

**«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АЖ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*На правах рукописи*

УДК 629.423.31; 621.822



**САИДОВ САИД АХТАМОВИЧ**

**«Разработка модернизированной конструкции соединения между  
кузовом и тележками для электровоза ВЛ60к»**

**5А310704 - Электротехнические комплексы и системы (на  
железнодорожном транспорте)**



**Научный руководитель:  
д.т.н., профессор Хромова Г.А.**

**Ташкент 2016**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

*Кўл ёзма ҳуқуқида*

*УДК 629.423.31; 621.822*



**САИДОВ САИД АХТАМОВИЧ**

**« ВЛ-60 к электровозлари учун кузов ва тележкаларни  
бириктиришнинг модернизацияланган конструкциясини ишлаб  
чиқиш»**

**5А310704 – Электр техник мажмуалар ва тизимлар (темир йул  
транспортида)**

**Магистр  
академик даражасини олиш учун ёзилган  
диссертация**



**Илмий раҳбар:  
т.ф.д., профессор Хромова Г.А.**

**Тошкент 2016**

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра ЭТ ва ЮТЭХТ  
Ўқув йили 2014-2016

Магистратура талабаси С.А. Саидов  
Илмий рахбар проф., т.ф.д. Г.А.Хромова  
Мутахассислиги 5А310704 – Электр  
техник мажмуалар ва тизимлар

**МАГИСТРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АННОТАЦИЯСИ**

Мазкур диссертация иши 01.07.2013 йил № 36-сонли шартнома, «ВЛ-60к серияси электровозини рама ва аравачаларининг уртасидаги боғлаш узелининг янгиланган конструкцияси яратиш ва капитал тиклаш таъмири (КТТ) УК «O'ztemirmashta'mir»да технологик жараённи ишлаб чиқиш» номли инновацион лойиҳага мувофиқ бажарилган.

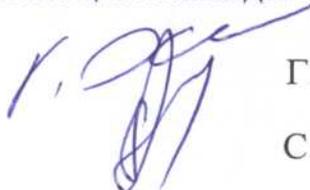
Хозирги кунда Ўзбекистон Республикасида ВЛ-60к электровозининг капитал тиклаш таъмир ишлари бажарилмоқда. “Ўзбекистон темир йўллари” АЖ шароитида ВЛ-60к электровозини капитал тиклаш таъмири ишларини бажариш даврида унинг узелларини такомиллаштириш бўйича янги техник ечимларни ишлаб чиққан ҳолда технологик жараёнларни бажариш ўзига хос хусусиятларга эга. Биз таклиф этаётган ВЛ-60к электровозининг капитал тиклаш таъмири ишларини бажариш даврида янги техник ечимларни ишлаб чиққан ҳолда унинг узелларини такомиллаштириш бўйича технологик жараёнларни жорий қилиш ВЛ-60к тепловозини паркини динамик сифатини яхшилаб, ишончлигини ошириб ҳамда уларнинг фойдали иш муддатини 10-15 йилга узайтириб такомиллаштиришни амалга оширишга имкон яратади.

Ушбу мавзунинг янгилigi ВЛ-60к электровозини аравача ва рама орасидаги бирлаштириш узелини математик моделда асослаш, ҳисоб графикани тузиш (MathCad 14 дастурида) ва унинг тебранишини қисимларини модернизатсия йўли орқали ҳисобий тадқиқ қилиш.

Такомиллаштирилган ҳаракат таркибларини Қозоғистон ва Ўрта Осиёнинг кескин континентли иқлим шароитларида, қолаверса уларнинг тоғли ҳудудларида ҳаракатланишни ҳисобга олган ҳолда ишлатиш мумкин. Шуларни ҳисобга олган ҳолда биз томондан ишлаб чиқилган ВЛ-60к электровози узелларини такомиллаштириш бўйича янги технологик жараён ва янги техник ечимлар дунёда янгиллик ҳисобланади.

Илмий рахбар

Магистратура талабаси



Г.А. Христова

С.А. Саидов

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра ЭТ и ВСЭПС  
Учебный год 2014-2016

Студент магистратуры С.А. Саидов  
Научный руководитель д.т.н. Г.А. Хромова  
Специальность 5А310704 Электро-  
технические комплексы и системы

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Данная диссертационная работа выполнена согласно инновационному проекту на тему: «Разработка модернизированной конструкции соединений между кузовом и тележками для электровоза ВЛ-60к» в объёме КВР на УП «O'ztemiryo'lmashta'mir» по договору № 36 от 01.07.2013 года.

В настоящее время в Республике Узбекистан производится капитальный ремонт электровозов ВЛ-60к. Однако, в условиях АО «Узбекистон темир йуллари» имеются специфические особенности при выполнении технологического процесса с разработкой новых технических решений по модернизации узлов при производстве капитально-восстановительного ремонта электровоза ВЛ-60к. Внедрение предлагаемого нами технологического процесса производства капитально-восстановительного ремонта электровоза ВЛ-60к с разработкой новых технических решений по модернизации его узлов позволит осуществить модернизацию парка электровозов ВЛ-60к с продлением срока их полезного использования на 10-15 лет и улучшением динамических качеств и повышением надежности.

Научная новизна данной работы состоит в обосновании математической модели для исследования узлов связи рамы и тележки электровоза ВЛ-60к, построении расчетных графиков (в программе MathCad 14) и проведении расчетного обоснования модернизации её узлов и деталей.

Модернизированный подвижной состав будет эксплуатироваться в условиях резкоконтинентального климата Средней Азии и Казахстана, а также с учетом его использования в горных районах. В связи с этим разрабатываемый нами новый технологический процесс и новые технические решения по модернизации узлов электровозов ВЛ-60к имеют мировую новизну.

Научный руководитель



Г.А. Хромова

Студент магистратуры

С.А. Саидов

THE MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY SPECIALIZED  
EDUCATION OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

TASHKENT INSTITUTE OF ENGINEERS OF  
RAILWAY TRANSPORT

Department	Student of magistracy <u>S.A. Saidov</u>
Faculty <u>ET&amp; HSERS</u>	Scientific supervisor <u>prof. G.A. Khromova</u>
Academic year <u>2014-2016</u>	Specialty <u>5A310704 –Electrical complexes and systems</u>

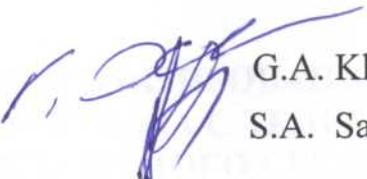
ANNOTATION OF MASTER'S DISSERTATION

This dissertation work is completed in accordance with innovative project on "Development of the technologic process of the capital recovery repair of the electric locomotive VL-60k of the volume KRR at Unitary Enterprise "Oztemiryolmashtamir" as per contract № 36 dated 01.07.2013.

Nowadays the capital recovery repair of electric locomotive VL-60k is conducted in the Republic of Uzbekistan. However, taking into account the case of JSC "Uzbekistan Railways", there are certain specific peculiarities in handling technologic process with development of new technical solutions for modernization of junctions in the course of carrying out capital recovery repair of electric locomotive VL-60k. Implementation of the technologic process of conducting capital recovery repair of the electric locomotive VL-60k, with development of new technical solutions for modernization of its junctions, will allow realization of the modernization of the park of electric locomotive VL-60k by extending their useful life to 10-15 years, improvement of their dynamic characteristics and increase of reliability.

The scientific contribution and originality of this master's dissertation includes justification of the mathematical model for study of the oscillations of the trolley frame of the electric locomotive VL-60k, development of graphical calculations (in MathCad 14 software) and conducting estimated justification for modernization of its junctions and parts.

The upgraded rolling stock will be operated in a sharply continental climate of Central Asia and Kazakhstan, as well as taking into account its use in mountainous areas. In this regard, the technological process and technical solutions, for modernization of the junctions electric locomotive VL-60k, being carried out by the author have its originality in the world academics.

Scientific supervisor		G.A. Khromova
Masters student		S.A. Saidov

# СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПАТЕНТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО УЗЛАМ СОЕДИНЕНИЯ РАМЫ КУЗОВА И РАМ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ</b> ..	8
1.1. Обзор научно - технической литературы по узлам соединения рамы кузова и рам тележек железнодорожных транспортных средств.....	8
1.2. Обзор патентной литературы по перспективным конструкциям соединениям кузова с тележками.....	17
1.3. Постановка задач исследований.....	41
<b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЙ МЕЖДУ КУЗОВОМ И ТЕЛЕЖКАМИ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ60К</b> .....	42
2.1. Составление математической модели для узлов соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к.....	42
2.2. Разработка блок-схемы и программы для численных исследований для соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к.....	45
2.3. Численные исследования для соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к.....	47
<b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧТА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ МЕЖДУ КУЗОВОМ И ТЕЛЕЖКАМИ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ60К</b> .....	57
3.1. Выполнение численных исследований по тяговым режимам работы электровозов ВЛ60к.....	61
3.2. Анализ полученных численных результатов в MathCAD 14.....	64
3.3. Совершенствование конструкции соединения между кузовом и тележками электровоза ВЛ60к.....	68
<b>ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНЕНИЯ КУЗОВА С ТЕЛЕЖКАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА</b> .....	71

<b>ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>79</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>81</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>85</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Железнодорожный транспорт Республики Узбекистан постепенно преодолевает негативные последствия экономического кризиса, характерного для стран СНГ 90-х годов прошлого столетия. Переход на рыночные отношения существенно повлиял на условия работы АО «Узбекистон темир йуллари». Значительно возросли затраты на энергоресурсы, и как следствие эксплуатационные расходы из-за удорожания материально-технических ресурсов. В Узбекистане отсутствуют заводы по производству локомотивов, как пассажирских, так и грузовых, но имеется довольно разветвленная ремонтная база с устаревшим оборудованием. Поэтому железнодорожный транспорт работает с использованием старой 80-х годов постройки подвижного состава техники и оборудования. Приобретаемый новый подвижной состав, как правило, производства стран дальнего зарубежья не соответствует техническим и эксплуатационным требованиям железнодорожного пути и подпитывающей электрической сети (для электрического транспорта) Узбекистана. Поэтому в условиях мирового финансово-экономического кризиса вопросы повышения надежности работы имеющихся в эксплуатации локомотивов и вагонов путем модернизации отдельных конструктивных узлов при капитальном ремонте с продлением срока полезного использования, являются актуальными [1,2]. Конкретно, в книге И.А. Каримова [1] подчеркнута, что одним из главных мероприятий Антикризисной программы является решение главной ключевой задачи: «дальнейшее ускоренное проведение модернизации, технического и технологического перевооружения предприятий, широкое внедрение современных гибких технологий» [1].

По проведенному нами обзору научно-технической и патентной литературы по проблеме повышения надежности и долговечности рамы кузова рельсовых транспортных средств, а также узлов сопряжения ее с рамами тележек за последние 10 -15 лет по классам МКИ В 61 F 5/26 , В 61 F 0/5 , В 61 F 11/15, В 61 P 5/16, 5/20 [3÷15], установлено, что основными путями повышения надежности и прочности рамы кузова являются создание прочной конструкции самой рамы кузова, а также создание надежных опорных креплений рамы кузова с рамами тележек, т.е. разработка надежных и ремонтпригодных узлов сопряжений и шкворневых узлов.

Задачами изобретений также являются улучшение ходовых качеств рельсовых транспортных средств, гашение как вертикальных, так и горизонтальных колебаний, возникающих при движении экипажа по прямым участкам и в кривых, стабилизация процесса движения.

В современной иностранной патентной и научно-технической литературе широко исследуются проблемы повышения надежности и

прочности рам, несущих каркасов кузовов и узлов сопряжения кузова с тележкой для рельсовых транспортных средств в процессе их проектирования, эксплуатации и модернизации.

Однако, методы расчета на статическую и динамическую прочность главной рамы электровоза ВЛ60к, а также методы модернизации их конструктивных узлов соединений рамы с тележками с целью продления срока полезной эксплуатации развиты недостаточно. Данная работа посвящена конкретно модернизации центральной опоры и шкворневого узла электровоза ВЛ60к.

Объектом исследования является центральная опора и шкворневой узел электровоза ВЛ60к (исследуются упруго-диссипативные свойства шкворневого узла до модернизации и после нее).

Цель работы состояла в исследовании колебаний отбоя и влияния экипажа электровоза ВЛ60к с продольной связью тележек при его движении в кривых с разработкой модернизированной конструкции шкворневого узла связи кузова с тележками с улучшенными упруго-диссипативными свойствами подвески.

На основании проведенного обзора научно-технических и патентных источников по проблеме повышения надежности рам, несущего каркаса кузовов и шкворневых узлов электровозов были сформулированы следующие задачи исследований:

1. На базе проведенного обзора патентной литературы наметить пути модернизации шкворневых узлов связи кузова с тележками для электровоза ВЛ-60к с подбором аналогов и прототипа для подачи заявки на изобретение на Патент Республики Узбекистан.

2. Провести сбор и вероятностно-статистическую обработку данных по подразделениям локомотивной службы АО «Узбекистон темир йуллари» по анализу технического состояния электровозов типа ВЛ60к и 2ВЛ60к за период с 2005 по 2015 годы.

3. Разработать модель для исследования колебаний отбоя и влияния экипажа электровоза ВЛ60к с продольной связью тележек при его движении в кривых.

4. Составить алгоритм, блок-схему и программу для проведения численных исследований колебаний отбоя и влияния экипажа электровоза ВЛ60к с продольной связью тележек при его движении в кривых с подбором рациональных параметров.

5. Провести численное исследование модернизированного шкворневого узла электровоза ВЛ60к с целью подбора решений по модернизации с продлением срока службы и улучшением упруго-диссипативных свойств.

6. Разработать модернизированную конструкцию шкворневого узла связи кузова с тележками для электровоза ВЛ60к с оформлением заявки на изобретение на Патент Республики Узбекистан.

Методика исследований включает в себя составление математических моделей для исследования колебаний отбоя и влияния экипажа электровоза ВЛ60к с продольной связью тележек при его движении в кривых, для исследований были использованы стандартные методы сопротивления материалов, теории упругости, теории колебаний, динамики и прочности машин с использованием ЭВМ, численные исследования выполнялись в среде программирования Mathcad 14 с использованием метода Гаусса.

Научная новизна работы состоит в:

- исследовании колебаний отбоя и влияния экипажа электровоза ВЛ60к с продольной связью тележек при его движении в кривых;
- составлении алгоритма, программы для численных исследований, выполненных в среде MathCad 14;
- разработке модернизированной конструкции шкворневого узла связи кузова с тележками для электровоза ВЛ60к с улучшенными упруго-диссипативными свойствами подвески.

Практическая ценность. Разработанная автором перспективная конструкция шкворневого узла связи кузова с тележками для электровоза ВЛ60к с улучшенными упруго-диссипативными свойствами подвески может быть широко внедрена на железнодорожном транспорте.

Задача изобретения – повышение надежности, прочности и долговечности работы соединения между кузовом и тележками транспортного средства (преимущественно локомотива) путем повышения демпфирующей способности соединения, увеличение плавности хода с целью повышения комфортабельности перевозок.

В результате применения данной конструкции соединения кузова с тележками железнодорожного транспортного средства будет достигнут технический результат в виде повышения прочности и надежности соединения между кузовом и тележками, и ходовой части экипажа в целом, а также увеличена плавность хода и повышена демпфирующая способность при боковых и крутильных ударах, а также гашении высокочастотной вибрации; кроме того, будет достигнуто увеличение плавности хода с целью повышения комфортабельности перевозок.

Подобная конструкция соединения кузова с тележками транспортного средства может найти широкое применение на железнодорожном транспорте.

Реализация работы. В результате выполнения данной работы автором будет предложена конструкция шкворневого узла связи кузова с тележками для электровоза ВЛ60к с улучшенными упруго-диссипативными свойствами подвески, которую можно будет применить при выполнении работ по модернизации существующего парка ВЛ60к в депо «Узбекистан» и по всему Управлению локомотивной службы ГАЖК «УзТЙ».

# ГЛАВА 1. ОБЗОР НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПАТЕНТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО УЗЛАМ СОЕДИНЕНИЯ РАМЫ КУЗОВА И РАМ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

## 1.1. Обзор научно - технической литературы по узлам соединения рамы кузова и рам тележек железнодорожных транспортных средств.

Тележки локомотивов являются их ходовыми частями. Они передают вертикальные нагрузки от веса кузова и рамы локомотива с установленным на ней силовым и вспомогательным оборудованием на рельсы, создают во взаимодействии с рельсами тяговые и тормозные силы, направляют движение локомотива в рельсовой колее, передавая на раму локомотива поперечные усилия от рельсового пути.

Тележка — крупный узел локомотива. Она объединяет в одно целое, в единый комплекс колесные пары, буксы, тяговые электродвигатели и их тяговые редукторы. Все эти рассмотренные ранее узлы локомотива, а также рессорное подвешивание являются ее частями. Объединены они в одно целое рамой тележки. Рама тележки не только связывает вместе отдельные узлы ходовых частей, но и связывает их с рамой локомотива, обеспечивая в то же время возможность поворота тележки относительно рамы локомотива. Конструкция тележки и в особенности ее рамы зависит от способа передачи нагрузок и исполнения опорных устройств.

Так как силовая установка находится в кузове на главной раме, а ведущие колесные пары размещены в тележках, необходимость их поворота значительно затрудняет как передачу вертикальных нагрузок, так и передачу энергии от дизеля к колесным парам.

Схемы передачи нагрузок от рамы локомотива на тележки. Связь кузова (или рамы) локомотива с рамой тележки должна обеспечивать передачу сил по всем осям координат (рис. 1.1.): вертикальных сил по оси  $z$ , горизонтальных продольных сил по оси  $x$ , горизонтальных поперечных сил по оси  $y$  при одновременной возможности относительного поворота (вокруг оси  $z$ ) и передачи энергии. Вес всего оборудования локомотива, размещенного в кузове, включая и главную раму, должен быть равномерно распределен между обеими тележками, иначе нагрузки от отдельных осей на рельсы могут быть неодинаковыми. Кроме того, связи кузова с тележками должны ограничивать возможности поворота (колебаний) кузова относительно осей  $x$  и  $y$ . В систему этих связей должны входить так называемые возвращающие устройства, способствующие возвращению тележек (после поворота в кривых) в положение, при котором продольные оси рам локомотива и тележек совпадают, а также препятствующие самопроизвольным виляниям тележки. [3]

Наиболее распространены следующие основные схемы опирания рамы (и всего надтележечного строения локомотива) на тележки.

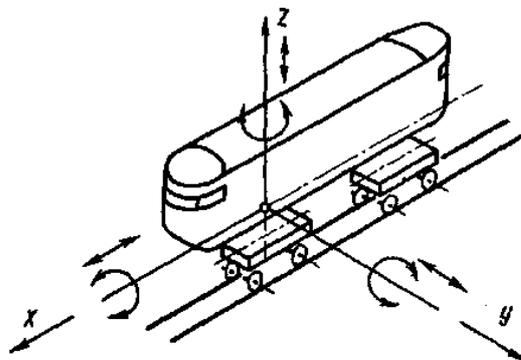
Рама опирается на каждую тележку одной опорой — цилиндрической пятой 1, входящей в подпятник 2 тележки (рис. 1.2, а).

Пята с подпятником образуют шкворневое соединение, являющееся осью поворота тележки относительно рамы в горизонтальной плоскости. И вертикальная нагрузка, и горизонтальные силы передаются через этот узел, работающий поэтому в весьма напряженных условиях.

Для предотвращения недопустимых перекосов кузова и, следовательно, неравномерного распределения нагрузок в шкворневом узле в этой схеме на каждой тележке устанавливаются дополнительные боковые ограничители — скользуны 3, допускающие лишь незначительные отклонения кузова от вертикального положения (1 — 1,5 мм — такова величина зазора в скользунах). Это меньше радиального зазора между шкворнем и подпятником.

Такая схема передачи нагрузок применялась в первых серийных послевоенных локомотивах. В шкворневом соединении велики силы трения (по торцу и цилиндрической поверхности), препятствующие повороту. Поэтому эти поверхности сильно изнашиваются. С увеличением мощности локомотивов и их тяговых усилий нагрузки на шкворневой узел и его износ оказались чрезмерно большими. В последующих схемах принимались меры по его разгрузке от вертикальных сил,

Рама центрируется с тележкой при помощи шкворневого соединения, но опирается на нее не через шкворень, а через боковые опоры 4, расположенные симметрично относительно шкворня (рисунок 1.2, б). Шкворневой узел, являющийся осью поворота тележки, в этом случае полностью разгружен от вертикальных нагрузок и передает только горизонтальные силы. Рабочей в нем является лишь цилиндрическая поверхность.



*Рисунок 1.1. Возможные относительные перемещения кузова и тележки полностью воспринимаются опорами, которые обычно выполняются роликовыми (с трением качения).*

Наличие четырех боковых опор на тележке существенно улучшает устойчивость кузова на тележке в продольной и поперечной вертикальных плоскостях.

По такой схеме выполнена экипажная часть основных серий грузовых локомотивов. На маневровых локомотивах применена такая же схема, но боковые опоры выполнены по типу скользунов (с трением скольжения). На локомотивах для улучшения динамических качеств

допускается небольшое ( $\pm 40$  мм) поперечное смещение шкворня относительно тележки.

Вертикальная нагрузка от рамы локомотива передается на каждую тележку через две—четыре боковые опоры при фактическом отсутствии шкворневого узла. Ввиду того что необходимый угол поворота рамы тележки относительно рамы локомотива невелик (не более  $5\text{--}7^\circ$ ), оказывается возможным обеспечить центрирование тележки при помощи так называемого фиктивного шкворня, роль которого выполняет система коротких горизонтальных поводков, передающая продольные горизонтальные силы (рис. 1.2, в). Шарниры поводков 5 соединены с рамой тележки, а 6—с рамой локомотива. [4]

Такая схема оказывается необходимой в особенности для трехосных тележек локомотива с гидропередачей, где необходимость механического привода средней оси затрудняет размещение шкворневого узла.

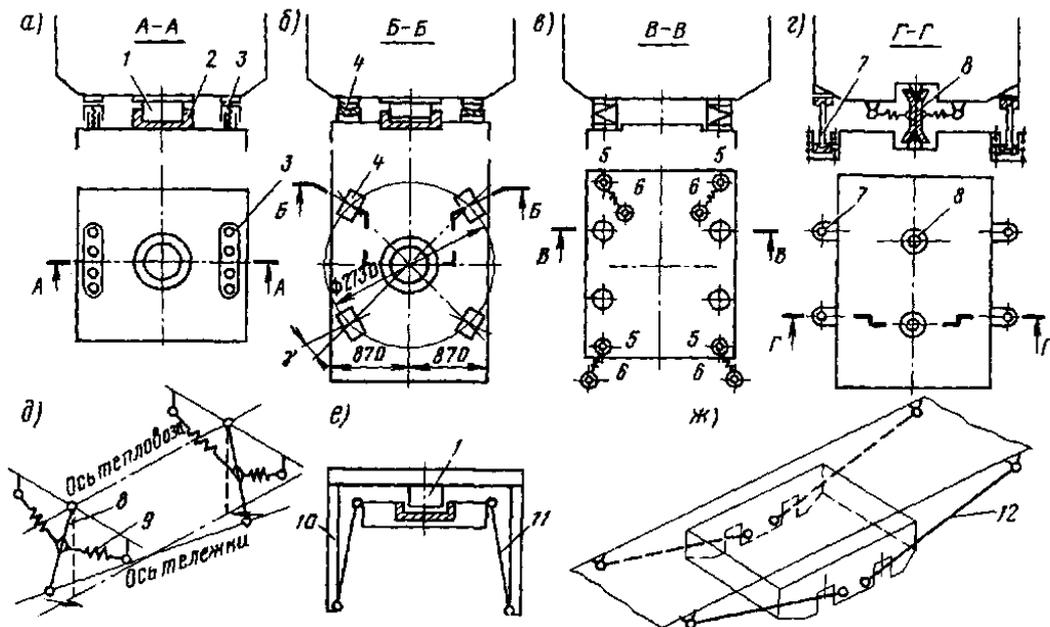


Рисунок 1.2. Схемы связей рамы локомотива с тележками

Рама локомотива опирается на раму тележки через несколько боковых упругих опор при отсутствии шкворня. Возможность поворота тележки обеспечивается упругостью резинометаллических опорных элементов и небольшим (до 20 мм в одну сторону) поперечным смещением опорных коробок по бронзовым направляющим на раме тележки. Горизонтальные силы передаются также через опорные элементы, которые имеют вид конических втулок.

Рама локомотива опирается на раму тележки через две главные вертикальные маятниковые опоры 8 — качающиеся стойки, расположенные на ее продольной оси (рис. 1.2, г). Каждая опора соединена

с рамой кузова и рамой тележки через конические резинометаллические втулки. Эти опоры передают и продольные горизонтальные силы, и половину вертикальной нагрузки.

Вертикальные нагрузки (вторая половина веса надтележечного строения) воспринимаются также четырьмя боковыми вертикальными стойками 7. Наличие боковых опор обеспечивает поперечную устойчивость кузова.

Такая схема передачи нагрузок применена на пассажирских локомотивах, а также на некоторых электровозах. Она характерна полным отсутствием трения скольжения в главных опорах. Возможность поворота тележек обеспечивается отклонением главных опор от вертикальной оси (рисунок 1.2, д). Горизонтальные упругие тяги 9 способствуют передаче поперечных сил и возвращению тележки в исходное положение.

Маятниковое подвешивание увеличивает устойчивость надтележечного строения локомотива за счет снижения высоты точки передачи веса на раму тележки, способствует уменьшению воздействия на путь и поэтому нашло распространение в различных вариантах в целом ряде конструкций современных локомотивов.

Рама локомотива при наличии шкворня, являющегося осью поворота и передающего горизонтальные силы, своими кронштейнами 10 (рис. 1.2, е) подвешивается к раме каждой тележки на четырех боковых маятниковых подвесках. Такая схема применена на маневровых локомотивах. Оси наклонных подвесок пересекаются на оси шкворня. Осуществлены схемы с двумя боковыми маятниковыми подвесками при наличии центрального шкворня для передачи горизонтальных сил (локомотивы французских фирм). В некоторых конструкциях продольные горизонтальные силы передаются системой длинных наклонных тяг 12, соединяющих раму с тележкой так, что точка пересечения их осей находится на уровне ниже центров ведущих осей (рис. 1.2, ж). Такое соединение способствует лучшему использованию сцепного веса локомотива.

Если боковые упругие опоры выполнить в виде комплекта высоких пружин, закрепленных соответственно своими концами в рамах локомотива и тележки, то при смещении тележки возвращающая сила будет возникать вследствие сопротивления пружин поперечному сдвигу. Такая схема в настоящее время получила распространение в локомотивостроении и применена на локомотивах ТЭП70. Горизонтальные силы в этом случае передаются низко опущенным шкворнем. [5]

Типы тележек. Тележки локомотивов конструктивно различаются в зависимости от типа передачи, числа осей, способа передачи вращающего момента от двигателя на колесные пары. Кроме того, конструкция тележки и ее рамы зависит от способа передачи нагрузки от кузова. Тележки могут быть двух-, трех- и четырехосными.

Тележка состоит из рамы тележки с опорно-возвращающими устройствами, колесных пар с буксами, приводных устройств для передачи вращающего момента от двигателя, рессорного подвешивания. На тележке размещается также оборудование тормозной и песочной систем.

На современных серийных отечественных локомотивах применяются тележки трех основных типов: трехосная челюстная тележка локомотивов с электрической передачей и опорно-осевым подвешиванием тяговых электродвигателей (локомотивы ТЭЗ, ТЭ7, 2ТЭ10Л, М62, ТЭМ1, ТЭМ2 и др.); то же бесчелюстная (локомотивы 2ТЭ10В, 3ТЭ10М, 2ТЭ116); трехосная бесчелюстная тележка локомотивов с электрической передачей и опорно-рамным подвешиванием тяговых электродвигателей.

Тележки с опорно-осевым подвешиванием тяговых электродвигателей. Трехосная челюстная тележка такого типа (рис. 1.3.) с небольшими конструктивными различиями применяется на многих грузовых и маневровых локомотивах с электрической передачей. Три колесные пары 10 своими буксами 6 и 11 установлены в челюсти рамы 1 тележки. Челюсти снизу стянуты струнками 9. Все колесные пары имеют поперечный разбег относительно рамы тележки.

Вертикальная нагрузка от рамы локомотива передается на тележку через четыре опоры, размещенные по окружности диаметром 2730 мм вокруг шкворня. Шкворень рамы, входящий в гнездо подпятника шкворневой балки, передает только горизонтальные силы (тяговые, тормозные, инерционные).

Опоры 3, помимо передачи вертикальной нагрузки на тележку, используются для ограничения колебаний кузова и тележки в горизонтальной плоскости. Поэтому опора включает в себя и возвращающее устройство роликового типа.

Бесчелюстная тележка (рис. 1.4), помимо конструкции буксового узла, отличается односторонним расположением тяговых электродвигателей 3: все они размещены по одну сторону от своих колесных пар 8 («гуськом») — к центру секции. Такое расположение двигателей уменьшает разгрузку отдельных осей и улучшает использование сцепного веса локомотива. Подпятник шкворня 15 имеет возможность поперечного смещения относительно шкворневой балки 9.

Буксы 5 и 11 связаны с рамой тележки поводками 12, которые передают горизонтальные силы. Вертикальная нагрузка передается на каждую буксу через два комплекта пружин 10.

Рамы тележек. Конструкция рамы тележки зависит от назначения тележки, числа осей, устройства опор кузова и способа передачи крутящего момента от тягового электродвигателя или редуктора гидравлической передачи. Основными элементами рамы являются ее боковые балки (боковины), с которыми соединяются буксы.

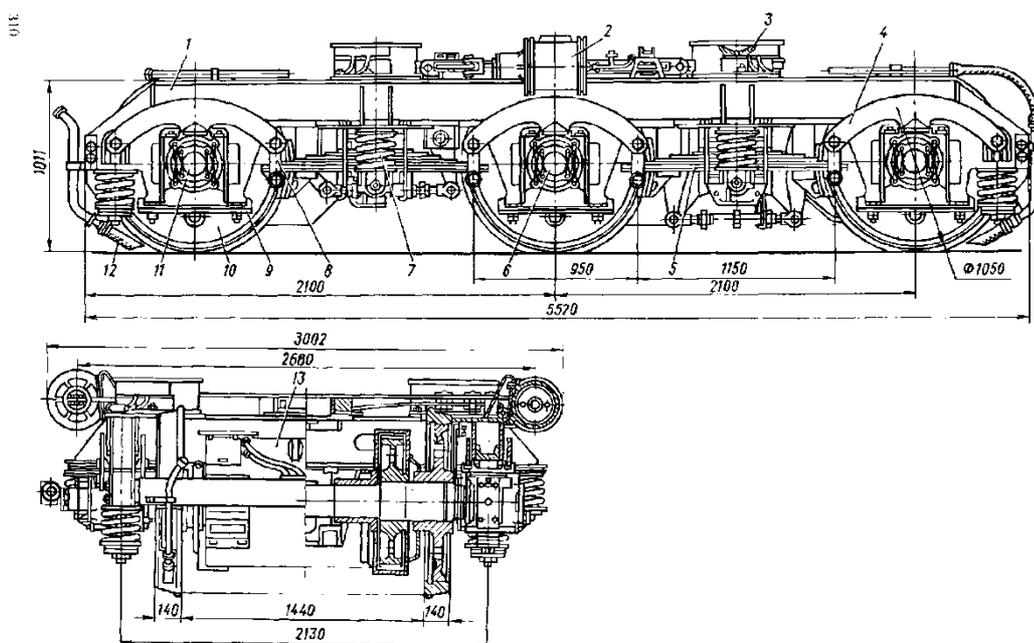


Рисунок 1.3. Трехосная челюстная тележка (локомотива 2ТЭ10Л):  
 1 — рама; 2 — тормозной цилиндр; 3 — опора; 4 — балансир; 5 — листовая рессора; 6 — букса средней оси; 7 — пружина; 8 — подвеска рессоры; 9 — струнка; 10 — колесная пара; 11 — букса крайней оси (с упругим упором); 12 — песочная труба; 13 — тяговый электродвигатель

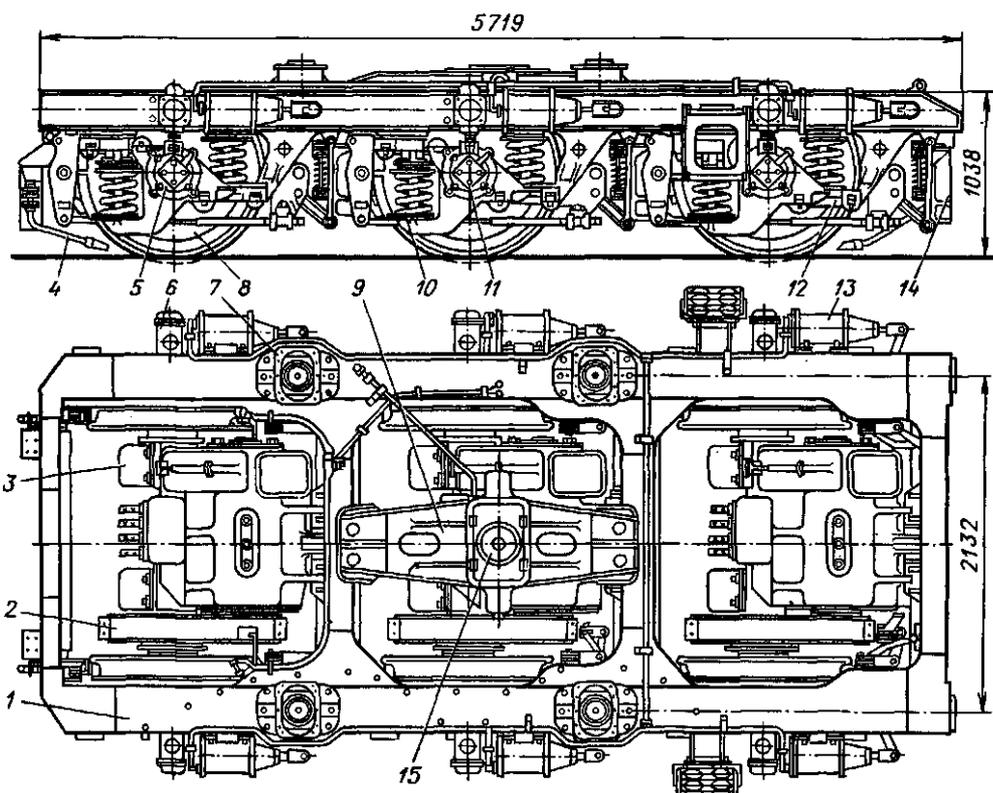


Рисунок 1.4. Трехосная бесчелюстная тележка (локомотива 2ТЭ10В):  
 1 — рама; 2 — кожух тягового редуктора; 3 — тяговый электродвигатель; 4 — песочная труба; 5 — букса крайней оси; 6 — гаситель колебаний; 7 — опора; 8 — колесная пара; 9 — шкворневая балка; 10 — пружина; 11 — букса средней оси; 12 — поводок буксы; 13 — тормозной цилиндр; 14 — кронштейн подвески тягового электродвигателя; 15 — подпятник шкворня

В зависимости от числа осей тележки и способа передачи на нее вертикальной нагрузки боковины рамы могут соединяться по-разному. На двухосных тележках боковины 1 соединяются тремя поперечными балками (рис. 1.5, а), средняя из которых (2) является более мощной. В случае центрального приложения вертикальной нагрузки через шкворень она называется шкворневой и передает все силы между тележкой и рамой локомотива, причем основной нагрузкой на нее является изгибаю-

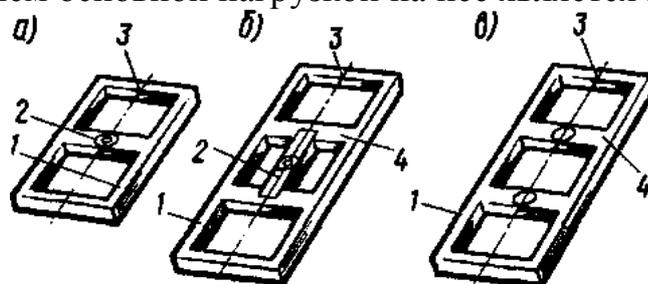


Рисунок 1.5. Схемы рам тележек

щий момент от вертикальных сил. Концевые балки 3 служат для обеспечения жесткости конструкции рамы и закрепления на ней других узлов тележки.

На трехосной тележке с передачей сил через две центральные опоры (рис. 1.5, в), как на локомотивах ТЭ60 и ТЭП70, шкворневых балок две (4).

В случае если вертикальная нагрузка передается через боковые опоры непосредственно на боковины, как на локомотивах ТЭЗ и 2ТЭ10Л (в), средние поперечные балки 4 (рис. 1.5, б) не воспринимают изгибающих моментов от вертикальных нагрузок и выполняются более легкими. Однако для размещения подпятника шкворня и передачи продольных сил здесь необходима продольная шкворневая балка 2, опирающаяся на балки 4.

С конструктивно-технологической точки зрения рамы тележек различаются по исполнению боковин. Они могут быть брусковыми, литыми или коробчатыми (сварными). Брусковые рамы с боковинами, вырезанными из толстого стального листа, применялись на локомотивах ТЭ2. Рамы с боковинами из стального литья, имеющие большой вес, применяются на некоторых электровозах (ВЛ8), а также на локомотивах США, где на железных дорогах допускаются значительно большие, чем у нас, нагрузки от осей на рельсы (до 300—350 кН). [5]

Боковины рам тележек большинства отечественных локомотивов имеют коробчатое сечение, образованное сваркой из стальных листов или штампованных профилей. В конструкции рамы такие боковины сочетаются с литыми элементами. Примером комбинированной рамы может служить рама трехосной тележки локомотивов ТЭЗ и 2ТЭ10Л (рисунок 1.6.). Рама состоит из двух боковин 8, двух между-рамных поперечных балок 1, двух концевых балок 3 и продольной шкворневой балки 2. Боковины рамы и поперечные балки 1 выполнены из листовой

стали и имеют коробчатое сечение. Соединения боковин и поперечных балок усилены накладкой верхнего листа 4 и в местах соединения балок развиты для возможности установки боковых опор. Посредине шкворневой балки расположено цилиндрическое гнездо (пята) 12 для шкворня рамы локомотива. Шкворень на дно гнезда шкворневой балки не опирается и передает только горизонтальные (продольные и поперечные) усилия. В гнездо вставлена сменная цилиндрическая втулка, заменяемая при износе.

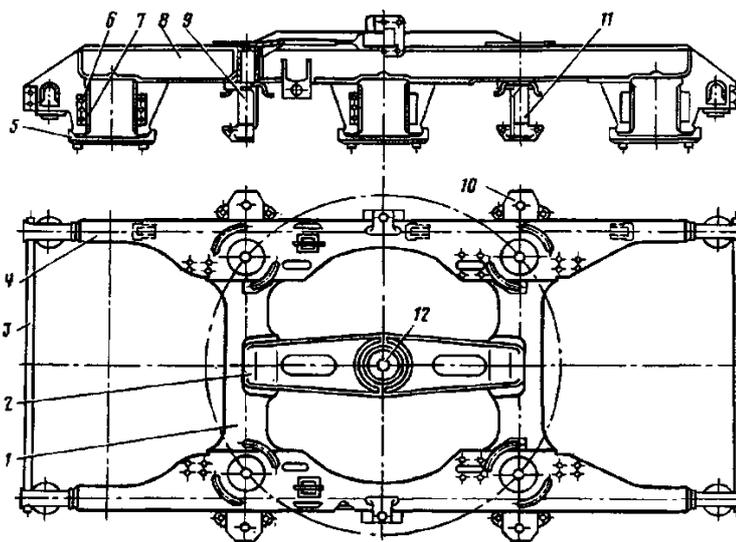


Рисунок 1.6. Рама тележки локомотива 2ТЭ10Л

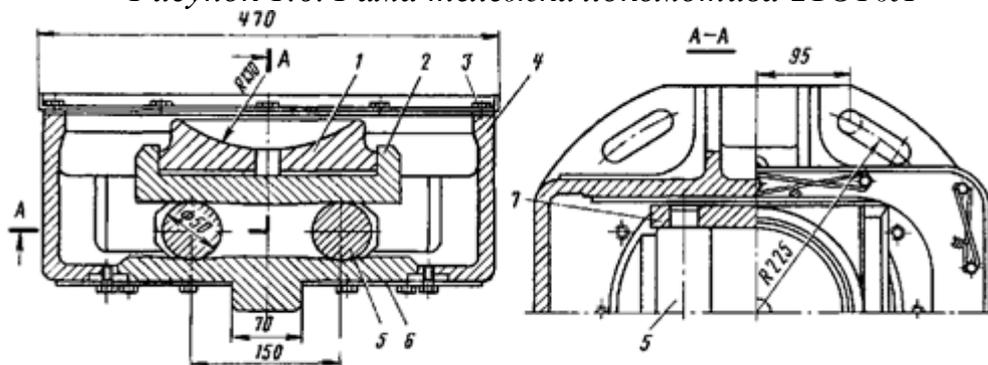


Рисунок 1.7. Опорно-возвращающее устройство.

Вес верхнего строения локомотива передается на тележку через четыре опоры, расположенные по окружности. Такая передача нагрузки освобождает шкворневую и поперечные балки рамы тележки от изгибающих усилий и обеспечивает устойчивое положение тележки под локомотивом. Опоры тележки являются одновременно и устройствами, возвращающими тележку в прямое положение при выходе локомотива с криволинейных участков пути на прямой. К боковинам рамы приварены литые буксовые челюсти 6 с наличниками 7 из стали 60Г. К поперечным балкам 1 приварены и дополнительно прикреплены болтами кронштейны 9 и 2, один из которых (2) имеет опоры под тяговые электродвигатели с двух

сторон, а другой (9) — с одной стороны. По бокам рама тележки имеет выступающие опоры 10 для пружин рессорного подвешивания.

Снизу буксовые челюсти стянуты подбуксовыми струнками 5. Струнка по концам имеет охватывающие выступы, которые пригнаны к челюсти по краске. Между стрункой и челюстью имеется зазор для натяга струнки. В зазор вставляют прокладку, которая зажимается между челюстью и стрункой болтами. Головки болтов приваривают к челюсти для предотвращения проворачивания болтов при заворачивании гаек.

Опорно-возвращающее устройство. Устройство (рис. 1.7. а) служит для передачи вертикальной нагрузки на тележку, удержания тележки во время движения в положении, при котором ее продольная ось совпадает с продольной осью локомотива, и для возвращения тележки в это положение при ее отклонении. Опорно-возвращающее устройство представляет собой стальную коробку 4, в которой помещены нижняя 6 и верхняя 2 опорные плиты и гнездо 1, на которое опирается сферическая (грибовидная) опора рамы локомотива. Между верхней и нижней опорными плитами находятся два ролика 5, соединенных обоймами 7.

Внутренняя полость опорно-возвращающего устройства заполняется осевой смазкой. Для предохранения от пыли корпус сверху закрыт крышкой 3, а вся опора — брезентовым чехлом. Рабочие поверхности верхней 2 и нижней 6 опорных плит не горизонтальные, а наклонены в обе стороны от среднего положения ролика на небольшой угол ( $2^\circ$ ). При входе локомотива в кривую опорные плиты смещаются относительно друг друга и ролики накатываются на наклонные поверхности плит, при этом возникает горизонтальная сила, которая стремится вернуть опоры в первоначальное положение. Момент, создаваемый этими силами всех опор, на плече, равном их расстоянию (радиусу) от центра поворота тележки, носит название возвращающего.

Кроме перекачивания роликов по наклонным плоскостям, при поворотах тележки имеет место еще скольжение гнезда 1 по опоре рамы локомотива и поворот гнезда относительно этой опоры. Таким образом, отклонению тележки препятствует не только возвращающий момент, но и момент трения между поверхностями указанных деталей. Чтобы обеспечить возвращение тележки в первоначальное положение, возвращающий момент должен быть больше момента сил трения. Соотношение этих моментов зависит от угла  $\gamma$  (рис. 1.7, б) смещения поперечной оси опоры относительно радиуса, соединяющего центр шкворня тележки с центром хвостовика опорно-возвращающего устройства. Угол установки опор  $\gamma$  в тележках грузовых и маневровых локомотивов принят равным  $5^\circ$ .

Недостатком рассмотренной конструкции является постоянство возвращающей силы (так как угол наклона опорных плит неизменен, то величина горизонтальной составляющей силы тяжести не зависит от угла поворота). Поэтому на бесчелюстных тележках локомотивов 2ТЭ10В и

2ТЭ116 рабочие поверхности опорных плит выполнены не наклонными, а цилиндрическими — по дуге большого радиуса. В результате угол наклона касательной становится переменным и возвращающая сила увеличивается с увеличением угла поворота. Для увеличения роли трения при относительном скольжении ролики опор этих локомотивов размещены не по радиусу, а параллельно оси тележки. Все это, вместе взятое (а также возможность поперечного смещения подпятника шкворня), обеспечило снижение динамических усилий при движении локомотива в кривых. [6]

## **1.2. Обзор патентной литературы по перспективным конструкциям соединениям кузова с тележками.**

Известна конструкция по шкворневому узлу (рис. 1.8.) по Патенту России на изобретение № RU 2513093, опубликованный в 20.04.2014. [7]. Изобретение относится к узлам трения, работающим в условиях ограниченной смазки, и может использоваться в узлах трения подвижного состава и подъемно-транспортных средств, перемещающихся по рельсам.

Известна шкворневая система железнодорожного вагона (см. напр. Конструкция и расчет вагонов: Учебник для ВУЗов ж.-д. трансп. В.В. Лукин, Л.А.Шадур, В.Н.Котуранов, А.А.Хохлов, П.С.Анисимов. Под ред. В.В.Лукина. - М.: УМК МПС России, 2000. 731 с.), соединяющая тележку с рамой кузова, которая содержит пятник и подпятник, контактирующие по упорной и опорной поверхностям, расположенным под углом. При этом опорная поверхность обеспечивает фрикционный контакт в вертикальном направлении, а упорная в горизонтальном. Смазка указанных поверхностей обеспечивается путем введения разовой консистентной смазки во время деповского ремонта, при котором осуществляется разборка шкворневого узла.

Недостатком известной конструкции шкворневого узла является низкая долговечность пятника и подпятника, что объясняется выдавливанием разовой консистентной смазки из зоны трения. Как следствие, большая часть времени межремонтного цикла, фрикционный контакт пятника и подпятника осуществляется в условиях недостатка смазочного материала или даже в условиях его отсутствия.

Известна шкворневая система устройства, перемещающегося по рельсам, соединяющая ходовую тележку с несущей рамой, содержащая пятник и подпятник, контактирующие по опорной и упорной поверхностям, при этом на поверхности одного из указанных элементов имеются выемки, заполненные твердым смазочным материалом, причем угол, образованный осями выемок в радиальном направлении, не превышает угла поворота тележки в кривых участках пути (Патент RU 2389627 C2. Шкворневая система устройства, перемещающегося по рельсам. Опубл. 20.05.2010. Бюл. 14).

Недостатками известной конструкции шкворневого узла является низкая ремонтпригодность. Это объясняется тем, что пятник является неснимаемой частью рамы, а подпятник неснимаемой частью ходовой тележки.

Изобретением решается задача повышения ремонтпригодности шкворневого узла.

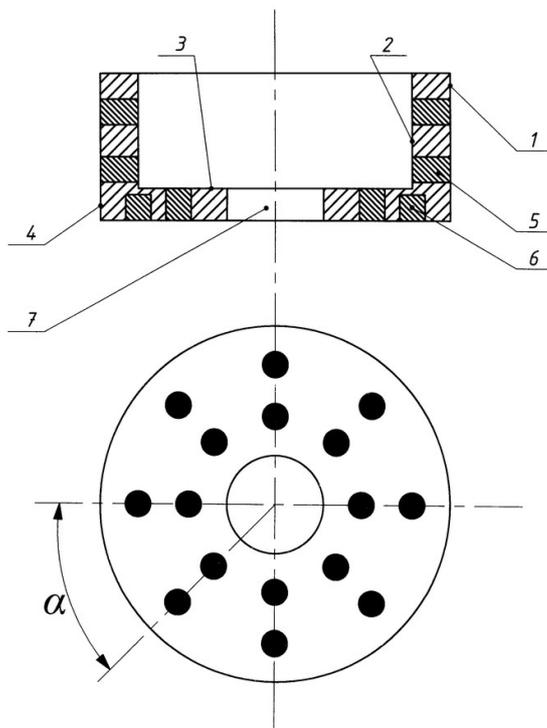


Рисунок 1.8. Шкворневой узел по Патенту России на изобретение № RU 2513093, опубликованный в 20.04.2014. [7].

Указанная цель достигается тем, что в шкворневой системе устройства, перемещающегося по рельсам, соединяющей ходовую тележку с несущей рамой, содержащей пятник и подпятник, опорные и упорные поверхности с выемками, заполненными твердым смазочным материалом, и угол, образованный радиальными осями выемок, не превышающий угол поворота тележки в кривых участках пути, согласно изобретению выемки выполняются в виде сквозных и несквозных отверстий на упорных и опорных поверхностях элемента, расположенного между упорными и опорными поверхностями пятниками и подпятниками и имеющего твердость меньше твердости указанным элементов.

Сущность изобретения поясняется графически на чертеже.

На чертеже показан пример конструктивного исполнения съемного элемента, имеющего форму стакана с внутренними и внешними соответственно упорными 1 и 2 и опорными 3 и 4 поверхностями, на которых выполнены сквозные 5 и несквозные 6 отверстия, заполненные твердым смазочным материалом, причем угол  $\alpha$ , образованный радиальными осями отверстий, не превышает угла  $\beta$  поворота тележки в

кривых участках пути, т.е.  $\alpha \leq \beta$ , а в нижней части стакана имеется отверстие 7 под шкворень.

При скольжении пятника относительно подпятника по мере изнашивания промежуточного элемента за счет того, что он имеет меньшую твердость, в зону контакта будет попадать смазка, которая покроеет поверхности трения и снизит интенсивность износа. Так как изнашиваться будет только промежуточный элемент, при ремонте достаточно будет его заменить.

#### Формула изобретения

Шкворневая система устройства, перемещающегося по рельсам, соединяющая ходовую тележку с несущей рамой, содержащая пятник и подпятник, опорные и упорные поверхности с выемками, заполненными твердым смазочным материалом, и угол, образованный радиальными осями выемок, не превышающий угол поворота тележки в кривых участках пути, отличающаяся тем, что выемки выполняются в виде сквозных и несквозных отверстий на упорных и опорных поверхностях элемента, расположенного между упорными и опорными поверхностями пятника и подпятника и имеющего твердость меньше твердости указанных элементов.

Также Известна конструкция по шкворневому узлу (рис. 1.8.) по Патенту России на изобретение № RU 2476338, опубликованный в 27.02.2013. [8].

Изобретение относится к железнодорожному транспорту и может быть использовано для подвески кузова вагона или локомотива с обеспечением его наклона на радиусных участках железнодорожного пути.

Известна система наклона кузова железнодорожного транспорта, указанная в тележке железнодорожного вагона, в которой между рамами тележки и рессорами установлены гидравлические цилиндры (гидроцилиндры), напорные камеры гидравлических цилиндров сообщаются между собой посредством коммуникационных труб, на которых установлены клапаны, гидравлическое давление, поступающее в цилиндры, имеет различную величину, чтобы выровнять нагрузки, действующие на разные колеса (JP, патент на изобретение № 4388883, кл. B61F 3/00, опубл. 2009 г.).

Недостатками изобретения являются:

- расположение гидроцилиндров между пружиной и рамой усложняет их техническое обслуживание;
- установка гидроцилиндров на буксах колесных пар с регулированием давления в каждом гидроциindre для выравнивания нагрузки, действующей на разные колеса усложняет конструкцию тележки и управление гидроцилиндрами;

- вертикальное положение гидроцилиндров усложняет управление наклоном кузова при переходе с прямолинейных участков пути на криволинейные, что снижает надежность устройства.

Известна система наклона кузова железнодорожного транспорта, указанная в тележке с устройством для наклона кузова вагона, в которой пружина колесной оси смонтирована на осевой буксе, а гидравлический цилиндр установлен между пружиной и рамой тележки, гидравлический цилиндр (гидроцилиндр) содержит плунжер и корпус, являющиеся его главными частями, гидравлический цилиндр размещен внутри пружины и имеет изогнутую секцию, чтобы тележка и кузов вагона могли наклоняться внутрь. (JP, патент на изобретение № 4012614, кл. B61F 5/02, опублик. 2007 г.)

Недостатками изобретения являются:

- расположение гидроцилиндров между пружиной и рамой тележки и внутри пружин, смонтированных на буксах, усложняет конструкцию тележки и техническое обслуживание гидроцилиндров;

- вертикальное положение гидроцилиндров и изогнутая секция усложняют конструкцию и управление ими при переходе с прямолинейных участков пути на криволинейные, что снижает эффективность, надежность и безопасность устройства. недостатками ходовой части рельсовых транспортных средств являются:

- наличие наклонных маятниковых подвесок между рамой ходовой тележки и подрессорной балкой или между рамой ходовой тележки и люлькой, воспринимающих нагрузки от полной массы транспортного средства, повышает сложность и снижает надежность и безопасность устройства;

Известна система наклона кузова железнодорожного транспорта, указанная в ходовой части рельсовых транспортных средств, принятая в качестве прототипа, содержащая колеса или колесные пары, на которые через рессоры системы первичного рессорного подвешивания опирается рама (ходовой тележки), на которую необязательно через промежуточную люльку опирается кузов вагона; люлька или кузов вагона опирается относительно рамы (ходовой тележки) на подрессоренную балку через рессоры системы вторичного подрессоривания, люлька соединена или кузов соединен с рамой (ходовой тележки) гасящими вертикальные колебания и/или боковую качку амортизаторами, подрессорная балка подвешена к раме (ходовой тележки) маятниковыми подвесками (подвесками), при этом точки крепления к раме (ходовой тележки) маятниковых подвесок смещены внутрь к ее центру, вследствие чего продольные оси маятниковых подвесок расположены наклонно, между рамой (ходовой тележки) и подрессорной балкой или между рамой (ходовой тележки) и люлькой расположен ориентированный в горизонтальном направлении активный исполнительный орган, который

оказывает вспомогательное воздействие, дополняющее действие центробежной силы, и обеспечивает тем самым наклон кузова на оптимальный угол, появляется возможность проходить кривые на более высоких скоростях и повышается уровень комфорта пассажиров

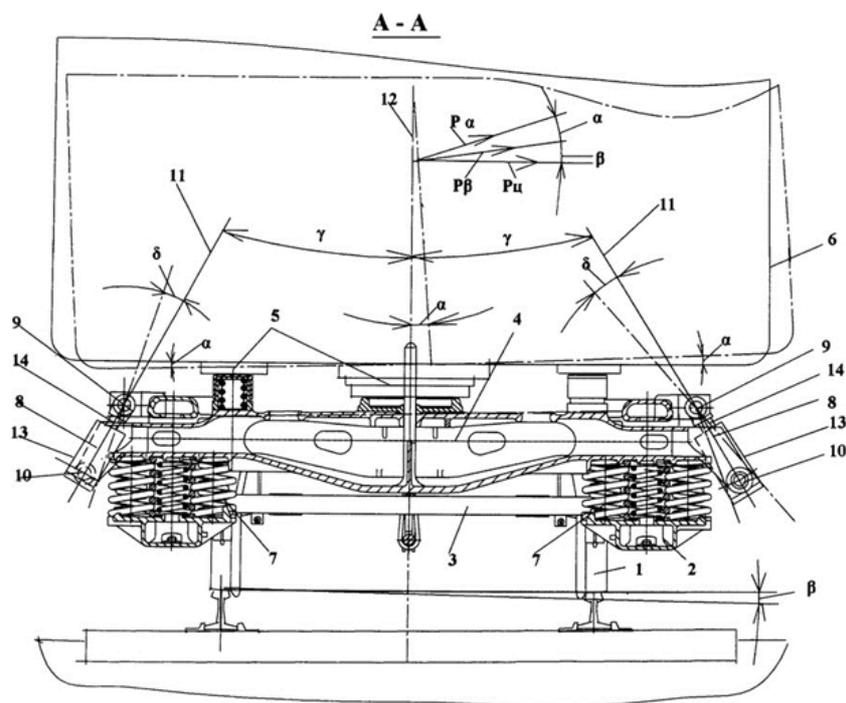


Рисунок 1.9. Ходовая тележка в разрезе по Патенту России на изобретение № RU 2476338. [8].

Техническим результатом изобретения является повышение надежности, эффективности и безопасности устройства и упрощение конструкции за счет установки пружин основного рессорного подвешивания непосредственно на раму ходовой тележки и выполнение поворота кузова за счет установки дополнительных пружин.

Указанный технический результат достигается тем, что система наклона кузова железнодорожного транспорта, содержащая колеса или колесные пары, установленные в раме ходовой тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов вагона и которая, через рессоры системы рессорного подвешивания опирается на раму ходовой тележки с возможностью поперечного относительно рамы ходовой тележки смещения с использованием подвесок, при этом точки крепления подвесок к раме ходовой тележки смещены внутрь к ее центру, а точки крепления подвесок к подрессорной балке смещены наружу, вследствие чего продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки; подвески выполнены в виде гидроцилиндров со штоками, закрепленными на боковых стенках рамы ходовой тележки с возможностью увеличения вертикальной и горизонтальной составляющей

усилия воздействия гидроцилиндров на подрессорную балку в направлении действия центробежной силы вагона при прохождении кривых участков пути и уменьшения вертикальной и горизонтальной составляющей усилия воздействия гидроцилиндров с другой стороны подрессорной балки и дополнительного поворота подрессорной балки, кузова и вагона.

Система наклона кузова железнодорожного транспорта содержит колеса или колесные пары 1 (рисунок 1.9. и 1.10), установленные в раме 2 ходовой тележки 3 с подрессорной балкой 4, на которую опирается кузов 5 вагона 6 и которая, через рессоры 7 системы рессорного подвешивания опирается на раму 2 ходовой тележки 3 с возможностью поперечного относительно рамы 2 ходовой тележки 3 поворота, с использованием подвесок 8, при этом точки крепления 9 подвесок 8 к раме 2 ходовой тележки 3 смещены внутрь к ее центру, а точки крепления 10 подвесок 8 к подрессорной балке 4 смещены наружу, вследствие чего продольные оси 11 подвесок 8 расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой 4 под углом  $\gamma$  относительно вертикальной оси 12 ходовой тележки 3; подвески 8 выполнены в виде гидроцилиндров 13 со штоками 14, закрепленными к раме 2 в точках крепления 9 и к подрессорной балке 4 в точках крепления 10 с возможностью увеличения вертикальной  $P_v$  и горизонтальной  $P_g$  составляющих усилия воздействия гидроцилиндров 13 на подрессорную балку 4 в направлении действия центробежной силы  $P_c$  вагона 6 при прохождении кривых участков пути и уменьшения вертикальной  $P_v$  и горизонтальной  $P_g$  составляющих усилия воздействия гидроцилиндров 13 с другой стороны кузова 5 и подрессорной балки 4 и дополнительного поворота подрессорной балки 4, вагона 6.

Система наклона кузова железнодорожного транспорта работает следующим образом.

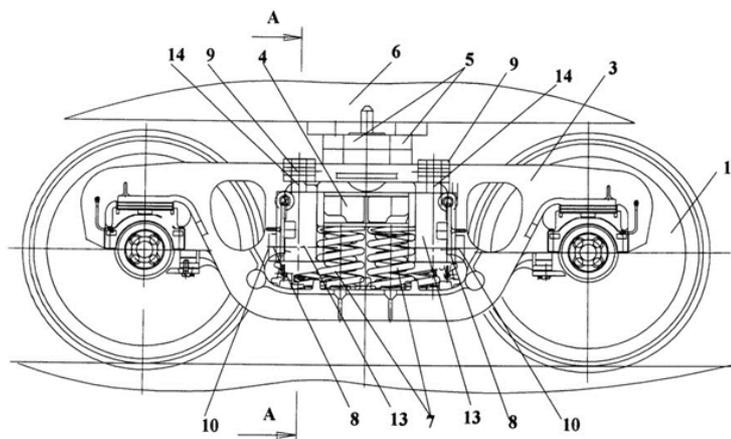


Рисунок 1.10. Ходовая тележка - вид сбоку по Патенту России на изобретение № RU 2476338. [8].

При движении железнодорожного транспортного средства по прямому пути гидроцилиндрами 13 со штоками 14 подрессорная балка 4 устанавливает кузов 5 и вагон 6 в среднее положение симметрично вертикальной оси 12 и удерживает в этом положении при равновесии сил  $P_g$  и  $P_v$  с обеих сторон ходовой тележки 3. При прохождении кривых участков пути возникает центробежное ускорение, создающее поперечную силу  $P_c$ , действующую горизонтально от центра тяжести вагона 6 в направлении внешнего радиуса пути, что повышает нагрузки на транспортное средство и снижает комфортность пассажиров. Для уменьшения действия этой силы при строительстве пути выполняется возвышение наружного рельса над внутренним с образованием угла наклона  $\beta$ , при этом величина поперечной силы  $P^\beta$  снижается и комфортность пассажиров повышается. Переход транспорта на скоростное движение приводит к новому повышению центробежного ускорения и поперечной силы  $P^\beta$ . При прохождении кривых участков пути на повышенных скоростях подрессорная балка 4, гидроцилиндрами 13 со штоками 14 связанная с кузовом 5 вагона 6, сдвигается в направлении действия поперечной силы  $P^\beta$  (сдвиг может составлять от 40 до 120 мм в зависимости от величины силы  $P^\beta$ ), при этом подвески 8 с гидроцилиндрами 13 и штоками 14 поворачиваются на соответствующий угол  $\delta$  и за счет смещения точек 10 их крепления и происходит увеличение вертикальной силы  $P_v$  и горизонтальной  $P_g$  составляющих усилия воздействия на подрессорную балку 4 и уменьшение вертикальной  $P_v$  и горизонтальной  $P_g$  составляющих усилия воздействия гидроцилиндров 13 с другой стороны рамы 2 ходовой тележки 3 в направлении действия центробежной силы  $P^{\alpha}$  и дополнительный поворот вагона 6 относительно рельсов на угол  $\alpha$ , при этом центробежная сила  $P^{\alpha}$  достигает уровня комфортности пассажиров, а увеличенная горизонтальная составляющая  $P_g$  со стороны действия силы  $P^{\alpha}$  гасит горизонтальные колебания подрессорной балки 4 и кузова 5, повышает надежность, эффективность и безопасность устройства и упрощает конструкцию системы наклона кузова.

#### Формула изобретения

Система наклона кузова железнодорожного транспорта, содержащая колеса или колесные пары, установленные в раме ходовой тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов вагона и которая через рессоры системы рессорного подвешивания опирается на раму ходовой тележки с возможностью поперечного относительно рамы ходовой тележки смещения с использованием подвесок, при этом точки крепления подвесок к раме ходовой тележки смещены внутрь к ее центру, а точки

крепления подвесок к подрессорной балке смещены наружу, вследствие чего продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки, отличающаяся тем, что подвески выполнены в виде гидроцилиндров со штоками, закрепленными на боковых стенках рамы ходовой тележки с возможностью увеличения вертикальной и горизонтальной составляющих усилия воздействия гидроцилиндров на подрессорную балку в направлении действия центробежной силы вагона при прохождении кривых участков пути и уменьшения вертикальной и горизонтальной составляющих усилия воздействия гидроцилиндров с другой стороны подрессорной балки и дополнительного поворота подрессорной балки, кузова и вагона.

Также известна конструкция по тележке Якобса с качательной опорой по Патенту России на изобретение № RU 2456189, опубликованный в 20.07.2012. [9].

Изобретение относится к транспортному средству, в частности рельсовому транспортному средству, содержащему продольную ось, первый кузов вагона, опирающийся через первое рессорное устройство на ходовой механизм, второй кузов вагона, расположенный рядом с первым кузовом вагона в направлении продольной оси транспортного средства и опирающийся через второе рессорное устройство на ходовой механизм, и качательное опорное устройство, соединенное с первым кузовом вагона посредством, по меньшей мере, одного первого соединительного устройства и противодействует качательным движениям первого кузова вагона вокруг оси качания, параллельной продольной оси транспортного средства.

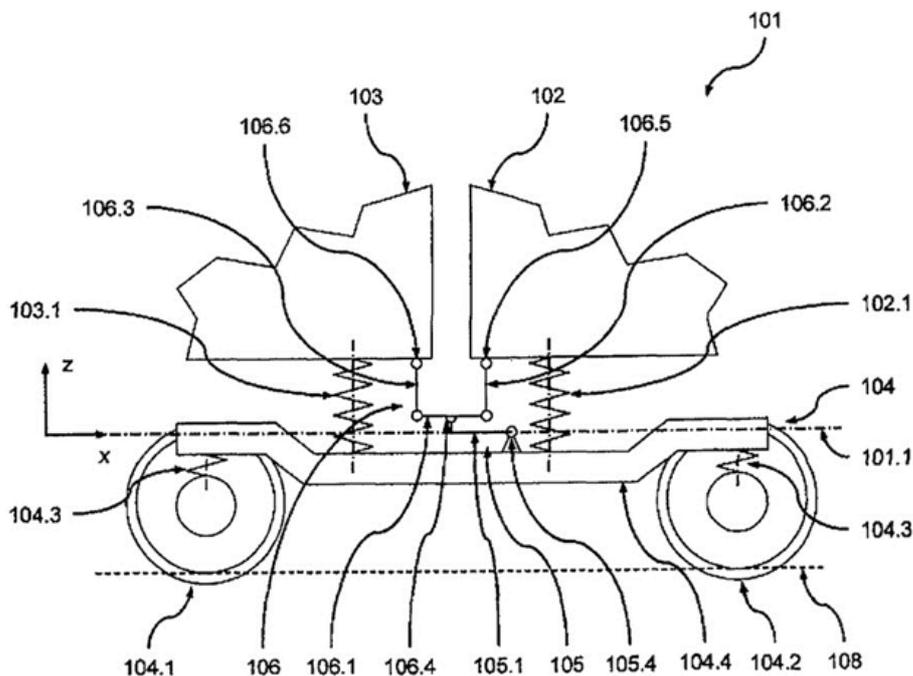
В рельсовых, как и в других транспортных средствах, кузов вагона, как правило, установлен подпружиненно относительно колесных блоков, например колесных пар, посредством одной или нескольких ступеней подрессоривания. Во время центробежного ускорения, возникающего при движении по кривой, поперек направления движения и тем самым поперек продольной оси, кузов вагона из-за лежащего сравнительно высоко центра тяжести стремится наклониться наружу относительно колесных блоков, т.е. совершить качательное движение вокруг оси качания, параллельной продольной оси транспортного средства.

Такие качательные движения выше определенных предельных значений, во-первых, ухудшают комфортабельность езды. Во-вторых, они вызывают опасность нарушения допустимого габарита приближения строений, а касательно безопасности в отношении схода с рельсов - опасность недопустимых односторонних разгрузок колес. Во избежание этого, как правило, используются качательные опорные устройства в виде так называемых стабилизаторов качки. Их задача заключается в том, чтобы оказывать сопротивления качательному движению кузова вагона для его

уменьшения, но не мешать движениям подъема и опускания кузова вагона относительно колесных блоков.

Такие стабилизаторы качки известны в различных гидравлических или чисто механических исполнениях. Нередко используется проходящий поперек продольной оси транспортного средства торсионный вал, как это известно, например, из EP 1075407 B1. На этом торсионном валу по обеим сторонам продольной оси транспортного средства жестко установлены проходящие вдоль нее рычаги. В свою очередь, рычаги соединены с коромыслами и т.п., расположенными кинематически параллельно рессорным устройствам транспортного средства. При прогибе рессорных устройств установленные на торсионном валу рычаги через соединенные с ними коромысла приводятся во вращательное движение.

Если при движении по кривой происходит качательное движение с разными ходами пружин рессорных устройств по обеим сторонам транспортного средства, то возникают различные углы вращения установленных на торсионном валу рычагов. Торсионный вал нагружается скручивающим моментом, который в зависимости от его крутильной жесткости выравнивает его при определенном угле кручения за счет основанного на его упругой деформации ответного момента, предотвращая,



*Рисунок 1.11 - схематичный вид сбоку части предпочтительного варианта транспортного средства в нейтральном положении по Патенту России на изобретение № RU 2456189 [9].*

таким образом, дальнейшее качательное движение. При этом в оснащенных тележками рельсовых транспортных средствах качательное опорное устройство может быть предусмотрено для вторичной ступени

подрессоривания, т.е. действовать между рамой ходового механизма и кузовом вагона. Качательное опорное устройство может быть использовано также на первичной ступени, т.е. действовать между колесными блоками и рамой ходового механизма или - при отсутствии вторичного подрессоривания - кузовом вагона.

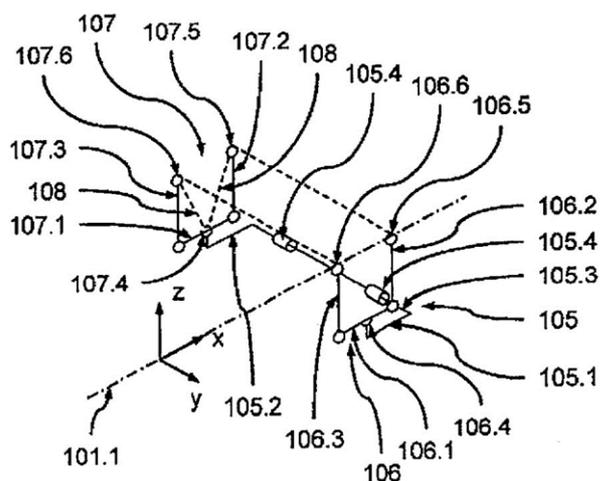
Такие стабилизаторы качки используются также в родовых рельсовых транспортных средствах, известных, например, из DE 4311521 C1. В известном из этого документа рельсовом транспортном средстве два соседних кузова вагонов опираются на одну общую, так называемую тележку Якобса, причем для каждого кузова вагона предусмотрен отдельный, опирающийся на тележку стабилизатор качки. Кроме того, оба соседних кузова вагонов опираются своим другим концом также через стабилизаторы качки на предшествующую и последующую тележки.

Стабилизаторы качки приводят, правда, к желаемому повышению качательной жесткости всего устройства, т.е. к достаточно низкому коэффициенту крена кузова вагона. Однако они имеют тот недостаток, что при движении на участках пути с перекосом плоскости пути, возникающим, например, на рампах с возвышением одного рельса над другим и т.п., за счет наклоненных друг к другу плоскостей пути в зоне предшествующей тележки, тележки Якобса, и последующей тележки возникает высокий крутящий момент вокруг продольной оси данного кузова вагона и тележки Якобса.

Причиной этого является то, что соответствующее качательное опорное устройство служит для регулирования вертикальных осей кузовов вагонов, проходящих параллельно к имеющимся в зоне колесных блоков нормлями пути. Поскольку нормали пути в зоне колесных блоков тележек при перекосе плоскости пути имеют разную ориентацию, возникает описанная скручивающая нагрузка на кузова вагонов и тележку Якобса. Наряду с сильными нагрузками на кузова вагонов и тележку Якобса связанные с этим разгрузки отдельных колес могут снижать безопасность в отношении схода с рельсов.

Другими словами, возникает конфликт целей между низким коэффициентом качки или высокой качательной жесткостью, с одной стороны, и небольшой нагрузкой или низкой крутильной жесткостью и достаточной безопасностью в отношении схода транспортного средства с рельсов, с другой стороны.

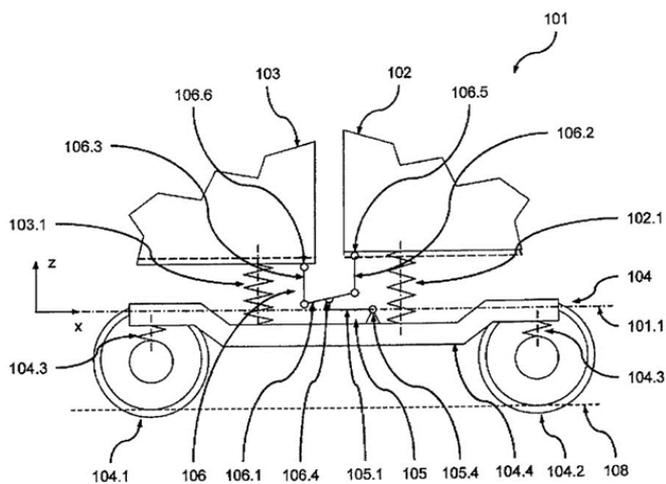
Поэтому задача предлагаемого изобретения состоит в создании транспортного средства описанного выше рода, которое не имело бы названных недостатков или имело бы их, по крайней мере, в меньшей степени, и благодаря которому, в частности, простым и надежным образом обеспечивалось бы уменьшение скручивающей нагрузки на кузова вагонов и ходовые механизмы на перекошенных участках пути.



*Рисунок 1.12. - схематичный перспективный вид части транспортного средства из рисунка 1.11 в нейтральном положении по Патенту России на изобретение № RU 2456189 [9].*

Исходя из транспортного средства, в соответствии с ограничительной частью пункта 1 формулы изобретения, эта задача решается посредством признаков, приведенных в отличительной части пункта 1.

Суть изобретения заключается в том, что простым и надежным образом можно обеспечить уменьшение скручивающей нагрузки на кузова вагонов и их общий ходовой механизм на перекошенных участках пути, если для обоих кузовов вагонов использовать не отдельные качательные опорные устройства, а лишь одно общее качательное опорное устройство, соединенное с соответствующим кузовом вагона с возможностью допускать разнонаправленные качательные движения обоих кузовов вагонов, однако традиционным образом ограничивать их равнонаправленные качательные движения.



*Рисунок 1.13. - схематичный вид сбоку части транспортного средства из рисунка 1.12. в перекошенном положении; по Патенту России на изобретение № RU 2456189 [9].*

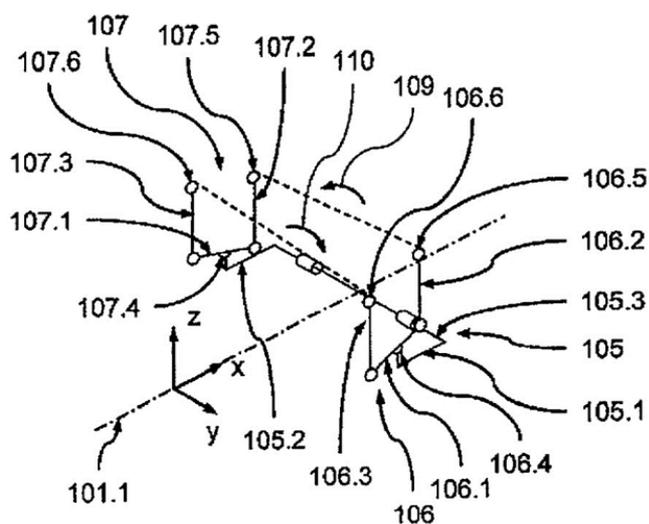
За счет разнонаправленных качательных движений между обоими кузовами вагонов можно достичь на перекошенных участках пути предпочтительного уменьшения скручивающей нагрузки на кузова вагонов и общий ходовой механизм. Причина этого заключается в том, что кузова вагонов в случае перекошенной или деформированной иным образом плоскости пути за счет их особой связи с общим качательным опорным устройством могут, при необходимости, даже полностью следовать за деформированной плоскостью пути без срабатывания общего качательного опорного устройства, т.е. без оказания им на оба кузова вагонов возвратного усилия, которое тогда могло бы привести к описанной скручивающей нагрузке на них и общий ходовой механизм.

В случае недеформированной плоскости пути, т.е. в случае равнонаправленных качательных движений обоих кузовов вагонов, общее качательное опорное устройство, напротив, может в полной мере проявить свое ограничивающее качательные движения действие. Другими словами, эффективность качательных опорных устройств не снижается тогда, когда они фактически используются.

Другое преимущество предложенного решения состоит в том, что по сравнению с известными транспортными средствами за счет общего качательного опорного устройства для обоих кузовов вагонов можно сэкономить на сравнительно сложном, как правило, и тем самым дорогим качательном опорном устройстве. Благодаря этому в распоряжении имеется конструктивное пространство, которое до сих пор было занято вторым качательным опорным устройством. Это обеспечивает большую свободу выполнения ходового механизма, кузовов вагонов и/или других элементов транспортного средства. В частности, это позволяет произвольно выбирать конструктивную форму и выполнение качательных опорных устройств. Таким образом, в предложенном решении для общего качательного опорного устройства могут использоваться качательные опоры любого вида (гидравлические, механические и т.д.).

В соответствии с этим изобретение относится к транспортному средству, в частности рельсовому, содержащему продольную ось, первый кузов вагона, опирающийся через первое рессорное устройство на ходовой механизм, второй кузов вагона, расположенный рядом с первым кузовом вагона в направлении продольной оси транспортного средства и опирающийся через второе рессорное устройство на ходовой механизм, и качательное опорное устройство, соединенное с первым кузовом вагона посредством, по меньшей мере, одного первого соединительного устройства и противодействует качательным движениям первого кузова вагона вокруг оси качания, параллельной продольной оси транспортного средства. Согласно изобретению второй кузов вагона соединен посредством первого соединительного устройства с качательным опорным устройством, причем первое соединительное устройство выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством таким образом, что оно

допускает разнонаправленные качательные движения между первым и вторым кузовами вагонов.

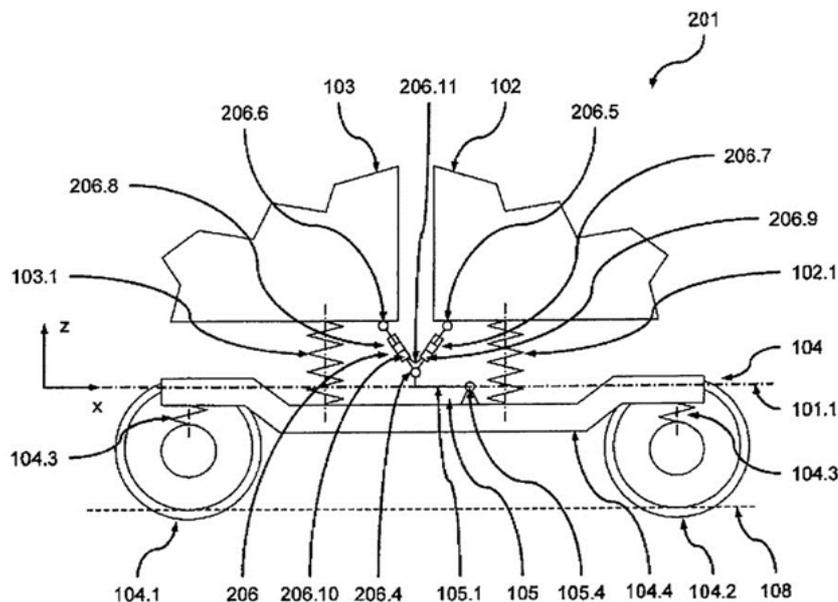


*Рисунок 1.14. - схематичный перспективный вид части транспортного средства из рисунка 1.13 в перекошенном положении; по Патенту России на изобретение № RU 2456189 [9].*

Первое соединительное устройство может быть выполнено любым подходящим образом, допускающим разнонаправленные качательные движения между первым и вторым кузовами вагонов. Так, может быть предусмотрена активная система, в которой первое соединительное устройство включает в себя, например, активные исполнительные элементы и соединенное с ними управляющее устройство, регистрирующее соответствующее состояние движения или тенденцию качки обоих кузовов вагонов и при разнонаправленной качке обоих кузовов вагонов допускающее качательное движение между ними во встречном направлении посредством исполнительных элементов, тогда как последние при равнонаправленной качке обоих кузовов вагонов, например, фиксируются, так что качательное опорное устройство может проявить свое действие.

Из-за более простой конструкции и более высокой надежности для первого соединительного устройства предусмотрена предпочтительно пассивная система. Преимущественно первое соединительное устройство шарнирно сочленено с первым кузовом вагона в первой точке сочленения, а со вторым кузовом вагона - во второй точке сочленения и выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством таким образом, что лишнее ответного усилия первое смещение первой точки сочленения вызывает второе смещение второй точки сочленения в противоположном направлении. Такая кинематика первого соединительного устройства простым образом обеспечивает разнонаправленные качательные движения

обоих кузовов вагонов, блокируя их равнонаправленные качательные движения, так что в этом случае качательное опорное устройство может проявить свое действие.



*Рисунок 1.15. - схематичный вид сбоку части другого предпочтительного варианта транспортного средства в нейтральном положении. по Патенту России на изобретение № RU 2456189 [9].*

При необходимости, может быть предусмотрено любое передаточное отношение между первым и вторым смещениями. Кроме того, можно, например, учесть соответствующую кинематику опоры обоих кузовов вагонов. Благодаря простой конструкции первое и второе смещения имеют, в основном, одинаковую величину, однако отличающиеся друг от друга направления, в частности, в основном встречное направление.

Первое соединительное устройство может иметь любой подходящий принцип действия или комбинации разных принципов действия. Так, например, оно может иметь жидкостный, электромеханический или чисто механический принцип действия или любые комбинации этих принципов действия. Благодаря простой конструкции и высокой надежности предусмотрен предпочтительно чисто механический принцип действия первого соединительного устройства.

Первое соединительное устройство преимущественно содержит первый компенсационный рычаг, первый конец которого соединен с первой точкой сочленения, а второй конец - со второй точкой сочленения, причем первый компенсационный рычаг в первой точке поворота, расположенной, в частности, посередине между его первым и вторым концами, соединен с возможностью поворота с качательным опорным устройством. Первый компенсационный рычаг может быть шарнирно

сочленен непосредственно в первой и второй точках сочленения. Однако предпочтительно первый компенсационный рычаг соединен с первой точкой сочленения посредством первого соединительного элемента, в частности первой связующей тяги, и/или со второй точкой сочленения посредством второго соединительного элемента, в частности второй связующей тяги, поскольку за счет этого достигается сочленение, которое благоприятным образом не нарушает другие движения кузовов вагонов по отношению друг к другу и к ходовому механизму.

В других предпочтительных вариантах выполнения транспортного средства первое соединительное устройство имеет жидкостный принцип действия. Оно содержит для этого преимущественно первый рабочий цилиндр, в частности первый гидроцилиндр, и второй рабочий цилиндр, в частности второй гидроцилиндр. Первый рабочий цилиндр соединен с качательным опорным устройством и первой точкой сочленения, тогда как второй рабочий цилиндр соединен с качательным опорным устройством и второй точкой сочленения. Рабочие полости первого и второго рабочих цилиндров связаны в одном направлении, что допускает разнонаправленные качательные движения между обоими кузовами вагонов, однако препятствует равнонаправленным качательным движениям за счет однонаправленной связи рабочих полостей.

Общее качательное опорное устройство может быть расположено на транспортном средстве, в принципе, произвольно. Например, в случае качательного опорного устройства с активным управлением может быть предусмотрено его расположение на транспортном средстве только с одной стороны. В случае пассивных качательных опорных устройств, как правило, предусмотрено, что они проходят в поперечном направлении транспортного средства или их компоненты расположены с обеих сторон его продольной средней плоскости, чтобы простым образом противодействовать качательным движениям вокруг продольной оси транспортного средства. Поэтому преимущественно предусмотрено, что качательное опорное устройство связано с первым и вторым кузовами вагонов посредством второго соединительного устройства, причем первое и второе соединительные устройства расположены с разных сторон содержащей продольную ось транспортного средства его продольной средней плоскости.

Второе соединительное устройство может быть выполнено иначе, чем первое. В частности, может быть предусмотрено, что второе соединительное устройство само по себе не вызывает разнонаправленных качательных движений между обоими кузовами вагонов. В этом случае обеспечиваемых первым соединительным устройством разнонаправленных смещений достаточно для обеспечения разнонаправленных качательных движений между обоими кузовами вагонов. Однако преимущественно предусмотрено, что также второе соединительное устройство выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством таким образом, что

оно допускает разнонаправленные качательные движения между первым и вторым кузовами вагонов. Кроме того, предпочтительно предусмотрено, что второе соединительное устройство выполнено идентично первому соединительному устройству, поскольку этим достигается особенно простая конструкция.

Само общее качательное опорное устройство может быть выполнено произвольно. Предпочтительно оно включает в себя соединенный с ходовым механизмом торсионный элемент, имеющий ось скручивания, чтобы достаточно известным образом достичь за счет скручивающего момента в торсионном элементе момента, ответного качательным моментам обоих кузовов вагонов. Преимущественно качательное опорное устройство содержит жестко соединенное с торсионным элементом первое торсионное плечо, а первое соединительное устройство шарнирно сочленено с первым торсионным плечом в первой точке соединения, причем первая точка соединения отстоит от оси кручения. Этим достигается особенно простая и эффективная конфигурация.

В других вариантах выполнения транспортного средства качательное опорное устройство имеет жидкостный, в частности гидравлический, принцип действия. Предпочтительно качательное опорное устройство включает в себя два отстоящих друг от друга поперек продольной оси транспортного средства рабочих цилиндра двустороннего действия, в частности гидроцилиндра, рабочие полости которых связаны с рабочими полостями соответственно другого рабочего цилиндра разнонаправленно. Оба рабочих цилиндра соединены одним концом с ходовым механизмом, тогда как первое соединительное устройство шарнирно сочленено с концом одного из обоих рабочих цилиндров, обращенным от ходового механизма.

В других предпочтительных вариантах выполнения транспортного средства первое соединительное устройство включает в себя амортизирующее устройство и дополнительно или в качестве альтернативы исполнительное устройство. За счет этого можно предпочтительным образом амортизировать возникающие в устройстве движения и/или создавать активные исполнительные усилия.

Другие предпочтительные варианты приведены в зависимых пунктах формулы и в нижеследующем описании предпочтительных примеров осуществления изобретения со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых изображают:

Рисунок 1.11 - схематичный вид сбоку части предпочтительного варианта транспортного средства в нейтральном положении;

Рисунок 1.12 - схематичный перспективный вид части транспортного средства из рисунка.1.11 в нейтральном положении;

Рисунок 1.13 - схематичный вид сбоку части транспортного средства из рисунка.1.12 в перекошенном положении;

Рисунок 1.14 - схематичный перспективный вид части транспортного средства из рисунка.1.13 в перекошенном положении;

Рисунок 1.15 - схематичный вид сбоку части другого предпочтительного варианта транспортного средства в нейтральном положении.

Первый пример выполнения

Ниже со ссылкой на рисунках 1.11-1.14 описан первый предпочтительный пример выполнения транспортного средства в виде рельсового транспортного средства 101.

Для более простого понимания нижеследующих пояснений на фигурах приведена система координат, в которой координата  $x$  обозначает продольное направление рельсового транспортного средства 101, координата  $y$  - его поперечное направление, а координата  $z$  - вертикальное.

На рисунке 1.11 изображен схематичный вид сбоку части транспортного средства 101, имеющего продольную ось 101.1. Транспортное средство 101 включает в себя первый кузов 102 вагона и соседний в направлении продольной оси 101.1 (направление  $x$ ) второй кузов 103 вагона, которые опираются на общий ходовой механизм в виде так называемой тележки Якобса 104. Другой конец (не показан) каждого кузова 102, 103 опирается на другой ходовой механизм, например другую тележку.

Тележка 104 включает в себя первый 104.1 и второй 104.2 колесные блоки, на которые посредством системы первичного подрессорирования 104.3 опирается рама 104.4 тележки. Первый кузов 102 вагона опирается на раму 104.4 тележки посредством первой системы вторичного подрессорирования 102.1, а второй кузов 103 вагона опирается на раму 104.4 тележки посредством второй системы вторичного подрессорирования 103.2. Системы 104.3, 102.1, 103.1 упрощенно изображены на рисунке 1.11 в виде винтовых пружин. В случае соответствующей системы 104.3, 102.1, 103.1 речь может идти о любом подходящем рессорном устройстве. В частности, в случае системы 102.1, 103.1 речь идет предпочтительно о достаточно известном пневматическом подрессоривании.

Транспортное средство 101 включает в себя далее для обоих кузовов 102, 103 одно общее качательное опорное устройство в виде качательной опоры 105, которое вместе с двумя соединительными устройствами 106, 107 расположено между рамой 104.1 тележки и обоими кузовами 102, 103 кинематически параллельно обеим системам 102.1, 103.1.

Как видно, в частности, на рисунке.2, на которой изображены лишь качательная опора 105 и оба соединительных устройства 106, 107, общая качательная опора 105 включает в себя первое торсионное плечо в виде первого рычага 105.1 и второе торсионное плечо в виде второго рычага 105.2. Оба рычага 105.1, 105.2 жестко установлены с обеих сторон продольной средней плоскости (плоскость  $xz$ ) транспортного средства 101 на концах торсионного вала 105.3 качательной опоры 105. Торсионный вал

105.3 проходит в поперечном направлении (направление у) транспортного средства 101 и установлен с возможностью вращения в подшипниковых блоках 105.4, которые, в свою очередь, прочно соединены с рамой 104.4 тележки.

Со свободным концом первого рычага 105.1 шарнирно соединено первое соединительное устройство 106, посредством которого качательная опора 105 соединена с обоими кузовами 102, 103 вагонов. Для этого первое соединительное устройство 106 содержит первый компенсационный рычаг 106.1, первую 106.2 и вторую 106.3 связующие тяги. Первый компенсационный рычаг 106.1 шарнирно соединен с возможностью поворота в своей середине в первой точке 106.4 поворота с первым рычагом 105.1, в то время как с одним концом первого компенсационного рычага 106.1 с возможностью поворота шарнирно сочленен один конец первой связующей тяги 106.2, а с другим концом первого компенсационного рычага 106.1 с возможностью поворота шарнирно сочленен один конец второй связующей тяги 106.3. Другой конец первой связующей тяги 106.2 шарнирно сочленен с возможностью поворота в первой точке 106.5 сочленения с первым кузовом 102 вагона, а другой конец второй связующей тяги 106.3 шарнирно сочленен во второй точке 106.6 сочленения со вторым кузовом 103 вагона.

Со свободным концом второго рычага 105.2 шарнирно сочленено второе соединительное устройство 107, посредством которого качательная опора 105 также соединена с обоими кузовами 102, 103 вагонов. Второе соединительное устройство 107 выполнено идентично первому соединительному устройству 106. Понятно, что в других вариантах осуществления изобретения второе соединительное устройство может быть выполнено иначе, чем первое соединительное устройство. В частности, второе соединительное устройство может содержать только две простые связующие тяги, обозначенные на рисунке 1.12 штриховыми линиями 108, посредством которых соответствующий кузов вагона соединен непосредственно со свободным концом второго рычага 105.2 качательной опоры 105.

Аналогично первому соединительному устройству 106 второе соединительное устройство 107 содержит второй компенсационный рычаг 107.1, третью 107.2 и четвертую 107.3 связующие тяги. Вторым компенсационный рычаг 107.1 шарнирно сочленен с возможностью поворота в своей середине во второй точке 107.4 поворота со вторым рычагом 105.2, в то время как с одним концом второго компенсационного рычага 107.1 с возможностью поворота шарнирно сочленен один конец третьей связующей тяги 107.2, а с другим концом второго компенсационного рычага 107.1 с возможностью поворота шарнирно сочленен один конец четвертой связующей тяги 107.3. Другой конец третьей связующей тяги 107.2 шарнирно сочленен с возможностью поворота в третьей точке 107.5 сочленения с первым кузовом 102 вагона, а

другой конец четвертой связующей тяги 107.3 сочленен в четвертой точке 107.6 сочленения со вторым кузовом 103 вагона.

На рисунке 1.11 и 1.12 изображено состояние в нейтральном положении транспортного средства 101, возникающее при движении по прямому и неперекошенному пути 108. В этом нейтральном положении связующие тяги 106.2, 106.3, 107.2, 107.3 проходят в данном примере приблизительно параллельно вертикальной оси (ось z) транспортного средства 101. Понятно, что в других вариантах осуществления изобретения связующие тяги могут быть наклонены к вертикальной оси транспортного средства.

Ниже со ссылкой на рисунке 1.11-1.14 поясняется принцип действия соединительных устройств 106, 107 и общей качательной опоры 105.

При движении по недеформированной кривой пути оба кузова 102, 103 вагонов вследствие центробежной силы, действующей на их лежащий над рамой 104.4 тележки центр тяжести, испытывают по отношению к тележке 104 равнонаправленный качательный момент вокруг оси качания, параллельной продольной оси 101.1 транспортного средства. Этот качательный момент приводит к разному прогибу соответствующей системы 102.1, 103.1 на продольных сторонах транспортного средства 101, т.е. к качательному движению обоих кузовов 102, 103 вагонов вокруг соответствующей оси качания. Находящаяся с внешней стороны кривой часть соответствующей системы 102.1, 103.1 прогибается сильнее, чем находящаяся с внутренней стороны.

Если первое соединительное устройство 106 расположено с внешней стороны кривой, то из-за равнонаправленного качательного момента на оба кузова 102, 103 вагонов первая 106.2 и вторая 106.3 связующие тяги нагружаются сжимающим усилием, тогда как третья 107.2 и четвертая 107.3 связующие тяги нагружаются растягивающим усилием. За счет этого первый 105.1 и второй 105.2 рычаги качательной опоры 105 отклоняются по-разному. Это вызывает упругое скручивание торсионного вала 105.3, в результате чего качательная опора 105 создает ответный момент, противодействующий равнонаправленному качательному движению обоих кузовов 102, 103 вагонов, ограничивая, таким образом, это движение.

Другими словами, на недеформированной кривой пути благодаря общей качательной опоре 105, связанной посредством обоих связующих устройств 106, 107 с обоими кузовами 102, 103 вагонов, достигается тот же эффект, что и в традиционных транспортных средствах с двумя отдельными качательными опорными устройствами для обоих кузовов вагонов.

Описанное выполнение первого соединительного устройства 106 имеет, с другой стороны, тот эффект, что при лишенном ответного усилия первом смещении первой точки 106.5 сочленения происходит второе смещение второй точки 106.6 сочленения в противоположном направлении (рисунке 1.13 и 1.14). Таким образом, лишенное ответного усилия первое

смещение первой точки 106.5 сочленения и тем самым первой связующей тяги 106.2 вверх посредством первого компенсационного рычага 106.1 вызывает второе смещение второй связующей тяги 106.3 и тем самым второй точки 106.6 сочленения вниз. Величины первого и второго смещений равны, а направления противоположные. То же относится ко второму соединительному устройству 107.

С соответственно симметричной кинематикой обоих соединительных устройств 106, 107 в данном примере, как уже сказано, возникает передаточное отношение 1:1 между первым и вторым смещениями. Понятно, что в других вариантах осуществления изобретения, при необходимости, может быть предусмотрено также произвольное передаточное отношение между первым и вторым смещениями. Кроме того, можно учесть, например, соответствующую кинематику опоры обоих кузовов вагонов.

За счет этой кинематики первого 106 и второго 107 соединительных устройств простым образом допускаются встречные по отношению к тележке 104 качательные движения между обоими кузовами 102, 103 вагонов без заметного скручивания торсионного вала 105.3. Следовательно, оба соединительные устройства 106, 107 вполне допускают такие встречные качательные движения обоих кузовов 102, 103 вагонов, так что в этом случае не возникает обусловленной ответным моментом качательной опоры 105 заметной скручивающей нагрузки на оба кузова 102, 103 вагонов и раму 104.1 тележки.

Это имеет особое преимущество, если транспортное средство 101 проходит участок пути, имеющий деформацию, например скручивание, т.е. за счет разных вертикальных координат точек соприкосновения колес транспортного средства 101. Такое скручивание пути 108 имеет место, например, при проезде так называемой ramпы с превышением одного рельса над другим, где нормаль образованной верхними кромками рельсов плоскости пути, ориентированная в вертикальном направлении на горизонтальном пути, по мере протяженности ramпы все сильнее наклоняется к вертикали.

Когда транспортное средство 101 въезжает на такую ramпу, предшествующий ходовой механизм (на рисунке.1.11 не показан) первого кузова 102 вагона находится в определенный момент на первом участке пути, нормаль которого наклонена к вертикали больше, чем нормаль второго участка пути, на котором находится тележка 104. Следовательно, предшествующий ходовой механизм первого кузова 102 вагона наклонен к горизонтали больше, чем тележка 104.

Далее нормаль участка пути, на котором находится тележка 104, наклонена к вертикали больше, чем нормаль третьего участка пути, на котором в этот момент находится последующий ходовой механизм (на рисунке 1.11 не показан) второго кузова 103 вагона. Следовательно,

тележка 104 наклонена к горизонтали больше, чем последующий ходовой механизм второго кузова 103 вагона.

Если смотреть от тележки 104, то предусмотренная на предшествующем ходовом механизме первого кузова 102 вагона качательная опора придает этому кузову 102 первое качательное движение (стрелка 109 на рисунке 1.14), которое приподнимает его относительно тележки 104 на той продольной стороне транспортного средства, на которой расположено первое соединительное устройство 106 (рисунке 1.13 и 1.14). В противоположность этому предусмотренная на последующем ходовом механизме второго кузова 103 вагона качательная опора придает этому кузову 103 встречное первому качательному движению второе качательное движение (стрелка 110 на рисунке 1.14), которое опускает его относительно тележки 104 на той продольной стороне транспортного средства, на которой расположено первое соединительное устройство 106 (рисунке 1.13 и 1.14).

Как уже сказано, оба соединительные устройства 106, 107 вполне допускают такие встречные качательные движения обоих кузовов 102, 103 вагонов, так что в таких случаях движение по деформированным участкам пути не приводит к заметным скручивающим нагрузкам на оба кузова 102, 103 вагонов и раму 104.1 тележки.

Второй пример выполнения

Другое предпочтительное выполнение транспортного средства 201 изображено на 1.15. По конструкции и принципу действия оно соответствует транспортному средству на рисунке 1.11, так что следует подробно остановиться только на его отличии.

Отличие от рисунке 1.11 состоит в выполнении первого соединительного устройства 206 и идентичного ему второго соединительного устройства (не показано), тогда как все остальные элементы идентичны элементам на рисунке 1.11 и потому обозначены теми же ссылочными позициями.

Первое соединительное устройство 206 содержит в этом примере только один первый 206.7 и один второй 206.8 гидроцилиндры. Первый гидроцилиндр 206.7 шарнирно сочленен с возможностью поворота в первой точке 206.4 поворота со свободным концом первого рычага 105.1 качательной опоры 105 и шарнирно сочленен с возможностью поворота в первой точке 206.5 сочленения с первым кузовом 102 вагона. Второй гидроцилиндр 206.8 шарнирно сочленен с возможностью поворота в первой точке 206.4 поворота со свободным концом первого рычага 105.1 качательной опоры 105 и шарнирно сочленен с возможностью поворота во второй точке 206.6 сочленения со вторым кузовом 103 вагона.

Оба гидроцилиндра 206.7, 206.8 выполнены одностороннего действия, т.е. они имеют только одну рабочую полость 206.9 и 206.10 соответственно. Рабочая полость 206.9 первого гидроцилиндра 206.7 и рабочая полость 206.10 второго гидроцилиндра 206.8 равнонаправленно

связаны между собой посредством напорной линии 206.11. За счет этой равнонаправленной связи рабочих полостей (в случае несжимаемой гидравлической среды) невозможно одновременное укорачивание или удлинение обоих гидроцилиндров 206.7, 206.8. Напротив (аналогично первому соединительному устройству 106), возможно только встречное изменение расстояния между первой точкой 206.5 сочленения и первой точкой 206.4 поворота и расстояния между второй точкой сочленения 206.6 и первой точкой 206.4 поворота.

Другими словами, этим достигается, следовательно, равная кинематике первого соединительного устройства 106 на рисунке 1.11 кинематика, которая обладает описанными выше преимуществами в отношении эффективности общей качательной опоры 105 при равнонаправленных и допустимых встречных качательных движениях обоих кузовов 102, 103 вагонов.

В напорной линии 206.11 может быть установлен дроссель и т.п. для амортизации встречных качательных движений кузовов 102, 103 вагонов. В напорной линии 206.11 можно также установить насосное устройство и т.п., которое изменяет степень наполнения рабочих полостей гидроцилиндров в соответствии с данными управляющего устройства, чтобы достичь активного регулирования качательных движений кузовов 102, 103 вагонов.

Изобретение было описано выше исключительно на примерах с чисто механической общей качательной опорой. Однако понятно, что оно может применяться также в сочетании с любыми другими качательными опорами, имеющими любые другие принципы действия или их комбинации. В частности, в качестве общей качательной опоры первого и второго кузовов вагонов могут использоваться, разумеется, также гидравлические качательные опоры, в которых с обеих продольных сторон транспортного средства установлены гидроцилиндры двустороннего действия, рабочие полости которых встречно-направленно соединены между собой.

Изобретение было описано выше исключительно на примерах рельсовых транспортных средств. Понятно, что оно может применяться также в сочетании с любыми другими транспортными средствами.

#### Формула изобретения

1. Транспортное средство, в частности рельсовое транспортное средство, содержащее продольную ось (101.1), первый кузов (102) вагона, опирающийся через первое рессорное устройство (102.1) на ходовой механизм (104), второй кузов (103) вагона, расположенный рядом с первым кузовом (102) вагона в направлении продольной оси (101.1) транспортного средства и опирающийся через второе рессорное устройство (103.1) на ходовой механизм (104), и качательное опорное устройство (105), соединенное с первым кузовом (102) вагона

посредством, по меньшей мере, одного первого соединительного устройства (106; 206) и противодействующее качательным движениям первого кузова (102) вагона вокруг оси качания, параллельной продольной оси (101.1) транспортного средства, отличающееся тем, что второй кузов (103) вагона соединен с качательным опорным устройством (105) посредством первого соединительного устройства (106; 206), причем первое соединительное устройство (106; 206) выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством (105) таким образом, что они обеспечивают встречные качательные движения между первым (102) и вторым (103) кузовами вагонов.

2. Транспортное средство по п.1, отличающееся тем, что первое соединительное устройство (106; 206) шарнирно сочленено с первым кузовом (102) вагона в первой точке (106.5; 206.5) сочленения и со вторым кузовом (103) вагона во второй точке (106.6; 206.6) сочленения, при этом первое соединительное устройство (106; 206) выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством (105) таким образом, что лишнее противодействующее усилие первое смещение первой точки (106.5; 206.5) сочленения вызывает встречное второе смещение второй точки (106.6; 206.6) сочленения.

3. Транспортное средство по п.2, отличающееся тем, что первое и второе смещения имеют в основном одинаковую величину, но разные направления, в частности в основном встречные направления.

4. Транспортное средство по п.2 или 3, отличающееся тем, что первое соединительное устройство (106) содержит первый компенсационный рычаг (106.1), первый конец которого соединен с первой точкой (106.5) сочленения, а второй конец соединен со второй точкой (106.6) сочленения, и первый компенсационный рычаг (106.1) соединен с возможностью поворота с качательным опорным устройством (105) в первой точке (106.4) поворота, расположенной, в частности, посередине между первым и вторым концами.

5. Транспортное средство по п.4, отличающееся тем, что первый компенсационный рычаг (106.1) соединен с первой точкой (106.5) сочленения посредством первого соединительного элемента (106.2), в частности первой связующей тяги, и/или со второй точкой (106.6) сочленения посредством второго соединительного элемента (106.3), в частности второй связующей тяги.

6. Транспортное средство по п.2 или 3, отличающееся тем, что первое соединительное устройство (206) содержит первый рабочий цилиндр (206.7), в частности первый гидроцилиндр, и второй рабочий цилиндр (206.8), в частности второй гидроцилиндр, причем первый рабочий цилиндр (206.7) соединен с качательным опорным устройством (105) и первой точкой (206.5) сочленения, второй рабочий цилиндр (206.8) соединен с качательным опорным устройством (105) и второй точкой

(206.6) сочленения, а рабочие полости (206.9, 206.10) первого и второго рабочих цилиндров (206.7, 206.8) соединены равнонаправленно.

7. Транспортное средство по любому из пп.1-3, 5, отличающееся тем, что качательное опорное устройство (105) посредством второго соединительного устройства (107) соединено с первым и вторым соответственно кузовами (102, 103) вагонов, причем первое соединительное устройство (106; 206) и второе соединительное устройство (107) расположены на разных сторонах содержащей продольную ось (101.1) транспортного средства (101) его продольной средней плоскости.

8. Транспортное средство по п.7, отличающееся тем, что второе соединительное устройство (107) выполнено и/или соединено с качательным опорным устройством (105) таким образом, что они обеспечивают встречное качательное движение между первым (102) и вторым (103) кузовами вагонов.

9. Транспортное средство по п.7, отличающееся тем, что второе соединительное устройство (107) выполнено идентично первому соединительному устройству (106).

10. Транспортное средство по п.1, отличающееся тем, что качательное опорное устройство (105) включает в себя соединенный с ходовым механизмом торсионный элемент (105.3), имеющий ось скручивания.

11. Транспортное средство по п.10, отличающееся тем, что качательное опорное устройство (105) содержит жестко соединенное с торсионным элементом (105.3) первое торсионное плечо (105.1), первое соединительное устройство (106; 206) шарнирно сочленено с первым торсионным плечом (105.1) в первой точке (106.4; 206.4) соединения, причем первая точка (106.4; 206.4) соединения удалена от оси скручивания.

12. Транспортное средство по п.1, отличающееся тем, что качательное опорное устройство имеет жидкостный, в частности гидравлический, принцип действия.

13. Транспортное средство по п.12, отличающееся тем, что качательное опорное устройство содержит два удаленных друг от друга поперек продольной оси транспортного средства рабочих цилиндра двустороннего действия, в частности гидроцилиндра, рабочие полости которых встречно направлены связаны с рабочими полостями соответственно другого рабочего цилиндра, причем оба рабочих цилиндра соединены одним концом с ходовым механизмом, а первое соединительное устройство шарнирно сочленено с концом одного из обоих рабочих цилиндров, обращенным от ходового механизма.

14. Транспортное средство по п.1, отличающееся тем, что первое соединительное устройство (206) содержит амортизирующее устройство.

15. Транспортное средство по п.1, отличающееся тем, что первое соединительное устройство (206) содержит исполнительное устройство.

### **1.3. Постановка задач исследований**

В данной работе исследованы конструкции узлов связи кузова и тележек железнодорожных транспортных средств применяющихся в наше время на электровозах. Проведён анализ конструкции и разработан новый узел наклона кузова и связь кузова с тележками.

Основываясь на данный анализ, нами были поставлены следующие задачи исследований:

1. Разработка математической модели и обоснования для модернизации шкворневого узла электровоза ВЛ60к
2. Составление алгоритма и блок-схемы для программирования в среде MATHCAD 14, проведение численных исследований, построение графиков и таблиц, анализ результатов численных исследований.
3. Выводы по результатам исследований и разработка рекомендаций по дальнейшему совершенствованию узла соединения кузова с тележками электровозов ВЛ60к.
4. Разработка нового метода расчета на динамическую прочность шкворня электровоза ВЛ60к с учетом динамических нагрузок.

## ГЛАВА 2. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И БОКОВЫХ ОПОР ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ60

### 2.1. Составление математической модели для узлов соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к

Система опор кузова на тележку электровоза ВЛ60 состоит из двух качающихся центральных и двух упругих боковых опор. В шарнирах качающихся центральных опор, передающих также и тяговые усилия, применены резиновые конусы. Качающиеся центральные опоры имеют упругие возвращающие устройства.

#### Центральные опоры

##### Определение изменения усилий в опорах при тяге

Развеской электровоза определены статические усилия в центральных и боковых опорах.

а) усилие в центральной опоре  $P = 11000$  кг.

б) усилие в боковой опоре  $P_6 = 6000$  кг.

Дополнительные усилия, возникающие в опорах электровоза при тяге, определяются из условий равновесия кузова и обеих тележек.

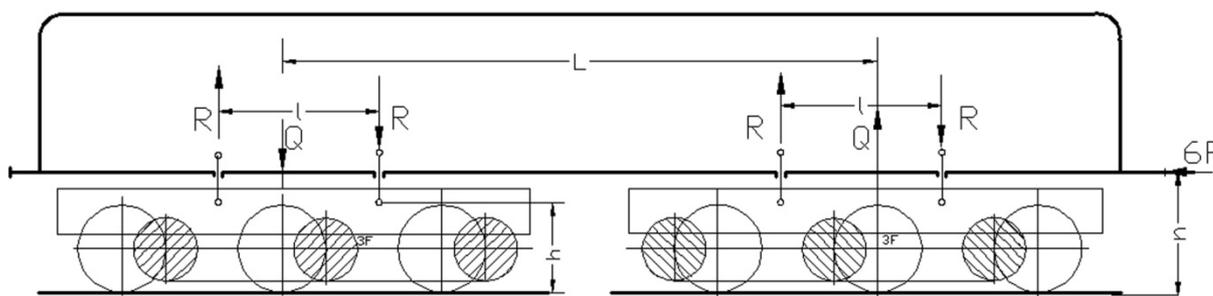


Рис. 2.1. Условие равновесия кузова

Момент, опрокидывающий рамы тележек при тяге, уравнивается со стороны кузова парой сил  $R$  изменения давления центральных опор; момент, опрокидывающий кузов при тяге, уравнивается парой сил  $Q$  изменения усилий в эквивалентных рессорах.

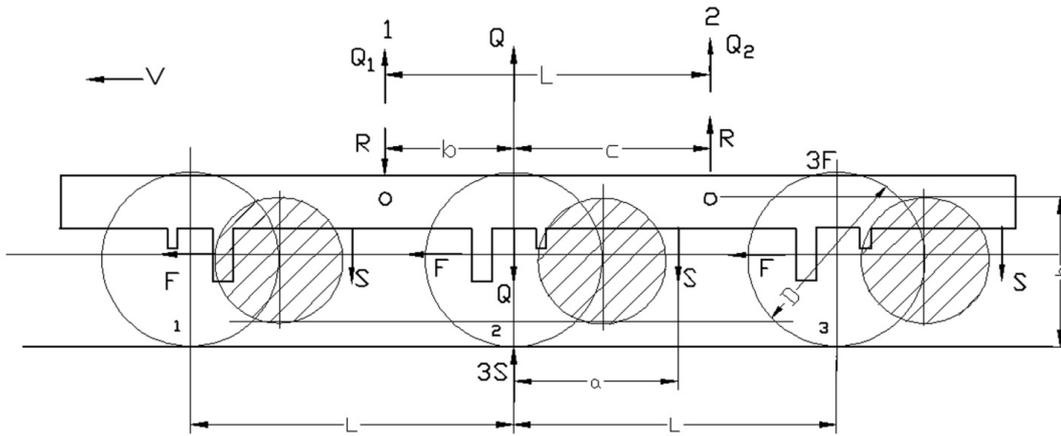


Рис. 2.2.

Уравнение равновесия кузова (Рис.2.2)

$$-6F(H - h) - 2Rl + l = 0 \quad (2.1)$$

Уравнение равновесия 1-й и 2-й тележек (Рис. 2.2 и 2.3)

$$-3F \left( h - \frac{D}{2} \right) - 3Sa + Rl = 0 \quad (2.2)$$

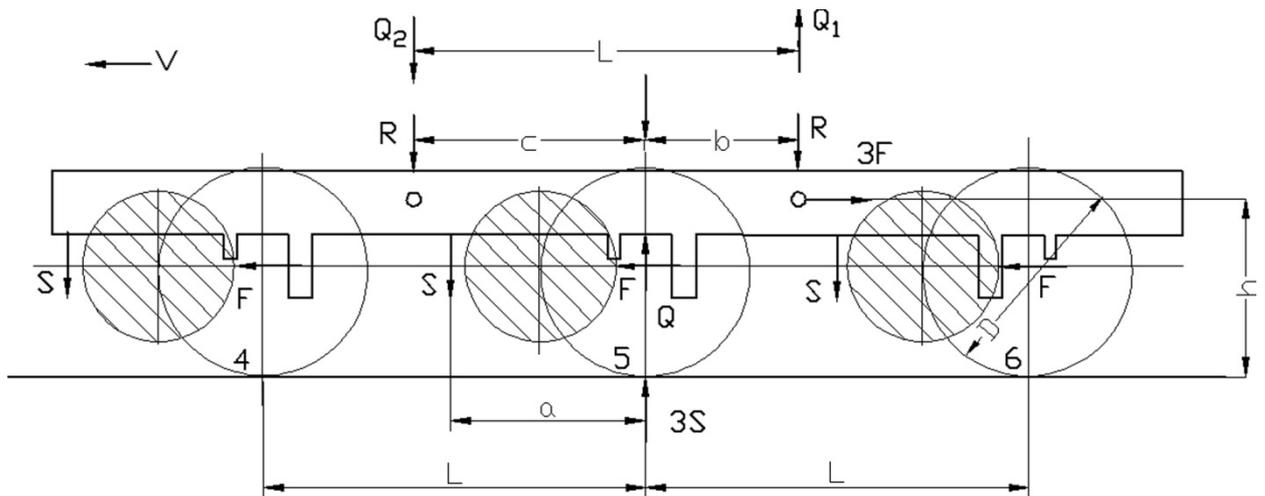


Рис. 2.3.

Учитывая, что реакция трамвайной подвески

$$S = F \cdot \frac{D}{2a}$$

где  $F$  – сила тяги одно оси,  
из уравнения (2.1)

$$R = 3F \frac{h}{l} \quad (2.3)$$

из уравнения (2.2)

$$Q = 6F \frac{H}{L} \quad (2.4)$$

Составляющие силы  $Q$ , передаваемые качающимися центральными опорами, определяются соотношением размеров “ $B$ ” и “ $C$ ” (Рис. 2.2 и 2.3)

а) для наружной опоры  $Q_1 = Q \frac{c}{l}$ ;

б) для внутренней опоры  $Q_2 = Q \frac{b}{l}$ .

Суммарные дополнительные усилия в качающихся центральных опорах, возникающие при тяге, определяются сложением силы  $R$  и составляющих сил  $Q$ . Направление сил считается положительным, если она соблюдает с направлением статических сил в качающихся центральных опорах, т.е. если силы сжимают их.

Дополнительные усилия в опорах 1-й тележки:

$$P_1 = R - Q_1 = 3F \frac{h}{l} - 6F \frac{H}{L} \cdot \frac{c}{l} = + \frac{3F}{l} \left( h - 2c \frac{H}{L} \right);$$

$$P_2 = R - Q_2 = 3F \frac{h}{l} - 6F \frac{H}{L} \cdot \frac{b}{l} = - \frac{3F}{l} \left( h + 2b \frac{H}{L} \right).$$

Дополнительные усилия в опорах 2-й тележки:

$$P_3 = R + Q_2 = -P_2 = \frac{3F}{l} \left( h + 2b \frac{H}{L} \right);$$

$$P_4 = -R + Q_1 = -P_1 = - \frac{3F}{l} \left( h - 2c \frac{H}{L} \right).$$

Усилия в боковых упругих опорах при тяге практически не изменяются, так как, жесткость резиновых конусов центральных опор значительно больше жесткости боковых упругих опор.

Для электровоза ВЛ60:

$a = 1,185$  м;  $b = 0,81$  м;  $c = 1,49$  м;  $l = 2,3$  м;  $h = 0,86$  м;  $H = 1,055$  м;  $L = 10,4$  м.

Сила тяги одной оси при трогании с места:

$$F = P \psi \eta = 23000 * 0,35 * 0,93 = 7500 \text{ кг}$$

где  $P = 23000$  кг – нагрузка на ось;

$\psi = 0,35$  – расчетный коэффициент сцепления;

$\eta = 0,93$  – коэффициент использования сцепного веса.

$$P_1 = -P_2 = \frac{3 * 7500}{2,3} \left( 0,86 - 2 * 1,49 * \frac{1,055}{10,4} \right) = 5460 \text{ кг};$$

$$P_z = -P_* = \frac{3 * 7500}{2,3} \left( 0,86 + 2 * 0,81 * \frac{1,055}{10,4} \right) = 10000 \text{ кг.}$$

**2.2. Разработка блок-схемы и программы для численных исследований для соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к**

Расчет опоры 8ТН.043.022

Рассматривается случай нагружения опоры максимальной осевой силой при одновременной передаче полного тягового усилия тележки. Опора рассчитывается как стержень, работающий на совместное действие изгиба и сжатия.

Исходные данные:

$$P_{max} = P + P_z = 12000 + 10000 = 22000 \text{ кг}$$

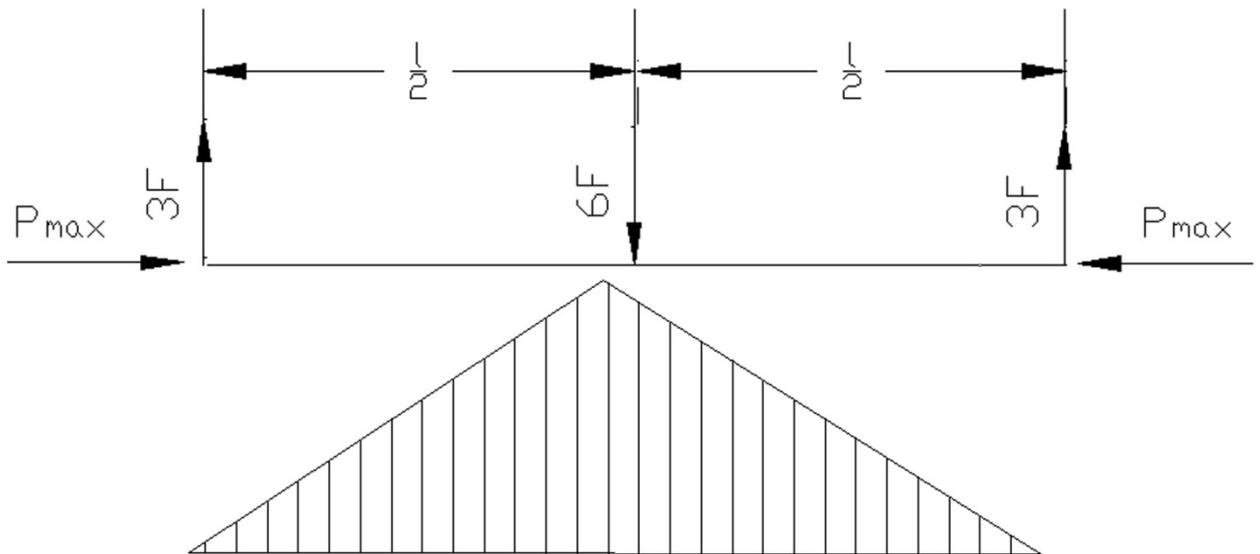


Рис. 2.4.

Максимальный изгибающий момент

$$M = \frac{6Fl}{4} = \frac{45000 * 83}{4} = 91,594 \text{ МПа}$$

Рассчитываемое сечение — посередине опоры.

Максимальные напряжения сжатия:

$$\tau_{max} = -\frac{M}{W} - \frac{P}{S} = -\frac{934000}{1940} - \frac{21000}{436} = 51.975 \text{ МПа}$$

$S = 436 \text{ см}^2$  - площадь рассчитываемого сечения.

### Сечение посредине опоры

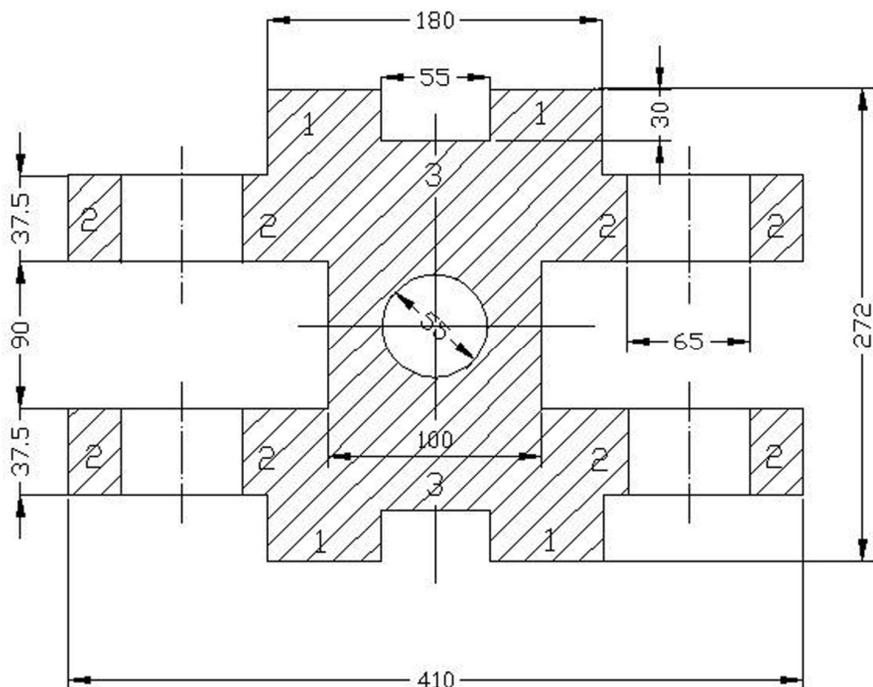


Рис. 2.5.

### Подсчет расчетного сечения относительно оси X – X

№ п.п.	Размеры сечения, см	Центр тяжести			Момент инерции			
		$F$	$Y$	$FY$	$d$	$d^2$	$Fd^2$	$I_{x0}$
1	2 x [12,5 x 3,0]	75			12,1	146,4	10950	56
2	2 x [10,0 x 3,75]	75			6,4	41,0	3080	88
3	2 x [18,0 x 6,1]	220			7,05	49,7	10950	680
4	10,0 x 9,0	90			0	0	0	610
5	- 3,14 x 2,75 <sup>2</sup>	- 24			0	0	0	- 44
	$\Sigma$	436			$I_x = 26370 \text{ см}^4$		24980	1390

$$W = \frac{I_x}{h} = \frac{26370}{13,6} = 1940 \text{ см}^2.$$

Расчет пружин горизонтальных растяжек.

Определим наибольшие возможные перемещения кузова относительно тележки на уровне наружных центральных опор

Дано:  $l = 2300 \text{ мм}$ ;  $b = 810 \text{ мм}$ ;  $c = 1490 \text{ мм}$ ;  $L = 10400 \text{ мм}$ ;  $R = 125 \text{ м}$ .

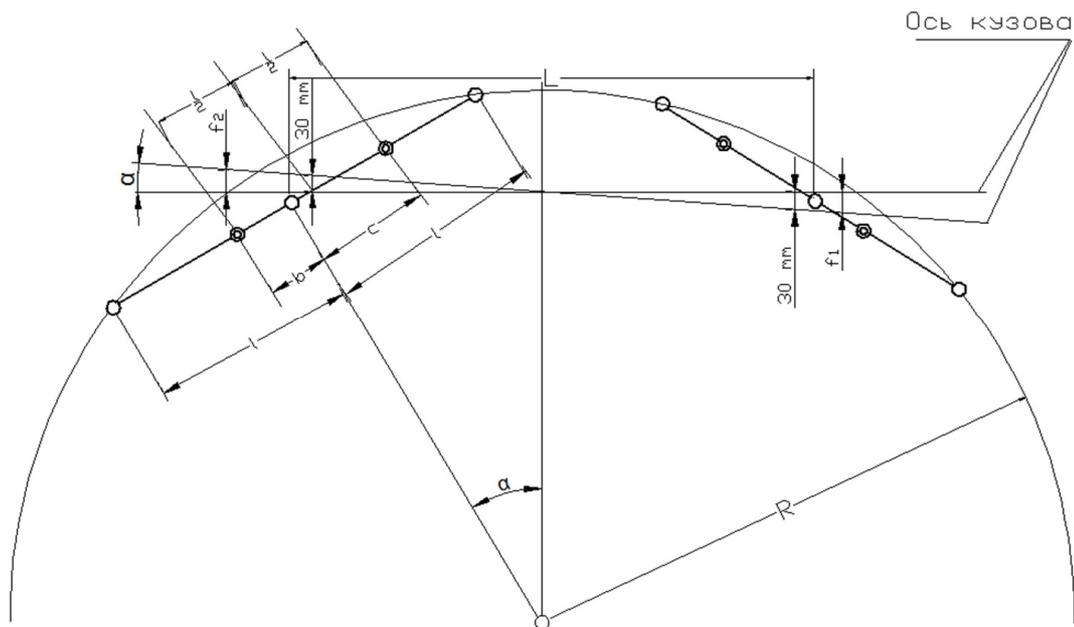


Рис. 2.6.

$f_1$  – перемещение кузова относительно тележек на уровне наружных центральных опор в кривой  $R = 125$  м. Центр поворота тележки относительно кузова лежит посередине между центральными опорами.

$f_2$  – перемещение кузова относительно тележек на уровне наружных центральных опор при диагональном упоре в ограничители бокового перемещения кузова относительно тележки (зазор в ограничителях 30 мм)

$$f_1 = \frac{l}{2} * \frac{L}{2 * R} = \frac{2300}{2} * \frac{10400}{2 * 125000} = 48 \text{ мм.}$$

$$f_2 = 30 * \frac{L_1}{L_2} = 30 * \frac{12020}{9720} = 37 \text{ мм.}$$

$$L_1 = L + 2b = 10400 + 2 * 810 = 12020 \text{ мм.}$$

$$L_2 = L_1 - l = 12020 - 2300 = 9720 \text{ мм.}$$

$$f = f_1 + f_2 = 48 + 37 = 85 \text{ мм.}$$

### 2.3. Численные исследования для соединений между кузовом и тележками электровозов ВЛ60к

Параметры пружины (черт. 8ТН.281.113)

№ п.п.	Наименование параметров	Обозначение	Величина
1	Средний диаметр	$d_c$	120 мм

2	Внутренний диаметр	$d_B$	87 мм
3	Высота в свободном состоянии	$H$	347 мм
4	Диаметр прутка	$d$	33 мм
5	Число рабочих витков	$n$	7,5
6	Число витков всего	$n_B$	9,0
7	Модуль сдвига стали	$G$	78,453 МПа
8	Марка стали	55С <sub>2</sub>	

Гибкость пружины:

$$f = \frac{64 * 6^3 * 7,5}{8 * 10^3 * 3,3^4} * 10 = 0,0109 \frac{\text{мм}}{\text{кг}} = 10,9 \frac{\text{мм}}{\text{т}}$$

$$f = \frac{64r^3n}{Gd^4}, \quad \text{где } r = \frac{dc}{2}$$

Максимальный прогиб пружин при сжатии до соприкосновения витков:

$$f_{max} = 347 - 33(7,5 + 1) = 66 \text{ мм.}$$

Нагрузка на пружину при сжатии до соприкосновения витков:

$$P_{max} = Ж * f_{max} = 91,7 * 66 = 6060 \text{ кг.}$$

Максимальная эксплуатационная нагрузка:

$$P_{max}^{\uparrow \text{э}} = 1500 + Ж * f * 0,5 = 1500 + 9,17 * 85 * 0,5 = 5400 \text{ кг.}$$

1500 кг – предварительная затяжка пружины.

Напряжения в пружине определяются по формуле:

$$\tau = K \frac{16Pr}{\pi d^3}, \quad \text{где } K = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c},$$

$$C = \frac{d_c}{d} = \frac{120}{33} = 3,64, \quad K = \frac{4 * 3,64 - 1}{4 * 3,64 - 4} + \frac{0,615}{3,64} = 1,45,$$

$$\tau = 1,45 * \frac{16 * 6}{3,14 * 33^3} * P = 1,235P$$

Напряжения в пружине при максимальной эксплуатационной нагрузке:

$$\tau = 1,235 * P = 1,235 * 5400 = 66,69 \text{ МПа}$$

Напряжения в пружине при сжатии до соприкосновения витков:

$$\tau = 1,235 * P_{max} = 1,235 * 6060 = 74,84 \text{ МПа}$$

## Расчет боковых опор

Проверка устойчивости стержня – *черт. 5ТН.174.021*

Исходные данные:

Длина стержня  $l = 580$  мм,

Диаметр стержня  $d = 45$  мм.

$$P_{max} = 6000 + 3440 = 9440 \text{ кг.}$$

где 3440 кг – изменение усилий в боковых опорах от центробежных сил и давления ветра (по расчету *ОТН 227.127*).

Гибкость стержня

$$\lambda = \frac{l}{L} = \frac{l}{\frac{d}{4}} = \frac{4 * 58}{4,5} = 51,5 \qquad \lambda_{0,50} = \frac{4 * 58}{5,0} = 46,4$$

Коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения  $\varphi = 0,91$ . (Беляев Н.М. Соппротивление материалов, Гостехиздат, 1954 г. стр. 636, табл. 32).

Действительное напряжение

$$\sigma = \frac{P_{max}}{F} = \frac{9440}{3,14 * 4,5^2} * 4 = 5,93 \text{ МПа}$$

Устойчивость стержня обеспечивается, так как  $\sigma < \sigma_{\text{д}}$ .

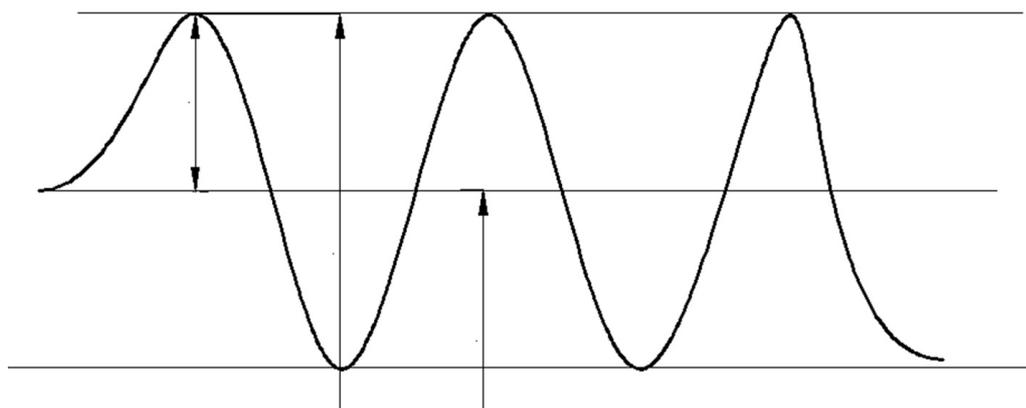


Рис. 2.7.

Расчет пружины *8ТН.281.114*

Параметры пружины

№ п.п.	Наименование параметров	Обозначение	Величина
1	Средний диаметр	$d_c$	190 мм

2	Внутренний диаметр	$d_B$	145 мм
3	Диаметр прутка	$d$	45 мм
4	Число рабочих витков	$n$	4,5
5	Число витков всего	$n_B$	6,0
6	Высота в свободном состоянии	$H$	325 мм
7	Марка стали	55С2	
8	Модуль упругости стали	$G$	78,4 МПа

Гибкость пружины:

$$f = \frac{64r^3n}{Gd^4} = \frac{64 \cdot 9,5^3 \cdot 4,5}{8 \cdot 10^5 \cdot 4,5^4} \cdot 10 = 0,00752 \frac{\text{мм}}{\text{кг}} = 7,52 \frac{\text{мм}}{\text{т}}.$$

Максимальный прогиб пружины при сжатии до соприкосновения витков:

$$f_{max} = 325 - 45 \cdot (4,5 + 1) = 77,5 \text{ мм}.$$

Усилие на пружину при сжатии до соприкосновения витков:

$$P_{max} = Ж \cdot f_{max} = 133 \cdot 77,5 = 10300 \text{ кг}.$$

Максимальная эксплуатационная нагрузка на пружину 9440 кг.

Напряжения в пружине определяются по формуле:

$$\tau = K \frac{16Pr}{\pi d^3}, \quad \text{где } K = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0,615}{c},$$

$$c = \frac{d_c}{d} = \frac{190}{45} = 4,22, \quad K = \frac{4 \cdot 4,22 - 1}{4 \cdot 4,22 - 4} + \frac{0,615}{4,22} = 1,38,$$

$$\tau = 1,38 \cdot \frac{16 \cdot 9,5}{3,14 \cdot 4,5^3} \cdot P = 0,732P.$$

Напряжения в пружине при максимальной эксплуатационной нагрузке:

$$\tau = 0,732 \cdot P = 0,732 \cdot 9440 = 69,10 \text{ МПа}$$

Напряжения в пружине при сжатии до соприкосновения витков:

$$\tau = 0,732 \cdot P_{max} = 0,732 \cdot 10300 = 75,39 \text{ МПа}$$

## Выводы.

Напряжения в качающихся центральных опорах, упругих боковых опорах и пружинах вполне допустимы.

### Определение усилий в опорах кузова электровозов ВЛ60 и ВЛ60к

Целью настоящего расчета является определение усилий на центральные и боковые опоры кузова электровозов ВЛ60 и ВЛ60П в следующих исполнениях.

#### I. Электровоз ВЛ60.

1. Сварно-литая рама тележки, двигатель НБ412М;
2. Сварно-литая рама тележки, двигатель НБ415;
3. Штампованная рама тележки, двигатель НБ412М;
4. Штампованная рама тележки, двигатель НБ415.

#### II. Электровоз ВЛ60П.

1. Сварно-литая рама тележки, двигатель НБ415;
2. Штампованная рама тележки, двигатель НБ415.

При определении усилий на опоры кузова используем расчет ОТН.227.291. Применяя метод эквивалентных упругих связей, обозначения сохраним теми же, что и принятые в расчетах ОТН.227.248. и ОТН.227.291.

По расчету ОТН.227.291 коэффициент сцепления, соответствующий началу полной разгрузки одной из внутренних центральных опор, равен  $\psi_k = 0,402$ . В данном расчете принимаем коэффициент сцепления  $\psi_k = 0,45$ , так как из опыта эксплуатации практически реализуемый коэффициент сцепления всегда меньше  $\psi_k = 0,45$ , следовательно, полная разгрузка центральных опор будет исключена.

Момент начала полной разгрузки центральных опор определяется условием:

$$\Delta P_{\text{ц}} = P_{\text{ц}} = K_1 * F_{\text{пр}} ,$$

где сила тяги, развиваемая колесной парой, при которой наступает отрыв наиболее разгруженной центральной опоры.

$K_1$  - коэффициент пропорциональности между силой тяги одной оси и величиной изменения давления во внутренних центральных опорах от тяги.

Числовые значения величин, входящих в расчет

Наименование	Электровоз	ВЛ60				ВЛ60П	
		Сварочно-литая 5ТН.084.328		Штампованная 5ТН.084.373		Св.-лит. 5ТН.084. 328	Штамп. 5ТН.084. 373
	Рама тележки						
	ТЭД	НБ412М	НБ415	НБ412М	НБ415	НБ415	НБ415
Вес электровоза		140	138	139	138	129	129
Вес тягового двигателя		5,0	3,8	5,0	3,8	3,8	3,8
Вес рамы тележки		4,43	4,43	3,9	3,9	4,43	3,9
Вес тележки с ТЭД		33,7	30,1	33,2	29,6	30,1	29,6
Вес кузова с оборуд. и балл.		72,6	77,8	72,6	78,8	68,8	69,8
а) вес кузова с оборудован.		72,6	72,6	72,6	72,6	68,8	68,8
б) вес балласта		-	5,2	-	6,2	-	1,0
Давление оси на рельс		23,33	23,0	23,17	23,0	21,5	21,5

После подстановки числовых значений получим:

1) для сварно-литой рамы тележки

$$K = 0,255, \quad K_1 = 0,998.$$

2) для штампованной рамы тележки

$$K = 0,253, \quad K_1 = 0,998.$$

Нагрузка на центральную опору:

1) Электровоз ВЛ60 со сварно-литой рамой и тяговым двигателем НБ-412М

$$P_{\text{ц}} = K_1 \cdot F_{\text{к пр.}} = \frac{K_1 \cdot П \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 23,33 \cdot 0,45}{1 + 0,255 \cdot 0,45} = 9400 \text{ КГ}$$

2) Электровоз ВЛ60 со сварно-литой рамой и тяговым двигателем НБ-415

$$P_{\text{ц}} = \frac{K_1 \cdot П \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 23,0 \cdot 0,45}{1 + 0,255 \cdot 0,45} = 9270 \text{ КГ}$$

3) Электровоз ВЛ60 со штампованной рамой и тяговым двигателем НБ-412М

$$P_{\text{ц}} = \frac{K_1 \cdot П \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 23,17 \cdot 0,45}{1 + 0,253 \cdot 0,45} = 9340 \text{ КГ}$$

4) Электровоз ВЛ60 со штампованной рамой и тяговым двигателем НБ-415

$$P_{\text{ц}} = \frac{K_1 \cdot П \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 23,0 \cdot 0,45}{1 + 0,253 \cdot 0,45} = 9280 \text{ КГ}$$

5) Электровоз ВЛ60П со сварно-литой рамой и тяговым двигателем НБ-415

$$P_{\text{ц}} = \frac{K_1 \cdot \Pi \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 21,5 \cdot 0,45}{1 + 0,255 \cdot 0,45} = 8660 \text{ КГ}$$

6) Электровоз ВЛ60П со штампованной рамой и тяговым двигателем НБ-415

$$P_{\text{ц}} = \frac{K_1 \cdot \Pi \cdot \psi_{\text{к пр.}}}{1 + K \cdot \psi_{\text{к пр.}}} = \frac{0,998 \cdot 21,5 \cdot 0,45}{1 + 0,253 \cdot 0,45} = 8670 \text{ КГ}$$

Схема нагружения тележки.

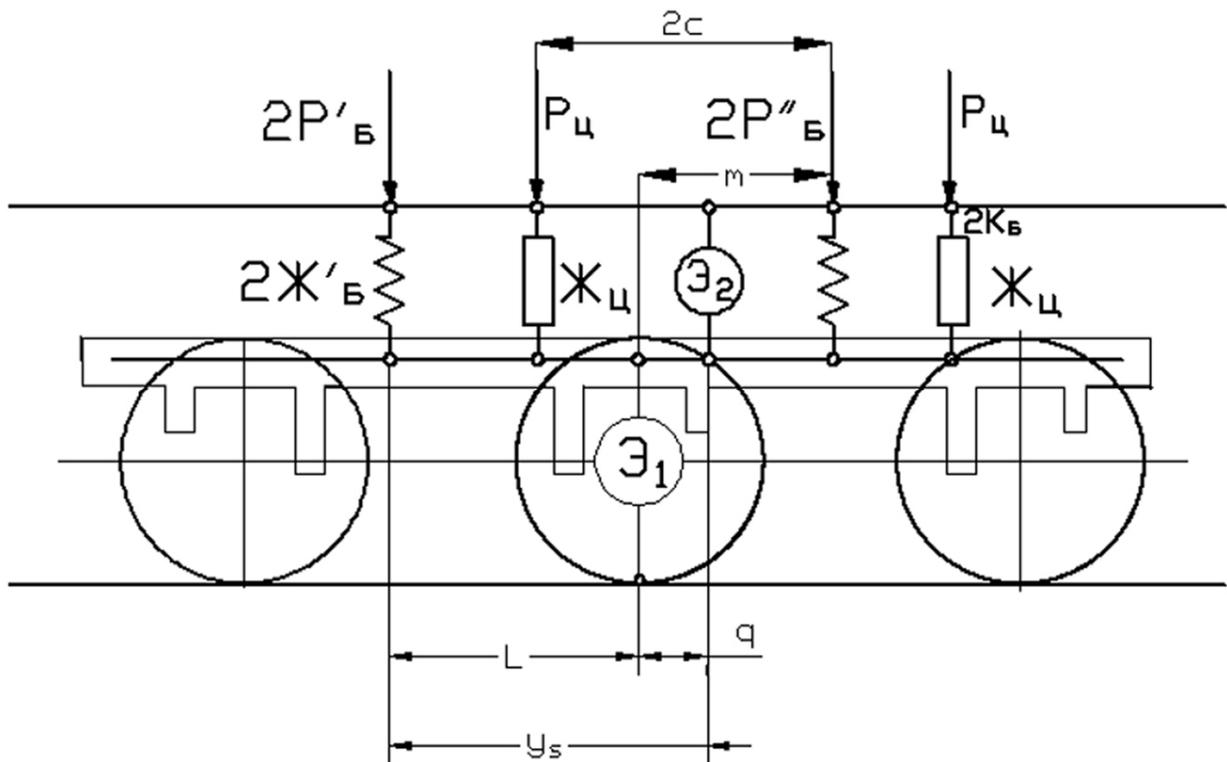


Рис.2.8 .

Уравнения равновесия рамы тележки:

а) проекций

$$2P_{\text{ц}} + 2P''_{\text{Б}} + 2P'_{\text{Б}} = 0,5G_{\text{к}}, \quad (1)$$

а) моментов

$$M_0 + 2P''_{\text{Б}} \cdot m + 2P_{\text{ц}}(c - b) - 2P'_{\text{Б}} \cdot l = 0. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2) получим:

$$2P''_{\text{Б}} = \frac{0,5G_{\text{к}}l - M_0 - 2P_{\text{ц}}(c - b + l)}{2(l + m)}, \quad (3)$$

$$2P'_6 = \frac{0,5G_k m + M_0 + 2P_u(c - b - m)}{2(l + m)} \quad (4)$$

$$\begin{cases} P_{u1} + P_{u2} + 2P''_6 + 2P'_6 = 0,5G_k \\ M_0 + 2P''_6 m - 2P'_6 l - P_{u1} b + P_{u2}(2c - b) = 0 \end{cases}$$

$$2P'_6 = 0,5G_k - P_{u1} - P_{u2} - 2P''_6.$$

$$M_0 + 2P''_6 m - (0,5G_k - P_{u1} - P_{u2} - 2P''_6)l - P_{u1} b + P_{u2}(2c - b) = 0$$

$$2P''_6 = \frac{0,5G_k l - M_0 - P_{u1}(l - b) - P_{u2}(2c - b + l)}{2(l + m)};$$

Определение моментов от обрессоренных масс тележки

I. Сварно-литая рама тележки, черт. 5ТН.084.328, двигатель НБ412М

$$M_0 = 12,1 \text{ тм (расчет ОТН. 227.239)}$$

II. Сварно-литая рама тележки, черт. 5ТН.084.328, двигатель НБ415

№ п.п.	Наименование узла	Вес на тележку, кг	Расстояние от средней оси, м	Статический момент, кгм
	Рама тележки (расчет ОТН.227.239)	4430	+ 0,352	+ 1559
	Тормозная система (расчет ОТН.227.239)	1550	+ 0,779	+ 1208
	Тяговые двигатели:			
	Вес подресс. части тяговых двигателей	5700	+ 1,21	+ 6900
	Вес подвески тяговых двигателей	235	+ 1,21	+ 284
	Подрессоренный вес тележки	11915	+ 0,835	+ 9951

$$M_0 = 9,95 \text{ тм.}$$

III. Штампованная рама тележки, черт. 5ТН.084.373, двигатель НБ412М

№ п.п.	Наименование узла	Вес на тележку, кг	Расстояние от средней оси, м	Статический момент, кгм
	Рама тележки			
	Вес передней концевой балки	225	- 3,014	- 678
	Вес шкворневой балки I	455	- 0,8	- 364
	Вес шкворневой балки II	455	+ 1,5	+ 683
	Вес задней концевой балки	275	+ 3,741	+ 1029
	Вес передней части боковины	420 x 2	- 1,925	- 1615
	Вес средней части боковины	426 x 2	0	0
	Вес задней части боковины	399 x 2	+ 2,6025	+2080
	Тормозная система	1550	+ 0,779	+ 1208
	Тяговые двигатели с подвесками	7735	0 1,21	+ 9354
	Подрессоренный вес тележки	13185	+ 0,888	+ 11697

$$M_0 = 11,7 \text{ тм.}$$

### III. Штампованная рама тележки, черт. 5ТН.084.373, двигатель НБ415

№ п.п.	Наименование узла	Вес на тележку, кг	Расстояние от средней оси, м	Статический момент, кгм
	Рама тележки			
	Вес передней концевой балки	225	- 3,014	- 678
	Вес шкворневой балки I	455	- 0,8	- 364
	Вес шкворневой балки II	455	+ 1,5	+ 683
	Вес задней концевой балки	275	+ 3,741	+ 1029
	Вес передней части боковины	420 x 2	- 1,925	- 1615
	Вес средней части боковины	426 x 2	0	0
	Вес задней части боковины	399 x 2	+ 2,6025	+2080
	Тормозная система	1550	+ 0,779	+ 1208
	Вес подресс. части тяговых двигателей	5700	+ 1,21	+ 6900
	Вес подвески тяговых двигателей	235	+ 1,21	+ 284
	Подрессоренный вес тележки	11385	+ 0,838	+ 9527

$$M_0 = 9,5 \text{ тм.}$$

После подстановки числовых значений и величин формулы (3) и (4) получим следующие нагрузки на боковые опоры:

1) Электровоз ВЛ60 со сварно-литой рамой тележки и тяговым двигателем НБ-412М

$$P'_6 = 7,1 \text{ т,} \quad P''_6 = 1,65 \text{ т.}$$

2) Электровоз ВЛ60 со сварно-литой рамой тележки и тяговым двигателем НБ-415

$$P'_6 = 7,16 \text{ т,} \quad P''_6 = 3,02 \text{ т.}$$

3) Электровоз ВЛ60 со штампованной рамой тележки и тяговым двигателем НБ-412М

$$P'_6 = 7,18 \text{ т,} \quad P''_6 = 1,63 \text{ т.}$$

4) Электровоз ВЛ60 со штампованной рамой тележки и тяговым двигателем НБ-415

$$P'_6 = 7,32 \text{ т,} \quad P''_6 = 3,1 \text{ т.}$$

5) Электровоз ВЛ60П со сварно-литой рамой тележки и тяговым двигателем НБ-415

$$P'_6 = 6,47 \text{ т,} \quad P''_6 = 2,07 \text{ т.}$$

6) Электровоз ВЛ60П со штампованной рамой тележки и тяговым двигателем НБ-415

$$P'_6 = 6,61 \text{ т}, \quad P''_6 = 2,17 \text{ т}.$$

Выводы.

Проведенный расчет показывает, что путем введения дополнительных боковых опор возможно добиться снижения статической нагрузки на резиновые конусы центральных опор для электровоза ВЛ60 в существующем исполнении (со сварно-литой рамой тележки и тяговым двигателем НБ412М) с 11 т до 9,4 т.

### **Глава 3. Разработка метода расчета на динамическую прочность соединений между кузовом и тележками электровоза ВЛ60к**

Разработка технологического процесса капитально-восстановительного ремонта на УП «O'ztemiryo'lmashta'mir» для электровозов ВЛ60к

Настоящий общий технологический процесс распространяется на разборку, ремонт и сборку тележек электровозов серии ВЛ60к в объеме капитально-восстановительного ремонта. Технологический процесс разработан на основании:

1. СТП 08.21.02.002-06 «Разработка и внедрение технологических процессов»;
2. Руководства по среднему ремонту электровозов серии ВЛ60к РК103.11.306-2003 [18-20];
3. Настоящий технологический процесс обязателен для проведения капитального ремонта тележек электровозов серии ВЛ60к.

Настоящий технологический процесс определяет основные требования и устанавливает перечень, содержание и объем работ при капитальном ремонте электровозов серии ВЛ60к для заводов по ремонту подвижного состава.

Все работники железнодорожного транспорта, связанные с капитальным ремонтом электровозов серии ВЛ60к, несут ответственность за невыполнение требований настоящего технологического процесса. Все работы по капитальному ремонту электровозов выполняются с соблюдением правил и инструкций по охране труда, производственной санитарии, требований охраны окружающей среды.

При капитальном ремонте соблюдаются правила пожарной безопасности на электровозах, электровозы оснащаются исправными средствами пожаротушения, проверяются системы автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения, а также выполняются работы по пожарной профилактике в соответствии с требованиями Инструкции по обеспечению пожарной безопасности на локомотивах и моторвагонном подвижном составе. Особое внимание уделяется проверке состояния пожароопасных узлов электровозов.

Контроль качества при ремонте деталей, узлов, агрегатов, машин и механизмов электровозов подразделяется на три вида:

- входной контроль;
- пооперационный контроль (приемочный);
- выходной контроль.

Входной контроль – эту функцию выполняют мастера участка по ремонту электровозов, замерщики, приемщик, которые в своей работе руководствуются инструкцией по сдаче и приемке локомотивов и должностной инструкцией.

Приемочный контроль – контроль за качеством ремонта узлов и деталей осуществляется в ходе всего цикла ремонта приемщиком

локомотивов, мастерами и контроллерами ОТК, замерщиками, согласно должностных инструкций, Требования и решения приемочного контроля считаются окончательным.

Выходному контролю подвергаются электровозы, после полного проведения работ, согласно технологическому процессу, комиссией в составе: начальника ОТК, начальника электровозосборочного цеха, старшего мастера по сдаче, приемщиками согласно инструкции по сдаче и приемке локомотивов и должностных инструкций.

ОТК завода проводит входной контроль всех поступающих материалов, полуфабрикатов путем внешнего осмотра, проверяет наличие необходимой технической и товаросопроводительной документации, а в отдельных случаях, по усмотрению ОТК или приемщиками УЭЛ АО "O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI", проводит проверку основных параметров, определяющих качество изделий.

Приемка приемщиками УЭЛ АО "O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI" деталей, сборочных единиц и всего электровоза производится в соответствии с Положением об Инспекции. Все отступления от технических условий и других технических документов, обнаруженные в процессе приемки, должны устраняться силами и средствами заводов-поставщиков до представления предъявительского извещения на приемку электровоза.

Принятый приемщиками УЭЛ АО "O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI" электровоз передается Заказчику в соответствии с договором.

Сведения о результатах испытаний и приемке электровоза заносятся в формуляр электровоза за подписями ОТК и приемщиками УЭЛ АО "O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI".

Общие требования на капитальный ремонт тележки электровоза ВЛ60Кв объёме КВР на УП «O'ztemiryo'Imashta'mir»»

Капитальный ремонт тележки предполагает следующие операции:

- разборка, очистка, ремонт и проверка тележек;
- ремонт и проверка рамы тележки в соответствии с требованиями чертежей, руководства на капитальный ремонт и инструкции по сварочным работам;
- освидетельствование и ремонт колесных пар согласно требованиям действующей «Инструкции по формированию и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм №НТ-36»;
- ревизия, ремонт и проверка букс со снятием внутренних колец подшипников и заменой роликовых подшипников новыми или отремонтированными в соответствии с действующей Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту узлов с подшипниками качения локомотивов и моторвагонного подвижного состава ГМ-ГИ №НТ-493;

- ремонт тормозного оборудования в соответствии с действующей «Инструкцией по техническому обслуживанию, ремонту и испытанию тормозного оборудования локомотивов и моторвагонного подвижного состава №Т-161»;

- ремонт гидравлических амортизаторов;

- ремонт упругих зубчатых колес согласно «Руководству на ремонт упругих зубчатых колес тягового редуктора при капитальных ремонтах электровозов» №105.80700.10486.

Для производства капитального ремонта выкатить тележки, снять с них колёсно-моторные блоки, рессорное подвешивание, тормозную рычажную передачу, песочное оборудование и трубопроводы.

Тележки выварить, тщательно очистить, осмотреть и проверить. Особо тщательно должны осматриваться места, подверженные появлению трещин. Трещины и надрывы в рамах и межрамных креплениях должны быть устранены согласно утверждённым чертежам и технологии.

Проверка рамы тележки должна производиться в соответствии с установленной технологией. Проверенная рама тележки после ремонта должна удовлетворять установленным допускам.

Рамные боковины и поперечные балки, имеющие прогиб более допускаемого, подвергаются правке с подогревом мест, имеющих прогиб.

Местные износы рамных частей глубиной более 3 мм должны быть восстановлены электронаплавкой с последующей зачисткой заподлицо с поверхностью рамы или выправлены.

Изношенные поверхности приливов рамы и кронштейнов для подвешивания тягового двигателя, продольных балансиров на тележках должны быть восстановлены электронаплавкой и обработаны до чертёжных размеров.

Изношенные поверхности приливов для пружинных подвесок восстанавливают путём приварки стальных пластин толщиной 5÷12 мм. Поверхности приливов, не имеющие сменных пластин, обрабатывают под плоскость.

Расстояние между верхними и нижними приливами после приварки пластин должно быть в пределах нормы.

Поверхности пластин парных приливов должны лежать в одной плоскости с отклонением не более 0,5 мм.

Изношенные втулки в отверстиях приливов для пружинных подвесок должны быть заменены. При отсутствии в приливах втулок отверстия рассверливают до диаметра 42 мм для постановки втулок.

Кронштейны (проушины) для валиков тормозных подвесок, имеющие отклонение расстояния между щеками более 2 мм от чертёжного, восстанавливают наплавкой или приваркой стальных пластин толщиной не менее 3 мм с предварительной обработкой.

Расстояние между опорами в шкворневых брусках тележек должно соответствовать размеру расстояния между соответствующими опорами кузова с допуском  $\pm 1$  мм. При необходимости регулировку расстояния между опорами на шкворневых брусках электровозов ВЛ60К производят эксцентричной обточкой нижних оснований и их поворотом. При этом смещение конусной части допускается только в продольной оси электровоза. После установки эксцентричных конусов по размеру на шкворневом брусе ставят клейма напротив клейма конуса.

При ремонте тележки дополнительно к объёму работы по капитальному ремонту выполняются работы согласно технических условий «Проведения модернизации рамы тележки электровоза серии ВЛ60К и 2ВЛ60к» за № Тш 32 - 002:2001.

Балки подвесок восстанавливают до чертёжных размеров или заменяют новыми.

При разработке отверстий в балках подвесок меняют втулки. Отверстия без втулок растачивают и запрессовывают в них втулки. После запрессовки втулки прихватывают электросваркой в двух точках. Расстояние между центрами отверстий должно соответствовать чертёжным размерам. Плиты на балках заменяют новыми.

Изношенные фиксирующие кольца для пружин срубают и приваривают новые.

Пружины, имеющие высоту менее допускаемой или трещины, заменяют новыми или ремонтируют. Негодные упругие элементы подвески тягового двигателя заменяют. Выпучивание резины за габариты металлических дисков не допускается.

Стержни, изношенные по диаметру, заменяют или восстанавливают наплавкой с последующей обточкой. Поддерживающие плиты замка и их болты восстанавливают в местах, износа или заменяют новыми.

Рамы тележек окрашивают с внутренней и наружной стороны. Внутреннюю поверхность рам, межрамные балки, буксы, детали рессорного подвешивания, рычажной передачи и песочное оборудование красят веерный цвет.

Наружные поверхности рам и места смазки красят в цвета, предусмотренные чертежами.

На раму тележки или на рессорные хомуты наносят нумерацию осей. На листовых рессорах наносят белой краской контрольные полосы.

Ставят трафареты о произведённом ремонте на рамы тележек и на тормозные цилиндры, а на тележках – передаточное число зубчатой передачи.

### 3.1. Выполнение численных исследований по тяговым режимам работы электровозов ВЛ60к

Усталостная прочность оценивается условным коэффициентом запаса прочности, определяемым по следующим формулам [4]:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_v + \psi \cdot \sigma_m} \quad \text{при } \frac{\sigma_s}{\sigma_m} > \frac{1}{K} \cdot \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_{ms}} - 1 \right) \text{ или}$$

$$n = \frac{\sigma_s}{K \cdot \sigma_v + \sigma_m} \quad \text{при } \frac{\sigma_s}{\sigma_m} < \frac{1}{K} \cdot \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_{ms}} - 1 \right),$$

$$\text{где } K = \frac{\beta_k \cdot K_1 \cdot K_2}{\gamma \cdot m}; \quad \psi = \frac{2 \cdot \sigma_{-1} - \sigma_{D1}}{\sigma_{D1}};$$

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2};$$

В данных формулах введены следующие обозначения:

$\sigma_{-1}$  - предел усталости при симметричном цикле;

$\sigma_{D1}$  - предел усталости при пульсирующем цикле;

$\sigma_s$  - предел текучести;

$G_{ms}$  - среднее напряжение цикла, при котором диаграмма выносливости имеет перелом;

$\sigma_{\max}$  - максимальное напряжение детали;

$\sigma_{\min}$  - минимальное напряжение детали;

$\sigma_m$  - среднее напряжение детали;

$\sigma_v$  - амплитуда напряжения детали;

$\psi$  - коэффициент, характеризующий чувствительность материала к асимметрии цикла;

$K$  - эффективный коэффициент, учитывающий факторы, понижающие прочность детали;

$\beta_k$  - коэффициент, учитывающий форму детали (эффективный коэффициент концентрации напряжений);

$K_1$  - коэффициент, учитывающий неоднородность материала детали;

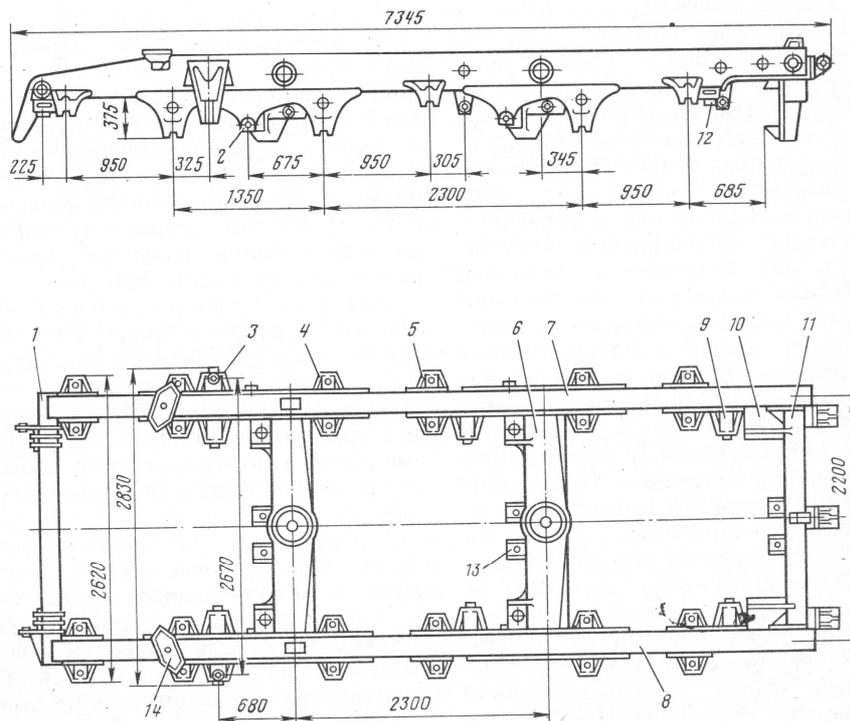
$K_2$  - коэффициент, учитывающий внутренние напряжения материала детали;

$\gamma$  - коэффициент, учитывающий абсолютные размеры детали;

$m$  - коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали.

Механические характеристики сталей, применяемых в раме тележки и величины некоторых коэффициентов, учитывающих факторы, понижающие прочность приведены в таблице 2.15 [18,19,20]. На рисунке 2.10 показана конструкция рамы тележки электровоза ВЛ-60к [3,6]. Рама тележки состоит из двух продольных балок (боковин) 7 и 8, шкворневых брусьев (балок) 6, концевого бруса 11, трубы 1, буксовых кронштейнов 4 и 5, тормозных кронштейнов 2, дополнительных опор 3, опор 12 под рессорную пружину, опор 13 для подвешивания тяговых двигателей,

листов 10 под тормозные цилиндры и кронштейнов 14 под опору трения



14.

Рисунок 2.10. – Рама тележки электровоза ВЛ-60к.

Концевая опора с малым буксовым кронштейном и удлиненный буксовый кронштейн отливаются вместе. Все детали и узлы соединяются сваркой. Боковины (продольные балки 7 и 8) коробчатого сечения 350x200 мм сварены из листовой стали Ст3 толщиной 10 мм (см.рисунок 2.9). В местах буксовых узлов боковины усилены литыми кронштейнами в виде желобов.

Шкворневые брусья коробчатого сечения с ребрами жесткости литые из стали 25лП. Концевой брус отлит из стали 10 совместно с кронштейнами подвешивания тягового двигателя. К трубе 1 диаметром 168 мм и толщиной стенок 10 мм приварены тормозные кронштейны (сечение 11, по расчетной схеме рис. 2.3). Кронштейны буксовые, тормозные, рессорного подвешивания и дополнительной опоры изготовлены из стали 12-ГТ-П. Малый 5 и большой 4 буксовый кронштейны образуют буксовые проемы рамы тележки. На электровозах ВЛ-60к последних лет выпусков концевые поперечные крепления 1 и 11 выполнены литыми, а не из стальных труб, как ранее [3]. После сварки раму подвергают термообработке, а затем механической обработке [3].

Величина среднего напряжения определяется как равная расчетному статическому напряжению  $\sigma_m = \sigma_{CT}$  [4,20]. Величина среднего напряжения определяется как равная расчетному статическому напряжению и величину коэффициентов динамики:  $\sigma_v = K_d * \sigma_{CT}$ .

Таблица 2.16. Механические характеристики сталей, применяемые в раме тележки электровоза ВЛ-60к.

Детали		Концевой брус (из трубы) рамы тележки, МПа	Боковины (продольные балки) рамы тележки, МПа	Шкворневые и концевой брусья (литые), МПа
Марка стали		Ст 10	Ст 12-ГТ-II	Ст 25ЛП
$\sigma_B$ , предел прочности		320 - 400	380-470	450
$\sigma_{-1}$	Изгиб	170	190	194
	Растяжение	140	140	162
	Кручение	100	120	160
$\sigma_s$	Изгиб	-	260	285
	Растяжение	180	220	240
$\sigma_{D1}$	Изгиб	-	240	270
	Растяжение	180	210	234
$\sigma_{ms}$	Изгиб	-	120	135
	Растяжение	60	105	127
$\varphi$	Изгиб	-	0,417	0,437
	Растяжение	0,5	0,333	0,385
$(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$	Изгиб	-	1,19	1,11
	Растяжение	2,0	1,07	0,89
Для детали тележки	$K_1$	1,1	1,1	1,4
	$K_2$	1,1	1,08	1,1
	$\gamma$	0,7	0,7	0,75
	$m$	0,85	0,85	0,8

Величина коэффициента динамики:

$$K_d = 600A + 16 \sqrt{A}, \text{ где } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{ст} \cdot f_{cm}} [4],$$

где  $V$  – максимальная скорость электровоза ВЛ-60к принимаем  $V = 110$  км/час;  $\sigma_{ст}$  – расчетное статическое напряжение, МПа.

$f_{cm}$  – общий статический прогиб подвешивания электровоза.

$$f_{cm} = \frac{P_I}{Ж_1} + \frac{P_{II}}{Ж_{II}} = \frac{48540}{683} + \frac{33596,1}{1246} = 98,032 \text{ мм.}$$

где  $Ж_1 = 683 \text{ Н/мм}$ ,  $Ж_2 = 1246 \text{ Н/мм}$  [3, с.18] - жесткости первой (приведенная жесткость подвешивания на одну тележку) и второй ступеней (жесткость рессоры) рессорного подвешивания.

Условный запас прочности определяется лишь в сечениях, имеющих величину статических напряжений

$$\sigma_{CT} \geq 100 \text{ кгс/см}^2 = 100 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} = 9,8 \text{ МПа.}$$

### 3.2. Анализ полученных численных результатов в MathCAD 14

Сечения по боковине рамы тележки. Цикл «растяжение – сжатие».

Сечение 1.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0003194 + 16 \sqrt{0,0003194} = 0,478 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{335 \cdot 98,032} = 0,0003194.$$

Коэффициент формы в сечении 1 принимаем равным  $\beta_k = 1,3$  ;

$$K = \frac{1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,08}{0,7 \cdot 0,85} = 2,6;$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = \frac{1}{2,6} \cdot 1,07 = 0,412$ , так как  $K_D > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,6 \cdot 0,45 \cdot 32,83 + 0,333 \cdot 32,83} = 2,838.$$

Сечение 1'.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0005296 + 16 \sqrt{0,0005296} = 0,686 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{202 \cdot 98,032} = 0,0005296.$$

Коэффициент формы в сечение 1' при  $\frac{\rho}{h} = \frac{250}{338} = 0,74$  равен  $\beta_k = 1,1$

$$K = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,08 / 0,7 \cdot 0,85 = 2,2$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/2,2 \cdot 1,07 = 0,486$ , так как  $K_D > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,2 \cdot 0,686 \cdot 19,796 + 0,333 \cdot 19,796} = 3,839.$$

Сечение 2.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0005023 + 16 \sqrt{0,0005023} = 0,66 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{213 \cdot 98,032} = 0,0005023.$$

Коэффициент формы в сечении 2 при  $\frac{\rho}{h} = \frac{100}{450} = 0,222$  равен  $\beta_k = 1,24$

$$K = 1,24 \cdot 1,1 \cdot 1,08 / 0,7 \cdot 0,85 = 2,48$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/2,48 \cdot 1,07 = 0,431$ , так как  $K_q > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,48 \cdot 0,66 \cdot 20,874 + 0,333 \cdot 20,874} = 3,405.$$

### Сечение 3.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0005458 + 16 \sqrt{0,0005458} = 0,701;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{196 \cdot 98,032} = 0,0005458.$$

Коэффициент формы в сечении 3 при

$$\frac{\rho}{h} = \frac{100}{472} = 0,212 \text{ равен } \beta_k = 1,24;$$

$$K = 1,24 \cdot 1,1 \cdot 1,08 / 0,7 \cdot 0,85 = 2,48;$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/2,48 \cdot 1,07 = 0,431$ , так как  $K_q > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,48 \cdot 0,701 \cdot 19,208 + 0,333 \cdot 19,208} = 3,519.$$

### Сечение 4.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0005095 + 16 \sqrt{0,0005095} = 0,667;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{210 \cdot 98,032} = 0,0005095.$$

Коэффициент формы в сечении 4 при  $\frac{\rho}{h} = \frac{100}{460} = 0,218$  равен

$$\beta_k = 1,24.$$

$$K = 1,24 \cdot 1,1 \cdot 1,08 / 0,7 \cdot 0,85 = 2,48$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/2,48 \cdot 1,07 = 0,432$ , так как  $K_q > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,48 \cdot 0,667 \cdot 20,58 + 0,333 \cdot 20,58} = 3,423.$$

### Сечение 5.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0004953 + 16 \sqrt{0,0004953} = 0,653,$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{216 \cdot 98,032} = 0,0004953.$$

Коэффициент формы в сечении 5 при  $\frac{\rho}{h} = \frac{40}{365} = 0,11$  равен  $\beta_k = 1,48$  ;

$$K = 1,48 * 1,1 * 1,08 / 0,7 * 0,85 = 2,96$$

$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/2,96 * 1,07 = 0,362$ , так как  $K_q > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{140}{2,96 \cdot 0,653 \cdot 21.168 + 0,333 \cdot 21.168} = 2,919.$$

Сечения по шкворневым брусьям рамы тележки.

Коэффициент формы шкворневых брусьев принимаем равным  $\beta_k = 1,7$ , тогда  $K = \frac{1,7 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{0,75 \cdot 0,8} = 4,36$  ;

$$1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1) = 1/4,36 * 1,11 = 0,264.$$

Сечение 6.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 * 0,0004099 + 16 \sqrt{0,0004099} = 0,57 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{261 \cdot 98,032} = 0,0004099$$

так как  $K_q > 1/K(\sigma_s/\sigma_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{194}{4,36 \cdot 0,57 \cdot 25.58 + 0,437 \cdot 25.58} = 2,595.$$

Сечение 7.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 * 0,000622 + 16 \sqrt{0,000622} = 0,772 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{172 \cdot 98,032} = 0,000622,$$

так как  $K_q > 1/K(G_s/G_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{194}{4,36 \cdot 0,772 \cdot 16.86 + 0,437 \cdot 16.86} = 3,026.$$

Сечение 8.

Коэффициент динамики:

$$K_D = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 * 0,000508 + 16 \sqrt{0,000508} = 0,51 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{305 \cdot 98,032} = 0,000508$$

так как  $K_q > 1/K(G_s/G_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{194}{4,36 \cdot 0,51 \cdot 29.89 + 0,437 \cdot 29.89} = 2,436.$$

### Сечение 9.

Коэффициент динамики:

$$K_d = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0004819 + 16 \sqrt{0,0004819} = 0,64 ;$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{222 \cdot 98,032} = 0,0004819,$$

так как  $K_q > 1/K(G_s/G_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{194}{4,36 \cdot 0,64 \cdot 21,76 + 0,437 \cdot 21,76} = 2,762.$$

Сечение на концевом бруске рамы тележки

### Сечение 10.

Коэффициент формы принимаем равным  $\beta_k = 1,7$

$$K = \frac{1,7 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{0,75 \cdot 0,8} = 4,36 ; 1/K(G_s/G_{ms}-1) = 1/4,36 \cdot 1,11 = 0,254.$$

Коэффициент динамики:

$$K_d = 600A + 16 \sqrt{A} = 600 \cdot 0,0009906 + 16 \sqrt{0,0009906} = 1,098,$$

$$\text{где: } A = \frac{\sqrt{V}}{\sigma_{CT} \cdot f_{CT}} = \frac{\sqrt{110}}{108 \cdot 98,032} = 0,0009906;$$

так как  $K_q > 1/K(G_s/G_{ms}-1)$ , то

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_V + \psi \cdot \sigma_{CT}} = \frac{194}{4,36 \cdot 1,098 \cdot 10,58 + 0,437 \cdot 10,58} = 3,51.$$

### Обобщающие выводы

Полученные расчетом максимальные напряжения в сечениях рамы тележки электровоза ВЛ- 60к при всех рассмотренных семи режимах работы электровоза ниже допускаемых. Наиболее нагруженными при режиме «статическая нагрузка» являются 2, 3, 4, 5 сечения на продольных балках (максимальные напряжения выше 30 МПа). Данный режим полностью зависит от развесовки тележки и местах расположения тяжелого оборудования. При режиме «тяга на прямой» наиболее нагруженными являются 2 сечение, а также 12 и 13 в месте расположения переднего шкворневого узла (максимальные напряжения выше 70 МПа) При режиме «торможение на прямой» наиболее нагруженными являются сечения 15 и 16 в месте расположения заднего шкворневого узла (максимальные напряжения выше 70 МПа). При режиме «удар на прямой» наиболее нагруженными являются сечения 1,2,3,5 (сечения на продольных балках), а также 12 и 13 в месте расположения переднего шкворневого узла (максимальные напряжения выше 80 МПа). Данный режим является самым неблагоприятным. Максимальные напряжения достигают 112 МПа в 12 и 13 сечениях. При режиме «торможение в кривой» наиболее нагруженными являются сечения 15 и 16 в месте расположения заднего шкворневого узла (максимальные напряжения выше 80 МПа). При режиме «выкатка колесных пар» наиболее нагруженными являются сечения 4 и 5 (сечения в

середине продольных балок), при этом максимальные напряжения достигают 60 - 70 МПа.

2. В целом процесс модернизации путем установки усиливающих накладок снизил напряжения в сечениях рамы от 13,6 % до 26,42 % .

3. Величины коэффициентов запаса усталостной прочности во всех взятых сечениях больше минимальной нормы  $n=2$ , рекомендуемой ЦНИИ МПС России [4].

### **3.3. Совершенствование конструкции соединения между кузовом и тележками электровоза ВЛ60к**

Последовательность технологических операций по обнаружению и заделке обнаруженных трещин в деталях рам тележек

1. В виду отсутствия специального диагностического оборудования для обнаружения трещин в деталях рам на ПО «Узжеледорреммаш» рекомендуется применить визуальный способ установления размеров и концевых участков таких трещин. Эту работу должен выполнять мастер участка в первую очередь для поверхностей в зоне узлов №1, 2, 3 по 4.1. Разрешается выполнение этих работ квалифицированным специалистом, подготовленным и аттестованным комиссией УП «O'ztemiryo'lmashta'mir» или локомотивного депо «Узбекистан». Каждый случай визуального обнаружения трещин фиксируется в специальном журнале с показанным направлением трещины на эскизах узлов №1 (4.4) №2 и 3 по 4.7 и обязательным указанием номера электровоза, тележки, даты обнаружения трещины и пробега после последнего заводского вида ремонта в условиях УП «O'ztemiryo'lmashta'mir». С приобретением специализированного оборудования для диагностирования трещин в деталях рам тележек будут уточнены действия мастера или специалистов по регистрации документации об обнаруженных трещинах.

2. Под руководством мастера слесарями выполняется засверловка концевых участков трещин сверлом диаметром 8-10 мм на глубину 8-10 мм в ранее приваренных накладках (с трещинами) или основном металле боковин, шкворневых или концевых балок.

3. Затем газосварщиком выполняется разделка обнаруженной трещины по всей её длине между засверлёнными отверстиями на глубину 8-10 мм при ширине 8-10 мм и треугольном сечении разделанной трещины.

4. После разделки зоны трещины (при горячем металле в зоне разделки трещины) рекомендуется её заварить с использованием аппаратуры электродуговой сварки и электродов Э42А или Э50А, предварительно прокаленных. Поверхность заваренной трещины должна располагаться на уровне поверхностных слоёв основного металла рам тележек или ранее приваренных накладок. Не допускается наличие

непроверенных участков швов внутри длины разделанного паза ранее обнаруженной трещины.

5. После этого поверхность заваренных зон с трещинами тщательно очищается от шлаковых включений металлическими щётками.

6. Последовательность технологических операций по приварке усиливающих накладок для узлов №1, 2, 3 по 4.1-4.10. Главная особенность этих операций заключается в использовании операции подогрева поверхностных слоёв основного металла и накладок теплом газовой горелки перед заваркой основных швов с использованием электросварочного оборудования. Поэтому перед сваркой должны быть одновременно подготовлено такое оборудование. Согласно [1, с. 127] рекомендуется температура предварительного подогрева свариваемых поверхностей до 200-250 °С. Такой подогрев устраняет появление трещин в сварных швах, обусловленных явлением "хладноломкости" низкоуглеродистых сталей в зоне температур 200-300° С.

7. Выбор необходимого оборудования для подогрева металла свариваемых деталей и электродуговой сварки рекомендуется согласно [1, с. 3-92].

8. При приварке усиливающих накладок должны выполняться требования п. 1.22 и п. 1.23 [1, с. 126-135].

9. Электроды и присадочные материалы применяемые при сварке накладок для рам тележек электровозов должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов и технических условий. Рекомендуется использование электродов с защитным покрытием не ниже Э42 по ГОСТ 2523-85 с обмазкой УОНИ-13/15, которые перед сваркой рекомендуется прокалить.

10. Запрещается производство сварочных работ в случае:

а) несоответствие типов электродов требованиям разработанной технологии по производству сварочных работ,

б) несоответствия температуры цеха или наличие сквозняков при сварке деталей, для которых обусловлены специальные требования температурного режима, а также для термической обработки перед сваркой и после сварки,

в) неправильной подготовки и разделки мест трещин и кромок специальных накладок перед производством сварки,

г) если на место сварки попадёт вода или масло,

д) вблизи свежеокрашенных частей электровоза, когда краска ещё не высохла.

11. Перед началом работ по приварке усиливающих накладок на раму тележки электровоза должен быть проведён осмотр рабочих мест и дано разрешение на выполнение этих работ.

12. Согласно рекомендаций к чертежам узлов по 4.4 и 4.7 должны быть проварены все швы в нормальном положении рамы тележки, затем она перевёрнута на угол 180° вокруг горизонтальной оси. Нагревание

участков швов длиной до 150мм. должны выполняться через приварку накладок. Затем прогревается второй участок длиной 150мм. и на его длине накладывается второй сварной шов, продолжением первого. Учитывая наличие длинных швов (до 800мм.) в узлах №2 и №3 целесообразно их сваривать в следующей последовательности:

- первый с одного края накладки к середине;
- второй со второго края накладки к середине;
- третий, продолжающий первый шов в направлении к середине накладки;
- четвёртый, являющийся продолжением второго шва в направлении к середине накладки;
- пятый шов, соединяющий концы третьего и четвёртого швов.

При этом рекомендуемая длина каждого участка шва будет близка к 160мм. Затем выполняется зачистка наружных поверхностей всех швов.

13. После завершения всех работ по усилению рамы тележки осуществляется визуальный осмотр качества сварочных работ мастером и начальником цеха с оформлением акта о перечне работ, выполненных для каждого узла №1, 2, 3 и других данной рамы тележки.

14. Усиленная тележка после этого направляется на позиции окраски её поверхностей.

15. После высыхания внешней краски для поверхности тележки целесообразно в зонах возможных трещин для узлов №1, 2, 3 нанести слой светлой краски (белой, жёлтой), на которой можно обнаружить появляющиеся новые трещины в процессе наблюдения за рамами тележек в локомотивном депо "Узбекистан" при плановых видах технического обслуживания и деповского ремонта.

16. На каждую усиленную раму тележки электровоза серий ВЛ60Ки 2ВЛ60К рекомендуется завести специальный паспорт регистрации повреждений узлов, в котором должен быть подраздел регистрации возникающих трещин в узлах №1, 2, 3 по 4.1, 4.4 и 4.7

17. Требования безопасности при выполнении сварочных работ должны выполняться согласно [1, с.156-159]

## **ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНЕНИЯ КУЗОВА С ТЕЛЕЖКАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**МПК В61 F 5/22**

Предлагаемое изобретение относится к области подвижного состава железных дорог и может быть использовано для соединения железнодорожного транспортного средства с тележками с возможностью обеспечения его наклона на радиусных участках железнодорожного пути (при движении в кривых, особенно при повышенных скоростях).

Известна конструкция узла соединения со шкворнем, пружинным поперечным возвращающим устройством и скользунами (опубликовано в монографии [1] - Механическая часть тягового подвижного состава./ Под ред. И.С. Бирюкова, А.Н. Савоськина и др. М.: Транспорт, 1992.- 440 с. (с.267 –270)). Соединение кузова с тележками содержит закрепленный в поперечной балке кузова шкворень, который связан с рамой тележки через шарнирный механизм, включающий в себя шаровой шарнир, который может поворачиваться в любой плоскости во вкладыше и скользить по цилиндрической поверхности шкворня. Вкладыш может перемещаться по направляющим корпуса в поперечном направлении на расстояние  $\pm 30$  мм. Функцию упругой поперечной связи кузова с тележкой выполняют два работающих на сжатие пружинных комплекта, упирающихся в толкатели. Опирание кузова осуществляется через боковые опоры с витыми пружинами и скользунами. Жесткая поперечная связь кузова с верхним скользуном осуществляется благодаря телескопической конструкции из двух стаканов.

Совпадающими признаками с заявляемым являются кузов локомотива (вагона), рама кузова, рамы тележек, боковые опоры, колесные пары, установленные в раме тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов локомотива (вагона), гасители колебаний; шкворень, который связан с рамой тележки через шарнирный механизм, включающий в себя шаровой шарнир, который может поворачиваться в любой плоскости во вкладыше и скользить по цилиндрической поверхности шкворня; вкладыш; пружинный возвращающий механизм.

При повороте тележки относительно оси z возникает момент сил трения в скользунах, способствующий сдерживанию виляния тележки. Упругая поперечная связь осуществляется через пружинные комплекты возвращающего механизма. Для поперечного смещения кузова, кроме

упругих сил возвращающего механизма, необходимо преодолеть еще силы трения в скользящих, т. е. параллельно с упругой существует еще одна — фрикционная силовая связь. Ввиду того что весь вес кузова передается через скользящие, эти силы трения значительны, что приводит к существенному загрублению поперечной упругой связи.

Из сказанного следует, что положительный эффект упругой поперечной связи не может проявиться в полной мере из-за высоких сил сухого трения, блокирующих упругую связь в широком диапазоне значений поперечных сил. Причиной этого является, во-первых, работа скользящих в поперечном направлении (что в большинстве современных конструкций исключается), а, во-вторых, значительные силы трения, так как на скользящие передается весь вес кузова (существует подвижной состав, где через скользящие передается только часть веса кузова).

Недостатками данной конструкции является ее низкая демпфирующая способность, особенно при крутильных ударах, боковой качке и высокочастотной вибрации. При этой конструкции упругая связь обеспечивается в основном только в вертикальном направлении пружинами боковых опор. Продольная связь жесткая, практически беззазорная, осуществляется через шкворень, шарнир и вкладыши; угловая связь относительно оси  $x$  упругая. При движении в кривых невозможно обеспечить поперечный наклон кузова локомотива (вагона).

Также известна шкворневая система по Патенту Российской Федерации на изобретение № RU 2513039, опубликованный 20.04.2014 г., содержащая узел соединения ходовой тележки и несущей рамы кузова железнодорожного рельсового транспортного средства, состоящий из пятника и подпятника, опорных и упорных поверхностей с выемками, заполненными твердым смазочным материалом, и угол, образованный радиальными осями выемок, не превышающий угол поворота тележки в кривых участках пути, при этом выемки выполняются в виде сквозных и несквозных отверстий на упорных и опорных поверхностях элемента, расположенного между упорными и опорными поверхностями пятника и подпятника и имеющего твердость меньше твердости указанных элементов.

Совпадающими признаками с заявляемым являются кузов железнодорожного рельсового транспортного средства, несущая рама кузова, рамы тележек, колесные пары, шкворень (шкворневая система), который связан с рамой тележки через пятник и подпятник, включающий в себя шаровой шарнир, который может поворачиваться в любой плоскости во вкладыше и скользить по цилиндрической поверхности шкворня, при этом опорная поверхность обеспечивает фрикционный контакт в вертикальном направлении, а упорная в горизонтальном.

Недостатком данной шкворневой системы является низкая долговечность пятника и подпятника, что объясняется выдавливанием разовой консистентной смазки из зоны трения. В связи с этим невозможно

обеспечить необходимую надежность, эффективность гашения, безопасность работы самого устройства и в целом безопасность движения железнодорожного транспортного средства. При движении в кривых невозможно обеспечить поперечный наклон кузова локомотива (вагона).

Наиболее близким по технической сущности является соединение кузова железнодорожного транспортного средства с тележками по Патенту Российской Федерации на изобретение № RU 2475391, опубликованный 20.02.2013 г. (Бюл. № 5), содержащее колесные пары, установленные в раме ходовой тележки с подрессоренной балкой, на которую опирается кузов локомотива (вагона), систему рессорного подвешивания, при этом продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки, а подвески выполнены в виде цилиндрических пружин с тягами, закрепленными на боковых стенках рамы ходовой тележки.

Совпадающими признаками с заявляемым являются кузов железнодорожного транспортного средства, рама кузова, рамы тележек, боковые опоры, колесные пары, установленные в раме тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов, шкворень (шкворневой узел), система рессорного подвешивания, при этом продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки, а подвески выполнены в виде цилиндрических пружин с тягами, закрепленными на боковых стенках рамы ходовой тележки.

Недостатками данной конструкции соединения кузова железнодорожного транспортного средства с тележками является ее низкая демпфирующая способность, особенно при крутильных ударах, боковой качке и высокочастотной вибрации, а также невозможность автоматического регулирования силой демпфирования при движении в кривых железнодорожного транспортного средства (особенно при повышенных скоростях движения).

Для предотвращения всех отмеченных выше недостатков нами предлагается новая конструкция соединения кузова железнодорожного транспортного средства с тележками с учетом дополнительной установки автоматически управляемой гидрофрикционной системы.

Задача изобретения – повышение демпфирующей способности при крутильных ударах, боковой качке и высокочастотной вибрации, а также обеспечение автоматического регулирования силой гидродинамического демпфирования при движении в кривых железнодорожного транспортного средства (особенно при повышенных скоростях движения). Все это в целом повысит надежность и безопасность железнодорожного транспортного средства (локомотива, вагона).

Поставленная задача решается тем, что боковые опоры для кузова вагона (локомотива) выполнены в виде гидроцилиндров, которые

управляются автоматически с помощью системы датчиков давления и акселерометров.

Техническим результатом предлагаемого нами изобретения является повышение надежности, эффективности демпфирования и безопасности устройства и обеспечение автоматического регулирования силой гидродинамического демпфирования при движении в кривых железнодорожного транспортного средства (особенно при повышенных скоростях движения).

На фиг.1 изображена тележка железнодорожного транспортного средства - вид сбоку и на фиг.2 - разрез А-А на фиг.1.

Соединение кузова железнодорожного транспортного средства с тележками содержит колесные пары 1 (фиг.1 и 2), установленные в раме 2 ходовой тележки 3 с подрессорной балкой 4, на которую через шкворневой узел 5 опирается кузов вагона 6. Подрессорная балка 4 через винтовые цилиндрические пружины 7 системы рессорного подвешивания опирается на раму 2 ходовой тележки 3 с возможностью поперечного относительно рамы 2 ходовой тележки 3 поворота, с использованием подвесок 8, при этом точки крепления 9 подвесок 8 к раме 2 ходовой тележки 3 смещены внутрь к ее центру, а точки крепления 10 подвесок 8 к подрессорной балке 4 смещены наружу, вследствие чего продольные оси 11 подвесок 8 расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой 4 под углом  $\gamma$  относительно вертикальной оси 12 ходовой тележки 3. Подвески 8 выполнены в виде цилиндрических пружин 13 с тягами 14, закрепленными к раме 2 в точках крепления 9 и к подрессорной балке 4 в точках крепления 10 с возможностью увеличения вертикальной  $P_B$  и горизонтальной  $P_G$  составляющих усилия воздействия цилиндрических пружин 13 на подрессорную балку 4 в направлении действия центробежной силы  $P_{\psi}$  вагона 6 при прохождении кривых участков пути и уменьшения вертикальной  $P_B$  и горизонтальной  $P_G$ , составляющих усилие воздействия цилиндрических пружин 13 с другой стороны кузова 6 и подрессорной балки 4 и дополнительного поворота подрессорной балки 4. В виде боковых опор для кузова вагона 6 установлены дополнительные гидроцилиндры 15, которые управляются автоматически с помощью системы датчиков давления и акселерометров 16.

Соединение кузова железнодорожного транспортного средства с тележками работает следующим образом.

При движении железнодорожного транспортного средства (вагона, локомотива) по прямому пути цилиндрическими пружинами 13 с тягами 14 подрессорная балка 4 устанавливает кузов 5 и вагон 6 в среднее положение симметрично вертикальной оси 12 и удерживает в этом положении при равновесии сил  $P_G$  и  $P_B$  с обеих сторон ходовой тележки 3. При прохождении кривых участков пути возникает центробежное ускорение, создающее поперечную силу  $P_{\psi}$ , действующую горизонтально от центра тяжести вагона 6 в направлении внешнего радиуса пути, что

повышает нагрузки на транспортное средство и снижает комфортность пассажиров. Для уменьшения действия этой силы происходит определение наклона кузова относительно горизонтальной оси при помощи акселерометра, и блок управление наклоном кузова 15 открывает заслонки гидравлической жидкости в зависимости от того, в какую сторону необходимо наклонить кузов относительно горизонтальной оси, а так же, при строительстве пути выполняется возвышение наружного рельса над внутренним с образованием угла наклона  $\beta$ , при этом величина поперечной сила  $P_{\beta}$  снижается и комфортность пассажиров повышается. Переход транспорта на скоростное движение приводит к новому повышению центробежного ускорения и поперечной силы  $P_{\beta}$ . При прохождении кривых участков пути на повышенных скоростях подрессорная балка 4, цилиндрическими пружинами 13 с тягами 14 связанная с кузовом 5 вагона 6, сдвигается в направлении действия поперечной силы  $P_{\beta}$  (сдвиг может составлять от 40 до 120 мм в зависимости от величины силы  $P_{\beta}$ ), при этом подвески 8 с цилиндрическими пружинами 13 и тягами 14 поворачиваются на соответствующий угол  $\square$  и за счет смещения точек 10 их крепления и происходит увеличение вертикальной силы  $P_{\beta}$  и горизонтальной  $P_{\beta}$  составляющих усилия воздействия на подрессорную балку 4 и уменьшение вертикальной  $P_{\beta}$  и горизонтальной  $P_{\beta}$  составляющих усилия воздействия цилиндрических пружин 13 с другой стороны рамы 2 ходовой тележки 3 в направлении действия центробежной силы  $P_{\alpha}$  и дополнительный поворот вагона 6 относительно рельсов на угол  $\alpha$ , при этом центробежная сила  $P_{\alpha}$  достигает уровня комфортности пассажиров, а увеличенная горизонтальная составляющая  $P_{\beta}$  со стороны действия силы  $P_{\alpha}$  гасит горизонтальные колебания подрессорной балки 4 и кузова 5, повышает надежность, эффективность и безопасность устройства и упрощает конструкцию системы наклона кузова. При наклоне кузова вагона 6 дополнительные гидроцилиндры 15 будут автоматически перемещаться в помощью системы управления в виде датчиков давления и акселерометров 16. Так, к примеру, если акселерометр 16 одного из гидроцилиндров 15 отклониться от горизонтального положения, то лишнее давление, возникающее при наклоне кузова вагона (локомотива) 6, будет автоматически передано в другой гидравлический цилиндр 15. Тем самым, при движении в кривой кузов вагона 6 автоматически наклонится на нужный угол  $\alpha$ .

Таким образом, применение предлагаемой нами конструкции соединения кузова железнодорожного транспортного средства с тележками позволяет повысить демпфирующую способность при крутильных ударах, боковой качке и высокочастотной вибрации, а также обеспечить автоматическое регулирование силой гидродинамического демпфирования при движении в кривых железнодорожного транспортного средства (особенно при повышенных скоростях движения). Все это в

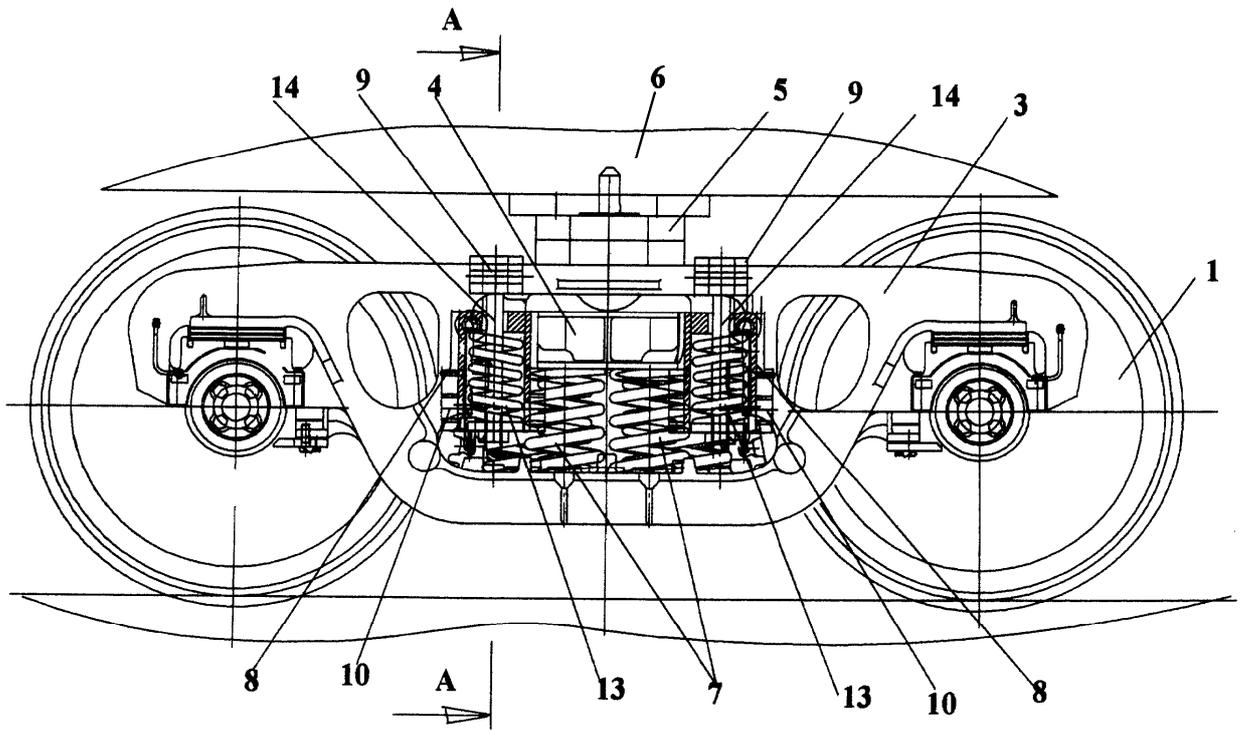
целом повысит надежность и безопасность железнодорожного транспортного средства (локомотива, вагона).

Подобная конструкция соединения кузова железнодорожного транспортного средства с тележками может найти широкое применение на железнодорожном транспорте.

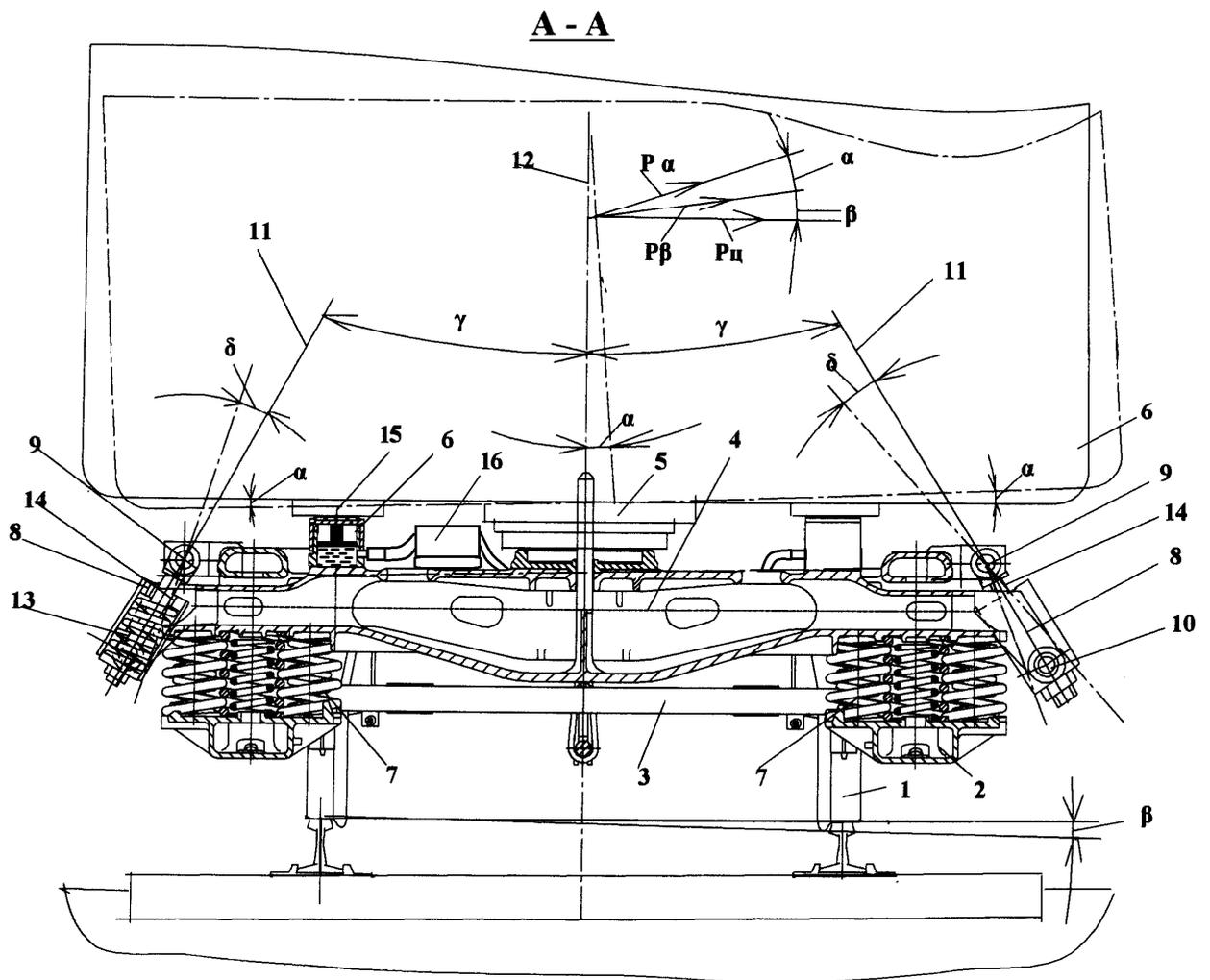
### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Соединение кузова с тележками железнодорожного транспортного средства, содержащее колесные пары, установленные в раме ходовой тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов вагона, винтовые цилиндрические пружины системы рессорного подвешивания, которая опирается на раму ходовой тележки с возможностью поперечного относительно рамы ходовой тележки смещения с использованием подвесок, при этом точки крепления подвесок к раме ходовой тележки смещены внутрь к ее центру, а точки крепления подвесок к подрессорной балке смещены наружу, вследствие чего продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки, отличающаяся тем, что боковые опоры для кузова вагона (локомотива) выполнены в виде гидроцилиндров, которые управляются автоматически с помощью системы датчиков давления и акселерометров.

### **СОЕДИНЕНИЕ КУЗОВА С ТЕЛЕЖКАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**



**Фиг. 1**  
**СОЕДИНЕНИЕ КУЗОВА С ТЕЛЕЖКАМИ**  
**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**



**Фиг. 2**

**РЕФЕРАТ  
СОЕДИНЕНИЕ КУЗОВА С ТЕЛЕЖКАМИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**Использование:** подвижной состав железных дорог; может быть использовано для соединения железнодорожного транспортного средства с тележками с возможностью обеспечения его наклона на радиусных участках железнодорожного пути (при движении в кривых, особенно при повышенных скоростях).

**Задача:** повышение демпфирующей способности при крутильных ударах, боковой качке и высокочастотной вибрации, а также обеспечение автоматического регулирования силой гидродинамического демпфирования при движении в кривых железнодорожного транспортного средства (особенно при повышенных скоростях движения). Все это в целом повысит надежность и безопасность железнодорожного транспортного средства.

**Сущность изобретения:** Соединение кузова с тележками железнодорожного транспортного средства, содержащее колесные пары, установленные в раме ходовой тележки с подрессорной балкой, на которую опирается кузов вагона, винтовые цилиндрические пружины системы рессорного подвешивания, которая опирается на раму ходовой тележки с возможностью поперечного относительно рамы ходовой тележки смещения с использованием подвесок, при этом точки крепления подвесок к раме ходовой тележки смещены внутрь к ее центру, а точки крепления подвесок к подрессорной балке смещены наружу, вследствие чего продольные оси подвесок расположены наклонно и связаны с подрессорной балкой под углом относительно вертикальной оси ходовой тележки, отличающаяся тем, что боковые опоры для кузова вагона (локомотива) выполнены в виде гидроцилиндров, которые управляются автоматически с помощью системы датчиков давления и акселерометров.

1 н.п.ф-лы, 2 ил.

## **ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

1. Проведением вероятностно-статистической обработки результатов по отказам механической части локомотивов установлено, что наиболее часто разрушаются шкворневые узлы, рамы кузова и тележек в местах их соединения со шкворнями ( на них приходится - 18 – 20% всех отказов механической части локомотивов), из-за несовершенство конструкции шкворневого узла, центральных опор крепления рамы кузова и рамы тележек, создающей большие колебания отбоя и виляния, предусмотренные боковые опоры и дополнительные скользуны не способны устранить возникновение значительных контактных напряжений в местах крепления, что приводит к возникновению усталостных трещин.

2. Проведено обоснование модели колебаний отбоя и виляния экипажа локомотива с продольной связью тележек при движении в кривых с учетом влияния упругости рамы кузова и рамы тележек, а также упругости шкворневого узла. Поэтому в настоящее время необходимо при модернизации изменить принципиально конструкцию шкворневых балок рам кузова и рамы тележки и узлов крепления в центральной опоре.

3. Для подбора рациональных параметров шкворневого узла проведены численные исследования по модели колебаний отбоя и виляния экипажа локомотива с продольной связью при движении в кривых. Установлено, что путем применения предлагаемой автором конструкции упругого шкворневого узла для электровоза ВЛ-60к удастся снизить суммарные напряжения с 153 – 228 Мпа до 115 – 180 Мпа на раме кузова, т.е. на 21.05 - 24.8 % в зависимости от режима внешних вибраций.

4. В результате применения комбинированного численно-аналитического метода на базе методов итераций и кусочно -линейной аппроксимации удалось создать инженерный прикладной метод динамического расчета по колебаниям отбоя и виляния экипажа локомотива с продольной связью тележек при движении в кривых с учетом влияния упругости рамы кузова и рамы тележек, а также упругости шкворневого узла, позволяющий проводить оценку динамических напряжений и деформаций при гармоническом нагружении .

5. Разработаны алгоритм, блок-схема и программа для проведения численных исследований по модели колебаний отбоя и виляния экипажа локомотива с продольной связью тележек при движении в кривых с учетом влияния упругости рамы кузова и рамы тележек, а также упругости шкворневого узла, для использования на ЭВМ (среда MathCad 14).

6. Разработана модернизированная конструкция шкворневого узла связи кузова с тележками для электровоза ВЛ-60к с улучшенными упруго-диссипативными свойствами подвески (подана заявка на Патент РУз на изобретение № IAP 2014 0525 от 12.12.2014 г.). Подобная конструкция соединения кузова с тележками транспортного средства может найти

широкое применение на железнодорожном транспорте. Его применение позволит в целом повысить надежность, долговечность и прочность железнодорожного подвижного состава благодаря параллельной установке возвращающего механизма с упругодеформирующимися в поперечном направлении резинометаллическими амортизаторами и резинороликовыми дополнительными боковыми опорами. Будет также увеличена плавность хода и повышена демпфирующая способность транспортного средства при боковых и крутильных ударах, а также гашении высокочастотной вибрации; кроме того, будет достигнуто увеличение плавности хода с целью повышения комфортабельности перевозок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. / И.А. Каримов.- Т.: Узбекистан, 2009.- 48 с.
2. О программе модернизации и внедрении инновационных технологий в железнодорожный транспорт Республики Узбекистан. Постановление Правления ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» № 34/а, от 18 марта 2009 года. /Согласовано – с Кабинетом Министров Республики Узбекистан/.
3. В. А. Раков. Опытный электровоз переменного тока ОР22-01 // Локомотивы отечественных железных дорог 1845-1955. — 2-е, переработанное и дополненное. — Москва: «Транспорт», 1995. — С. 426—429. — [ISBN 5-277-00821-7](#).
4. В. А. Раков. Электровозы переменного тока серии НО // Локомотивы отечественных железных дорог 1845—1955. — 2-е, переработанное и дополненное. — Москва: «Транспорт», 1995. — С. 429—432. — [ISBN 5-277-00821-7](#).
5. В. А. Раков. Электровозы серии ВЛ61 // Локомотивы отечественных железных дорог 1956-1975. — 1999. — С. 66—69.
6. В. А. Раков. Электровозы серии ВЛ60 и их разновидности // Локомотивы отечественных железных дорог 1956-1975. — 1999. — С. 69—89.
7. Шкворневая система. Демьянов Александр Анатольевич (RU), Демьянов Алексей Александрович (RU), Павлицкий Борис Игоревич (RU) Авторское свидетельство РФ № 2513093, МПК-8 В 61 F 5/16, опубл. 20.04.2014 г.
8. Система наклона кузова железнодорожного транспорта. Кириков Александр Константинович (RU), Коссов Валерий Семенович (RU), Сазонов Игорь Валентинович (RU), Гусев Вадим Юрьевич (RU). Авторское свидетельство РФ № 2476338, МПК-8 В 61 F 5/22, опубл. 27.02.2013 г.
9. Транспортное средство с тележкой Якобса и качательной опорой. БРУНДИШ Фолькер (DE). Авторское свидетельство РФ № 2456189, МПК-8 В 61 F 5/24, опубл. 20.07.2012г.
10. Дубровский З.М., Лорман Л.М. Электровозы ВЛ60<sup>К</sup> и ВЛ60<sup>ПК</sup>. Руководство по эксплуатации.- М: Транспорт, 1993.-440 с.
11. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова Думка, 1975.- 704 с.
12. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986.-559 с.
13. Когаев В.П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. — 232 с.

14. М. Херхаргер, Х. Паролль. Mathcad 2000 : полное руководство. // перевод с немецкого под ред. К.Ю. Королькова, Киев: ВНУ, 2000.- 414 с.
15. Глущенко А.Д., Файзибаев Ш.С. Моделирование импульсного динамического и теплового нагружения материала колесных пар локомотивов. Ташкент, ФАН АН РУз , 2002.-194 с.
16. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей. / Ю.В. Демин, Л.А. Длугач, В.В., Коротенко, О.М. Маркова. Киев: Наукова думка, 1984. – 157 с.
17. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
18. Гарг В.К., Дуккипати Р.В. Динамика подвижного состава. Пер с англ./ Под ред. Н.А. Панькина. М.: Транспорт, 1988.- 391 с.
19. Рама кузова (Frame structure) . Патент Австралии № 624908 , МКИ F 16 S 003/061; Shiels Alan John; British Alkan Aluminium ; Plc – № 49921/90 ; заявл. 20.02.90; опубли. 25.06.92 г.
20. Демпфирующая опора колебаний. Патент Р Уз № 4578. / Глущенко А.Д., Хромова Г.А., Аль-Загир Фарис Саид. Опубли. в «Расмий ахборотнома» № 3, 30.09.97 г.
21. Упругий элемент. Патент РУз N 3255. /Глущенко А.Д., Аль Махасне Майяс в др./ Опубли. В «Расмий ахборотнома», N 2, 1996 г.
22. В. Volf. Влияние массы и рессорного подвешивания на динамические свойства тележек. // Eisenbahningenieur, 2004, № 7, S. 14 – 18.
23. Р. Eckwert, J. Frohn. Упругие опорные элементы для подвижного состава// Журнал «Железные дороги мира» - информационная служба. / Glasers Annalen, 2004, № 1/2, S. 48 – 57.
24. Бирюков И.В. Механическая часть подвижного состава. – М.: Транспорт, 1992.-315 с.
25. Кононов В.Е. Резиновые амортизаторы в экипажной части локомотивов: Учеб. Пос. – М.: РГОТУПС, 2002.- 147 с.
30. Глущенко А.Д., Хромова Г.А., Хайдаров Ю.О., Шерматов З.Х. Разработка динамической модели колебаний кузова при движении по пути с периодической неровностью. // В трудах IV Международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте», 7-8 июня 2001 г., Россия, г. Москва, с. III-7-9.
31. Хромова Г.А., Хайдаров Ю.О., Шерматов З.Х. Исследование колебаний упругой рамы кузова электровоза при движении по пути с периодической неровностью. // Журнал «Проблемы механики», № 1, 2002 , С.25-29.
32. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель – поездам. / Под ред. А.И. Тищенко, Т.1, М.: Транспорт, 1976. – 432 с.
33. Хайдаров Ю.О. Разработка алгоритма и численные исследования по модели колебаний отбоя и влияния экипажа локомотива с продольной связью тележек при движении в кривых. // В сборнике трудов Международной научно-практической конференции «Проблемы механики и

сейсмостойкости сооружений», ИМ и СС АН Р Уз, Ташкент, 27-28 мая 2004 г., с. 580-582.

34. Ризаев А.А., Хромова Г.А. Шерматов З.Х. Квазистатический расчет упругой рамы кузова промышленного электровоза с учетом воздействия продольных усилий // Ж. Промышленный транспорт Казахстана. -Алматы: КазАТиК. -2005. - № 12. С.23-29.

35. Инструкция по сварочным и наплавочным работам при ремонте электровозов, электропоездов и дизель - поездов». М: МПС России, ЦТ-336, 1996. -234 с.

36. Инструкция по сварочным работам при ремонте локомотивов и моторвагонного подвижного состава. № ГИ-07-066-05. Ташкент: «Узгосжелдорнадзор», 2005. -78 с.

37. Дубровский З.М., Лорман Л.М. Электровозы ВЛ-60к и ВЛ-60п/к. Руководство по эксплуатации.-М: Транспорт,1993.-400 с.

38. Механическая часть подвижного состава. / Под ред. И.С. Бирюкова, А.Н. Савоськина и др. М.: Транспорт, 1992 . – 440 с.

39. Справочник по электроподвижному составу, электровозам и дизель – поездам. / Под ред. А.И. Тищенко, Т.1, М.: Транспорт, 1976. – 432 с.

40. Альбом чертежей электровоза ВЛ60. Механическая часть». НЭВЗ, ЦБТИ, Ростов-на-дону, 1964.- 164 с.

41. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог. / Под. ред. д.т. н., проф. А.Н. Савоськина, М: Машиностроение, 1990. – 288 с.

42. Решетов Д.М. Детали машин. М: Машиностроение, 1974. – 655 с.

43. Данковцев В.Г., Киселев В.И., Четвергов В.А. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов. / Под ред. В.А. Четвергова, В.И. Киселева. М: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007.- 558 с.

44. Петропавлов Ю.П. Технология ремонта электроподвижного состава: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта.- М: Маршрут, 2006.- 432 с.

45. Калинин В.К. Электровозы и электропоезда.–М:Транспорт,1991.- 480 с.

46. Находкин В.М., Хрисанов А.Г. и др. Ремонт электровозов и электропоездов.Учебник для вузов ж.-д.транспорта.М:Транспорт,1975.-376 с.

47. Мендель В.Б. Подвижной состав электрических железных дорог. Конструкция и динамика. Учебник для ин-тов ж.-д. транспорта, изд. 4-е, М: Транспорт,1974.-232 с.

48. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова думка, 1975.- 704 с.

49. Прочность , устойчивость , колебания . Справочник в 3-х томах. Том 3. Под ред. член-корр. АН Латвийской ССР Я.Г. Пановко, М: Машиностроение, 1968.- 567 с.

50. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М: Машиностроение , 1977. - 232 с.

51. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов ж.д. транспорта /Под ред. В.Д. Кузьмича. - М. Изд. «Маршрут», 2005.- 448 с.

52. Динамика локомотивов /М.А. Ибрагимов, В.И. Киселев, В. А. Рамлов, А.В. Скалин: Уч. пос.-М.: РГОТУПС, 2005.- 128 с.

53. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. М.: Транспорт, 1982. – 222 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**