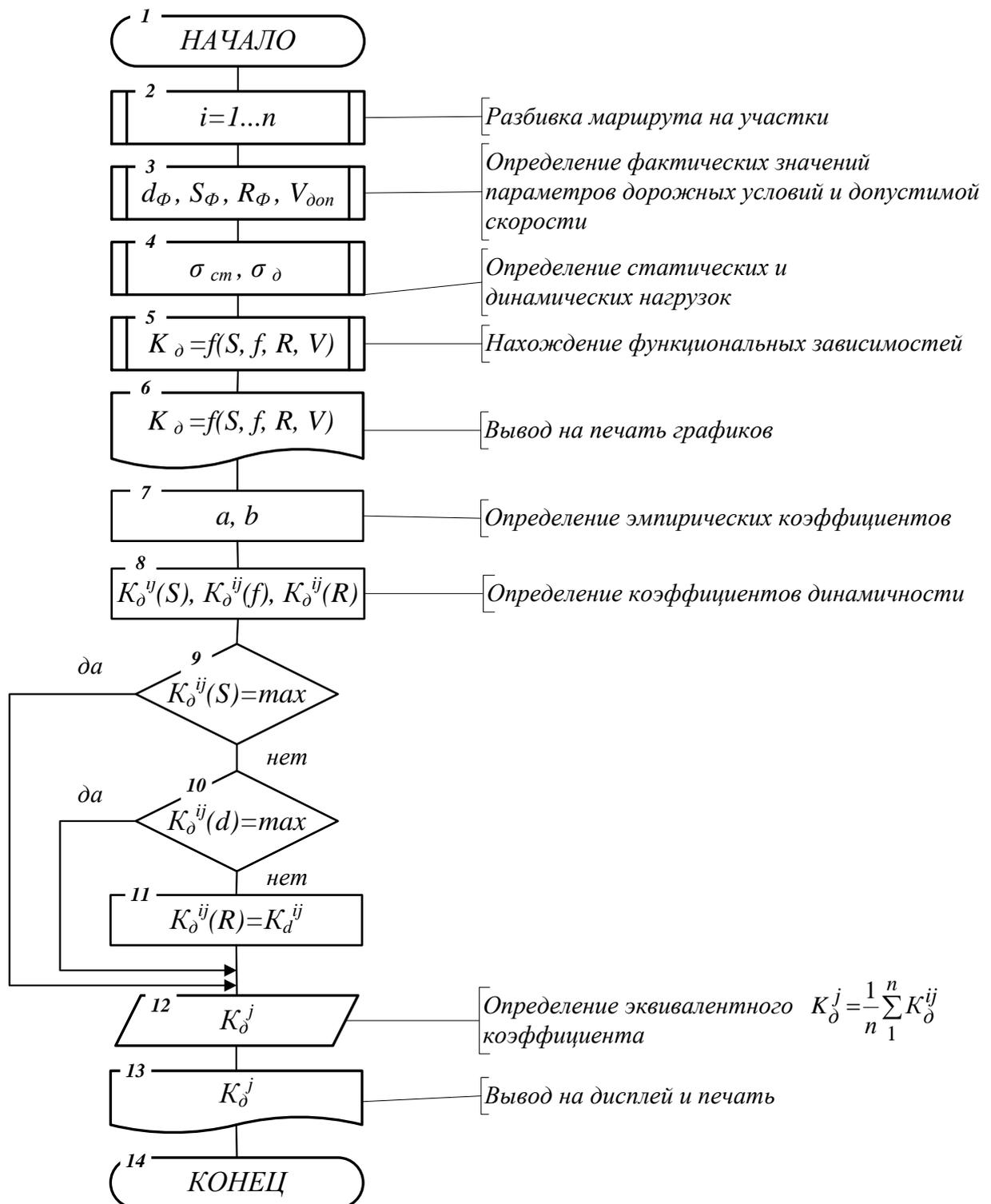


Рисунок Д.1 - Блок-схема алгоритма определения эквивалентного показателя дорожных условий по динамической нагрузке



Рисунок Д.2 - Блок-схема алгоритма определения и выбора оптимальных режимов движения большегрузного автопоезда

## Приложение Е

Акты внедрения, расчет экономического эффекта и протоколы технических совещаний

**Е. 1.** Акт о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы на ПСП «Азовинтэкс»

**Е. 2.** Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов на ПСП «Азовинтэкс»

**Е 3.** Протокол технического совещания у начальника отдела эксплуатации ООО «ПСП Азовинтэкс» по вопросу рассмотрения диссертационной работы

**Е. 4.** Протокол технического совещания у начальника автотранспортного цеха № 1 ПАО «ММК им. Ильича» по вопросу рассмотрения диссертационной работы

**Е. 5.** Акт внедрения в учебный процесс



87500, Украина, Мариуполь, пр. Ленина, 68а, телефон: 38 (0629) 410010; Код ОКПО 24155428 Речег 26005900175252 МФО 335742 ИНН 241554205818

# АЗОВИНТЭКС

проектно-строительное предприятие

№ 17 від 03.08.2014 р.



УТВЕРЖДАЮ  
Директор транспортного предприятия  
«ПСП «Азовинтэкс»  
Аленин В.В.  
2014 г.

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы

Жилинкова Александра Александровича

«Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции»

Комиссия в составе: председателя зам. директора автотранспортного предприятия Таранюк Р.В. и членов: начальник автоколонны № 1 Северин П. В., начальник технического отдела Сарбаш И.В., начальник планово-финансового отдела Лузан О. И. составили настоящий акт о том, что на ПСП «Азовинтэкс» с 01.08.2014 г. внедрены следующие технические решения, разработанные в диссертационной работе Жилинкова А.А. «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции»:

1. Эффективные схемы размещения штучных и тарно-штучных грузов большой массы на платформах седельных автопоездов.
2. Скоростные режимы движения большегрузных автопоездов в сложных условиях эксплуатации, в частности, в условиях города.

Фактический экономический эффект от внедрения будет оценен по результатам использования предлагаемых технических решений в течение шести месяцев работы подвижного состава. Расчет ожидаемого экономического эффекта прилагается.

Председатель комиссии:

Зам. директора автотранспортного предприятия

«Мехтранс»

Члены комиссии:

Начальник автоколонны № 1

Начальник технического отдела

Начальник планово-финансового отдела

Р.В. Таранюк

П. В. Северин

И.В. Сарбаш

О.И. Лузан



Лицензия на проектно-строительные работы на территории Украины АВ №315951  
Свидетельство о допуске на строительные работы, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства на территории Российской Федерации № 0046.02-2009 - 9909255637-С-108  
Система менеджмента в соответствии с ISO 9001:2008. Регистрационный номер сертификата: TIC 15 100 96205  
Система менеджмента сварочного производства в соответствии с ISO 3854-2. Номер сертификата Q - 005/2010

УТВЕРЖДАЮ

Директор автотранспортного  
предприятия «Мехтранс» ООО «ПСП



Аленин В.В.

09 2014 г.

Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения мероприятий по повышению эффективности использования большегрузных автопоездов

### 1. Исходные данные

Тип подвижного состава – автопоезд в составе трехосного седельного тягача и двухосного полуприцепа;

Вид груза – штучный или тарно-штучный большой массы;

Масса единицы груза – 7-10 т;

$S$  – планируемая себестоимость перевозок,  $S = 30$  грн./т;

$q$  – грузоподъемность автопоезда,  $q = 26$  т;

$T_{\text{дн}}^{\text{с}}$  – календарное число дней в году, дн.;

$n_e$  – среднее число ездов автопоезда в сутки,  $n_e = 6$  ездов;

$C_{\text{П}}$  – постоянные расходы, грн./ч,  $C_{\text{П}} = 320$  грн./ч;

$V_T$  – среднетехническая скорость,  $V_T = 30$  км/ч;

$t_{\text{нр}}$  – среднее время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ и сопутствующих им операций,  $t_{\text{нр}} = 1,0$  ч;

$\beta_e$  – коэффициент использования пробега за езду,  $\beta = 0,5$  для маятникового маршрута с обратным порожним пробегом;

$L_{сг}$  - среднее расстояние грузовой ездки, принимаем для городского маршрута равным 25 км;

$\gamma_c^{\phi}$  - средний фактический коэффициент использования грузоподъемности при перевозке заданного груза,  $\gamma_c^{пл} = 0,92$ ;

$\alpha_T^{\phi}$  - средний фактический коэффициент технической готовности парка автопоездов,  $\alpha_T^{\phi} = 0,74$ ;

$\gamma_c^{пл}$  - средний плановый коэффициент использования грузоподъемности,  $\gamma_c^{пл} = 0,95$ ;

$\alpha_T^{пл}$  - средний плановый коэффициент технической готовности парка автопоездов,  $\alpha_T^{пл} = 0,84$ .

## 2. Расчеты

Экономический эффект от предложенных мероприятий по оптимизации схем размещения груза и разработке оптимальных режимов движения определяется отсутствием дополнительных затрат при снижении показателей эксплуатационной готовности. Его величина в расчете на один автопоезд определяется выражением:

$$C_{\mathcal{E}} = SQ_n^{пл} - (\Delta S + S)Q_n^{\phi}, \text{ грн.}$$

где  $Q_n^{пл}$ ,  $Q_n^{\phi}$  - соответственно плановая и фактическая производительность одного автопоезда, т/год;

$$Q_n^{пл} = q\gamma_c^{пл}n_eT_{дн}^{\Gamma}\alpha_T^{пл}, \text{ т/год}$$

$$Q_n^{\phi} = q\gamma_c^{\phi}n_eT_{дн}^{\Gamma}\alpha_T^{\phi}, \text{ т/год}$$

где  $\Delta S$  – увеличение себестоимости транспортирования от снижения коэффициента технической готовности парка подвижного состава, грн./т;

$$\Delta S = \frac{\Delta \alpha_T C_{\Pi}}{q \gamma \beta_e} \left[ \frac{l_{er} + t_{np} V_T \beta_e}{V_T (1 - \Delta \alpha_T)} \right], \text{ грн./т}$$

где  $\Delta \alpha_T$  – снижение коэффициента технической готовности.

Увеличение себестоимости транспортирования:

$$\Delta S = \frac{(0,84 - 0,74) \cdot 320}{26 \cdot 0,92 \cdot 0,5} \left[ \frac{25 + 1 \cdot 30 \cdot 0,5}{30 \cdot (1 - 0,1)} \right] = 3,96 \text{ грн./т.}$$

Плановая производительность:

$$Q_n^{\text{пл}} = 26 \cdot 0,95 \cdot 6 \cdot 365 \cdot 0,84 = 47829,6 \text{ т/год.}$$

Фактическая производительность:

$$Q_n^{\text{ф}} = 26 \cdot 0,92 \cdot 6 \cdot 365 \cdot 0,74 = 38764,7 \text{ т/год.}$$

Годовой экономический эффект в расчете на один автопоезд:

$$C_{\text{э}} = 30 \cdot 47829,6 - (3,96 + 30) \cdot 38764,7 = 45770 \text{ грн./год.}$$

Председатель комиссии:

Зам. директора автотранспортного предприятия  
«Мехтранс»



Р.В. Таранюк

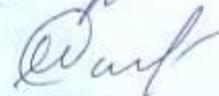
Члены комиссии:

Начальник автоколонны № 1



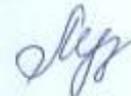
П. В. Северин

Начальник технического отдела



И.В. Сарбаш

Начальник планово-финансового отдела



О.И. Лузан



### ПРОТОКОЛ

технического совещания у начальника отдела эксплуатации ООО «ПСП Азовинтэкс» по вопросу рассмотрения диссертационной работы Жилинкова А.А. «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции».

#### ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Заместитель директора по транспорту Романюк Р. В., начальник автоколонны № 1 Едличко С. В., начальник технического отдела Сарбаш И. В., ст. преп. кафедры промышленного транспорта ГВУЗ «ПГТУ» Жилинков А.А.

1. СЛУШАЛИ: доклад ст. преподавателя кафедры «Промышленного транспорта» ГВУЗ «ПГТУ» Жилинкова А.А.:

В последние годы значительно увеличились объемы внешних автомобильных перевозок экспортной металлопродукции. Опыт использования большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции в сложных условиях с высокой интенсивностью показал недостаточную приспособленность подвижного состава к перевозкам. После пробега 50-60 тыс. км и перевозки 28-30 тыс. т металлопродукции наступает предельный износ элементов ходовой части автопоездов, что требует проведения внеплановых ремонтов со значительной трудоемкостью и продолжительностью простоев. В результате существенно снижаются технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели использования. Поэтому решение вопросов повышения эффективности использования большегрузных автопоездов при перевозках металлопродукции на основе методов, моделей и алгоритмов, разработанных в диссертационной работе, позволяет классифицировать ее как актуальную.

Целью работы является повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на основе решения вопросов оптимизации схем размещения груза и режимов движения машин.

Для реализации поставленной цели выполнено следующее:

1. Анализом статистических данных по отказам подвижного состава установлено, что наибольшее число отказов приходится на ходовую часть (свыше 40 %) и местом их концентрации является зона седельно-сцепного устройства.
2. С использованием программного комплекса ANSYS проведены расчеты величин статических напряжений в рамах полуприцепов для перевозки слэбов и рулонов. Установлено, что в рамах «рулоновозов» величина статических напряжений на участке седельно-сцепного устройства при существующей схеме размещения груза составляет 220 МПа, у «слэбовозов» – 71 МПа, при норме в 80 МПа. Моделированием получена оптимизированная схема размещения стальных рулонов на грузовой платформе. При этом величина напряжений в «опасной зоне» снижена в 4,2 раза.
3. Для комплексной оценки дорожных условий на городском маршруте перевозок металлопродукции проведены экспериментальные исследования по определению величин динамических нагрузок в ходовой части автопоездов. По экспериментальным данным получены зависимости динамической нагрузки в ходовой части автопоездов от скорости движения при различных дорожных условиях. Разработаны метод и модель для определения скоростных режимов движения большегрузных автопоездов, обеспечивающих допустимые динамические нагрузки.
4. Для практической реализации полученных теоретических разработок предложена номограмма допустимых скоростных режимов и принципиальная схема модернизированной системы мониторинга.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке методов, моделей и алгоритмов, которые позволяют в комплексе обеспечить допустимый нагрузочный режим в ходовой части большегрузных автопоездов и значительно увеличить показатели эксплуатационной готовности.

Проверка на соответствие практическим показателям показала сходимость результатов (0,87-0,92). Внедрение предложенных мероприятий позволит повысить уровень технико-эксплуатационных и экономических показателей перевозок. При этом суммарное увеличение производительности парка автопоездов составит 35-40 %, а снижение простоев – на 25-40 %.

2. ВЫСТУПИЛИ: Таранюк Р. В., Едличко С. В., Воронцов С. С., Сарбаш И. В., которые отметили практическую полезность работы. Результаты оптимизации схем размещения груза и скоростных режимов движения могут быть использованы в процессе организации автотранспорта штучных и тарно-штучных грузов, а также оперативного управления процессом движения подвижного состава. Внедрение предложенных разработок позволит повысить технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели перевозок предприятия.

### 3. ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертационная работа Жилинкова А.А. на тему: «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции» является актуальной, имеет научную и практическую значимость.
2. Считать целесообразным внедрить в транспортном подразделении ООО «ПСП Азовинтэкс» следующие отработанные технические решения:
  - 2.1. Предложенную схему размещения штучных и тарно-штучных грузов на платформах автопоездов.
  - 2.2. Метод установления скоростных режимов на основе предложенной номограммы применительно к городским маршрутам перевозок.
3. Поручить начальника технического отдела Сарбаш И. В., начальнику автоколонны № 1 Едличко С. В. провести промышленную проверку для внедрения технических решений по п. 2.1 и 2.2.
  - 3.1. Промышленную проверку провести с 01.06.2012 г. по 01.09.2012 г.
  - 3.2. Для промышленной проверки выделить 2 седельных автопоезда: 1) седельный тягач Volvo FH 13 (г/н АН7976ВА) с полуприцепом FAUMVILLE SPZ 3A (г/н АН6263ХХ); 2) седельный тягач Volvo FH (г/н АН0268СА) с полуприцепом СОМЕТТО ХАЗТАН 36 (г/н АН6039ХХ) и обеспечить их работу по предложенным режимам.
  - 3.3. Ответственным от предприятия назначить Сарбаш И. В.
4. Начальнику автоколонны № 1 Едличко С. В., начальнику технического отдела Сарбаш И. В. по результатам промышленной проверки дать предложения по внедрению предложенных разработок.

Начальник отдела эксплуатации  
ООО «ПСП Азовинтэкс»



С. С. Воронцов



### ПРОТОКОЛ

технического совещания у начальника автотранспортного цеха № 1 ПАО «ММК им. Ильича» по вопросу рассмотрения диссертационной работы Жилинкова А.А. «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции».

#### ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Заместитель начальника цеха по эксплуатации Пашкуров В.В., и. о. заместителя начальника цеха по технической части Мартопляс В.В., начальник автоколонны №4 Полунав Э.П., начальник отдела эксплуатации Иванов В. Н., начальник участка бортовых автомобилей автоколонны №4 Клименко К.А., ст. преп. кафедры промышленного транспорта ГВУЗ «ПГТУ» Жилинков А.А.

1. СЛУШАЛИ: доклад ст. преподавателя кафедры «Промышленного транспорта» ГВУЗ «ПГТУ» Жилинкова А.А.:

В последние годы в связи с благоприятной конъюнктурой рынка значительно увеличились объемы внешних автомобильных перевозок экспортной металлопродукции. Опыт использования большегрузных автопоездов на перевозках металлопродукции в сложных условиях с высокой интенсивностью показал недостаточную приспособленность подвижного состава к перевозкам. После пробега 50-60 тыс. км и перевозки 28-30 тыс. т металлопродукции наступает предельный износ элементов ходовой части автопоездов, что требует проведения внеплановых ремонтов со значительной трудоемкостью и продолжительностью простоев. В результате существенно снижаются технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели использования. Поэтому решение вопросов повышения эффективности использования большегрузных автопоездов при перевозках металлопродукции на основе методов, моделей и алгоритмов, разработанных в диссертационной работе, позволяет классифицировать ее как актуальную.

Целью работы является повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на основе решения вопросов оптимизации схем размещения груза и режимов движения машин.

Для реализации поставленной цели выполнено следующее:

1. Анализом статистических данных по отказам подвижного состава установлено, что наибольшее число отказов приходится на ходовую часть (свыше 40 %) и местом их концентрации является зона седельно-сцепного устройства.
2. С использованием программного комплекса ANSYS проведены расчеты величин статических напряжений в рамах полуприцепов для перевозки слябов и рулонов. Установлено, что в рамах «рулоновозов» величина статических напряжений на участке седельно-сцепного устройства при существующей схеме размещения груза составляет 220 МПа, у «слябовозов» – 71 МПа, при норме в 80 МПа. Моделированием получена оптимизированная схема размещения стальных рулонов на грузовой платформе. При этом величина напряжений в «опасной зоне» снижена в 4,2 раза.
3. Для комплексной оценки дорожных условий на городском маршруте перевозок металлопродукции проведены экспериментальные исследования по определению величин динамических нагрузок в ходовой части автопоездов. По экспериментальным данным получены зависимости динамической нагрузки в ходовой части автопоездов от скорости движения при различных дорожных условиях. Разработаны метод и модель для

определения скоростных режимов движения большегрузных автопоездов, обеспечивающих допустимые динамические нагрузки.

4. Для практической реализации полученных теоретических разработок предложена номограмма допустимых скоростных режимов и принципиальная схема модернизированной системы мониторинга.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке методов, моделей и алгоритмов, которые позволяют в комплексе обеспечить допустимый нагрузочный режим в ходовой части большегрузных автопоездов и значительно увеличить показатели эксплуатационной готовности.

Проверка на соответствие практическим показателям показала сходимость результатов (0,87-0,92). Внедрение предложенных мероприятий позволит повысить уровень технико-эксплуатационных и экономических показателей перевозок. При этом суммарное увеличение производительности парка автопоездов составит 35-40 %, а снижение простоев – на 25-40 %.

2. ВЫСТУПИЛИ: Муль В.Ф., Пашкуров В.В., Мартопляс В.В., Полупан Э.П., Клименко К.А., которые отметили научную новизну и практическую полезность работы. Результаты оптимизации схем размещения груза и скоростных режимов движения могут быть использованы в процессе организации автоперевозок металлопродукции и оперативного управления процессом движения подвижного состава. Внедрение предложенных разработок позволит повысить технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели перевозок.

### 3. ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертационная работа Жилиникова А.А. на тему: «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции» является актуальной, имеет научную и практическую значимость.
2. Считать целесообразным внедрить в АТЦ-1 следующие отработанные технические решения:
  - 2.1. Предложенную схему размещения стальных рулонов на грузовых платформах автопоездов.
  - 2.2. Метод установления скоростных режимов на основе предложенной номограммы.
3. Поручить и. о. заместителя начальника АТЦ-1 по технической части Мартопляс В.В., начальнику автоколонны № 4 Полупан Э.П. и начальнику участка бортовых автомобилей Клименко К.А. провести промышленную проверку для внедрения технических решений по п. 2.1 и 2.2.
  - 3.1. Промышленную проверку провести с 01.12.2012 г. по 31.01.2013 г.
  - 3.2. Для промышленной проверки выделить 2 автопоезда: 1) седельный тягач SCANIA P380 (г/н АН0465) с полуприцепом ВАРЗ-9996 (г/н АН9008Х1); 2) седельный тягач SCANIA P380 (г/н АН0464) с полуприцепом ВАРЗ-9996 (г/н АН2663ХТ) и обеспечить их работу по предложенным режимам.
  - 3.3. Ответственным от предприятия назначить Клименко К.А.
4. Начальнику автоколонны № 4 Полупан Э.П., начальнику участка бортовых автомобилей Клименко К.А. по результатам промышленной проверки дать предложения по внедрению предложенных разработок.

Начальник АТЦ-1  
ПАО «ММК им. Ильича»

В.Ф. Муль

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор  
«Приазовский государственный  
технический университет»  
к.т.н., доцент



В.Н. Евченко

«24» ноября 2012 г.

#### АКТ

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы старшего преподавателя кафедры «Промышленный транспорт» факультета «Транспортные технологии» ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» Жилинкова Александра Александровича на тему: «Повышение эффективности использования большегрузных автопоездов на внешних перевозках металлопродукции»

Результаты диссертационной работы Жилинкова А.А. нашли применение в учебном процессе на кафедрах: «Промышленный транспорт», «Технологии международных перевозок и логистика» и используются в лекционном материале и практических работах по следующим дисциплинам:

1) «Управление эксплуатационной работой на железнодорожном и автомобильном транспорте предприятий»; 2) «Подвижной состав промышленного транспорта»; 3) «Эксплуатация и техническое обслуживание технических средств»; 4) «Устройство и обслуживание транспортных коммуникаций предприятий»; 5) «Основы эксплуатации транспортных средств»; 6) «Правила технической эксплуатации и безопасность движения на железнодорожном и автомобильном транспорте предприятий».

Дисциплины изучаются студентами 6.07010102 «Организация перевозок и управление на транспорте». Также результаты диссертационной работы использованы в разработке дипломных проектов студентами специальности 7.07010102 «Организация перевозок и управление на транспорте» по темам: 1) «Исследование эксплуатационных условий и определение неисправностей автопоездов при транспортировке металлопродукции ММК им. Ильича в порт Мариуполь»; «Совершенствование системы внешних перевозок металлопродукции в объёме 1,5 млн. т на основе повышения технической готовности автопоездов (на примере комбината «И»)»; 3) «Исследование условий и режимов эксплуатации автопоездов при их использовании при перевозке металлопродукции»; 4) «Совершенствование конструкции и режимов движения большегрузных автопоездов при перевозке металлопродукции»; 5) Совершенствование системы управления внешними автоперевозками металлопродукции металлургического предприятия; 6) «Повышение эффективности эксплуатации большегрузных автопоездов на основе оптимизации показателей, влияющих на эксплуатационную готовность».

Декан факультета  
транспортных технологий, к.т.н., доцент

И.И. Пирч

## Приложение Ж

## Уведомление об использовании лицензионного программного обеспечения «ANSYS»

ООО «ГОЛОВНОЕ СПЕЦИАЛИЗОВАННОЕ  
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ВАГОНОСТРОЕНИЯ  
им. В.М. БУБНОВА»

87535, Украина, Донецкая обл.,  
г. Мариуполь, пл. Машиностроителей, 1  
Тел: (0629) 51-75-13, 56-08-61  
Факс: (0629) 56-08-61  
E-mail: [gskbv@mail.ru](mailto:gskbv@mail.ru)  
[bubnov@azovmash.com](mailto:bubnov@azovmash.com)



ООО «ГСКБВ им. В.М.Бубнова»

ТОВ «ГОЛОВНЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ  
КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО ВАГОНБУДУВАННЯ  
ім. В.М. БУБНОВА»

87535, Україна, Донецька обл.,  
м. Маріуполь, пл. Машинобудівників, 1  
Тел: (0629) 51-75-13, 56-08-61  
Факс: (0629) 56-08-61  
E-mail: [gskbv@mail.ru](mailto:gskbv@mail.ru)  
[bubnov@azovmash.com](mailto:bubnov@azovmash.com)

№ 939-197 от 13.03.2013 г.

Настоящим уведомляем, что старший преподаватель, кафедры «Промышленный транспорт» Государственного высшего учебного заведения «Приазовский государственный технический университет (ГВУЗ «ПГТУ») Жилинков Александр Александрович выполнил расчет напряжений в несущих системах большегрузных автопоездов для перевозки металлопродукции на базе ООО «ГСКБВ», используя программный комплекс ANSYS.

- Приложения: 1. Лицензионное соглашение пользователя ANSYS на 1 листе.  
2. Сертификат конечного пользователя на 1 листе.

Генеральный конструктор

В.М. Бубнов