

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Локомотивы»**

**В. А. ЗАГОРЦЕВ, О. С. АНАНЬЕВА**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2018**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Локомотивы»

В. А. ЗАГОРЦЕВ, О. С. АНАНЬЕВА

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Одобрено советом механического факультета  
в качестве учебно-методического пособия по курсовой работе*

Гомель 2018

УДК 629.423:621.3.024  
ББК 39.232  
3-14

Рецензент – первый заместитель начальника дорожного центра по подготовке, переподготовке и повышению квалификации кадров ГО «Белорусская железная дорога» *В. А. Халиманчик*

**Загорцев, В. А.**

3-14      Проектирование механической части электрического подвижного состава : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы / В. А. Загорцев, О. С. Ананьева ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 113 с.  
ISBN 978-985-554-673-4

Приведены порядок выполнения курсовой работы по дисциплине «Механическая часть электрического подвижного состава», необходимые для проектирования исходные данные, изложены способы расчета основных параметров электровозов и дано описание основного механического оборудования.

Предназначено для студентов специальности 1-37 02 01 «Тяговый состав железнодорожного транспорта» направления 1-37 02 01 02 «Тяговый подвижной состав железнодорожного транспорта (электрический транспорт и метрополитен)».

**УДК 629.423:621.3.024**  
**ББК 39.232**

**ISBN 978-985-554-673-4**

© Загорцев В. А., Ананьева О. С., 2018  
© Оформление. БелГУТ, 2018



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Перечень условных обозначений и сокращений .....</b>	<b>5</b>
<b>Введение .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Основные сведения о конструкции локомотивов .....</b>	<b>9</b>
1.1 Кузов локомотива .....	9
1.1.1 Устройство кузова электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	10
1.1.2 Устройство кузова электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	12
1.1.3 Устройство кузова электровоза БКГ-1 .....	13
1.2 Экипажная часть локомотива .....	16
1.2.1 Конструкция тележки электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	17
1.2.2 Конструкция тележки электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	19
1.2.3 Конструкция тележки электровоза БКГ-1 .....	21
1.3 Тяговый привод .....	23
1.3.1 Конструкция тяговой передачи электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	25
1.3.2 Конструкция тяговой передачи электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	27
1.3.3 Конструкция тяговой передачи электровоза БКГ-1 .....	29
1.4 Буксовый узел .....	31
1.4.1 Конструкция буксового узла электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	34
1.4.2 Конструкция буксового узла электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	35
1.4.3 Конструкция буксового узла электровоза БКГ-1 .....	36
1.5 Рессорное подвешивание на локомотивах .....	37
1.5.1 Подвешивание электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	38
1.5.2 Подвешивание электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	43
1.5.3 Подвешивание электровоза БКГ-1 .....	51
1.6 Колесная пара .....	55
1.6.1 Конструкция колесной пары электровоза ВЛ80 <sup>С</sup> .....	59
1.6.2 Конструкция колесной пары электровоза ЧС4 <sup>Т</sup> .....	60
1.6.3 Конструкция колесной пары электровоза БКГ-1 .....	61
1.7 Тормозные устройства .....	62
1.8 Ударно-тяговый аппарат .....	64
1.8.1 Устройство автосцепки СА-3 .....	65
1.8.2 Действие автосцепки СА-3 .....	66
<b>2 Определение основных параметров электровоза .....</b>	<b>67</b>
2.1 Порядок расчета .....	71
2.1.1 Пример расчета для грузового электровоза .....	72
2.1.2 Пример расчета для пассажирского электровоза .....	75
<b>3 Вписывание электровоза в габарит .....</b>	<b>78</b>
3.1 Обозначения и область применения габаритов .....	81
3.1.1 Габариты приближения строений .....	81
3.1.2 Габариты подвижного состава .....	81
<b>4 Определение основных параметров тяговой передачи .....</b>	<b>83</b>
4.1 Реактивный момент от работы тягового электродвигателя .....	84
4.2 Определение размеров некоторых элементов тяговой передачи .....	85
4.3 Определение размеров амортизаторов подвески ТЭД .....	85

4.4	Порядок расчета.....	86
4.4.1	Пример расчета .....	87
<b>5</b>	<b>Геометрическое вписывание электровоза в кривую .....</b>	<b>91</b>
5.1	Порядок построения .....	92
5.1.1	Пример расчета .....	93
<b>6</b>	<b>Динамическое вписывание электровоза в кривую .....</b>	<b>95</b>
6.1	Составление уравнений равновесия сил и моментов.....	96
6.2	Определение сил, входящих в уравнения равновесия .....	99
6.3	Оценка динамических качеств проектного электровоза .....	102
6.4	Порядок расчета.....	103
6.4.1	Пример расчета для грузового электровоза.....	104
	<b>Список литературы.....</b>	<b>108</b>
	<b>Приложение А Основные параметры электровозов .....</b>	<b>109</b>
	<b>Приложение Б Габарит приближения строений (Габарит С) .....</b>	<b>110</b>
	<b>Приложение В Габарит подвижного состава (Габарит Т) .....</b>	<b>112</b>
	<b>Приложение Г Расположение оборудования на электровозе .....</b>	<b>113</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

- КП – колесная пара;  
МОП – моторно-осевой подшипник;  
ПС – подвижной состав;  
ТЭД – тяговый электрический двигатель;  
ЭПС – электрический подвижной состав;  
 $2S$  – расстояние между кругами катания бандажей колес;  
[2р] – допускаемая нагрузка на 1 мм диаметра колеса по кругу катания;  
2П – нагрузка от колесной пары на рельс;  
[2П] – допустимая нагрузка от колесной пары на рельсы;  
 $2\sigma$  – суммарный зазор между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей;  
 $a$  – межосевое расстояние редуктора;  
 $a_{н}$  – непогашенное ускорение;  
 $a_{п}$  – ускорение поезда после трогания с места;  
 $A_1, A_2$  – углы поворота тележек в кривой;  
 $b$  – база тележки в выбранном масштабе;  
 $b_{бзк}$  – ширина большого зубчатого колеса;  
 $b_{ш}$  – ширина шестерни;  
 $B$  – требуемая площадь стержня амортизатора;  
 $C$  – центробежная сила, действующая на тележку при движении в кривой;  
 $C_1$  – горизонтальная сила, возникающая от возвышения наружного рельса в кривой;  
 $d_{вн}$  – внутренний диаметр амортизаторов;  
 $d_{н}$  – наружный диаметр амортизаторов;  
 $d_{ст}$  – диаметр стержня подвески ТЭД;  
 $d_{ш}$  – диаметр вала шестерни;  
 $D_{кп}$  – диаметр колесной пары;  
 $f_{тр}$  – коэффициент трения между рельсами и бандажами;  
 $F_1, F_2, F_3$  – силы трения в опорных точках колес;  
 $F_k$  – касательная сила тяги на расчетном подъеме;  
 $F_T$  – сила тяги на ободу колеса при максимальном коэффициенте сцепления колеса с рельсом;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $G$  – часть веса электровоза, приходящаяся на тележку;  
 $h$  – возвышение наружного рельса в кривой;  
 $k_{гд}$  – коэффициент горизонтальной динамичности;  
 $K_{\sigma}$  – коэффициент запаса;  
 $l$  – база подвешивания редуктора;

- $L$  – база локомотива в выбранном масштабе;  
 $L_{\min}$  – минимальная длина электровоза (ограничена прочностью путей сооружений);  
 $L_6$  – база электровоза;  
 $L_{\text{д}}$  – длина локомотива по осям автосцепки;  
 $L_{\text{т}}$  – база тележки;  
 $m$  – модуль зубчатого колеса;  
 $m_{\text{г}}$  – масштаб геометрического вписывания;  
 $m_{\text{сл}}$  – служебная масса;  
 $M$  – суммарный момент сопротивления, возникающий в опорно-возвращающих устройствах при повороте тележки вокруг шкворня;  
 $M_{\text{дв}}^{\max}$  – максимальный момент, развиваемый двигателем;  
 $M_{\text{кп}}^{\max}$  – максимальный момент, развиваемый колесной парой;  
 $M_{\text{р}}$  – реактивный момент от работы ТЭД;  
 $n$  – коэффициент искажения;  
 $n_{\text{вх}}$  – частота вращения входного вала (вал ТЭД);  
 $n_{\text{вых}}$  – частота вращения выходного вала (оси колесной пары);  
 $n_{\text{дв}}$  – число двигателей в одной тележке;  
 $n_{\text{кп}}$  – число колесных пар;  
 $n_{\text{т}}$  – число тележек на электровозе;  
 $N_{\text{сц}}$  – сцепной вес;  
 $P$  – масса электровоза;  
 $P_{\text{к}}$  – расчетная касательная мощность электровоза на ободу колеса;  
 $P_3$  – эффективная мощность электровоза;  
 $[q_{\text{п}}]$  – допустимая погонная (на единицу длины пути) нагрузка;  
 $q_0^{\text{гр}}$  – осевая нагрузка грузового вагона;  
 $q_0^{\text{пас}}$  – осевая нагрузка пассажирского вагона;  
 $Q$  – масса состава;  
 $Q^{\text{пас}}$  – масса пассажирского поезда;  
 $r_1, r_2, r_3$  – лучи, направленные перпендикулярно силам трения в опорных точках колес;  
 $R$  – реакция в точке подвески редуктора к раме тележки;  
 $R_1$  – радиус внешней дуги в выбранном масштабе;  
 $R_2$  – радиус внутренней дуги в выбранном масштабе;  
 $R_{\text{г}}$  – радиус кривой для геометрического вписывания;  
 $R_{\text{д}}$  – радиус кривой для динамического вписывания;  
 $\text{tg}\alpha_{\text{п}}$  – угол поворота передней тележки;  
 $v_{\text{доп}}$  – наибольшая (допустимая) скорость движения электровоза в кривой;  
 $v_{\text{конс}}$  – конструкционная скорость электровоза;



- $v_p$  – расчетная скорость движения;  
 $x_1, x_2, x_3$  – полюсные расстояния;  
 $y_1, y_2, y_3$  – направляющие усилия от рельсов, обеспечивающие поворот тележки в кривой;  
 $y_1'$  – боковое давление колеса на рельс;  
 $y_{1д}'$  – боковое давление колеса на рельс с учетом  $k_{гд}$ ;  
 $y_p$  – рамное давление, передаваемое колесной парой на раму тележки, при движении в кривой;  
 $z_{бзк}$  – число зубьев большого зубчатого колеса тяговой передачи;  
 $z_{ш}$  – число зубьев шестерни тяговой передачи;  
 $\Pi$  – централь (межосевое расстояние между валом ТЭД и КП);  
 $\beta_c$  – коэффициент свободной мощности, учитывающий затраты на привод вспомогательных машин;  
 $\Delta$  – уширения колеи в кривой;  
 $\varepsilon$  – коэффициент увеличения стержня под действием сжимающей силы;  
 $\eta_v$  – коэффициент использования сцепного веса;  
 $\eta_{пер}$  – КПД передачи мощности от ТЭД на колесную пару;  
 $\mu'$  – предварительное значение передаточного отношения тягового редуктора;  
 $\mu$  – передаточное отношение тягового редуктора;  
 $\zeta$  – ускорение поезда при действии удельной ускоряющей силы;  
 $[\sigma]$  – нормально допустимое напряжение;  
 $[\sigma]_{рез}$  – допустимое напряжение для резины;  
 $[\tau]$  – допустимые касательные напряжения;  
 $\psi_a$  – коэффициент ширины зубчатого венца;  
 $\psi_{max}$  – наибольшее значение коэффициента сцепления колеса с рельсом;  
 $\psi_k$  – коэффициент сцепления колес с рельсами;  
 $\omega_0$  – основное удельное сопротивление движению локомотива;  
 $\omega_0''$  – основное удельное сопротивление движению состава;  
 $\omega_i$  – удельное сопротивление от уклона;  
 $\omega_{тр}$  – удельное сопротивление состава в момент трогания с места;  
 $\omega_y$  – удельное сопротивление от ускоряющего усилия.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Перед выполнением курсовой работы студент должен освоить принципы работы электровоза, иметь представление о назначении и конструкции его механического и электрического оборудования.

Целью курсовой работы является закрепление полученных знаний на примере выбора и расстановки основного электрического оборудования на проектируемом электровозе, а также выполнение расчетов по определению основных параметров электровоза, и проверку его на допустимость к эксплуатации на железной дороге.

В курсовой работе необходимо определить основные параметры электровоза, дать описание конструкции кузова с его опорами, тележки, ее оборудования, тягового привода, буксового узла, колесной пары, рессорного подвешивания, тормозных устройств и автосцепного устройства.

Определить основные параметры тяговой передачи и размеры некоторых ее элементов, а также рассчитать реактивные моменты, действующие на передачу при движении электровоза.

Произвести геометрическое и динамическое вписывание проектируемого электровоза на участке железнодорожного пути с заданным радиусом кривой.

По результатам расчетов на формате А1 выполнить общий вид спроектированного электровоза, а расположение оборудования выполнять, основываясь на параметрах электровоза-образца (приложение Г).

# 1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКЦИИ ЛОКОМОТИВОВ

Механическая часть современных локомотивов включает в себя следующие основные элементы:

**Кузов** – самый крупный по массе и объёму узел локомотива, предназначенный для размещения оборудования и локомотивной бригады, а также защиты их от внешних воздействий.

**Экипажная часть (тележка локомотива)** – служит для восприятия всех вертикальных, продольных и поперечных сил между кузовом и колёсными парами, а также осуществляет передачу сил тяги и торможения.

**Тяговый привод** – служит для создания силы тяги, включает в себя тяговый двигатель и редуктор (тяговую передачу), приводящие во вращение колёсную пару.

**Буксовый (подшипниковый) узел** – служит для беспрепятственного вращения колёсной пары относительно невращающихся частей тележки и подвешивания тележки относительно колесной пары.

**Колёсная пара** – служит для передачи нагрузки от электровоза на путь и обратно, а также участвует в процессе создания силы тяги и торможения.

**Рессорное подвешивание** – служит для снижения динамических нагрузок на оборудование локомотива в процессе движения.

**Опоры кузова** – служат для передачи веса кузова с оборудованием на тележки и восприятия тяговых и тормозных усилий от тележек к кузову.

**Тормозные устройства (пневматические тормоза)** – служат для остановки локомотива путем создания тормозной силы в результате нажатия тормозных колодок на колесные пары.

**Автосцепка** – служит для сцепления единиц подвижного состава, удержания их на определенном расстоянии друг от друга, передачи растягивающих и сжимающих сил от локомотива к вагону, и смягчения действия ударно-тяговых нагрузок, возникающих при движении поезда.

## 1.1 Кузов локомотива

Кузов состоит из следующих основных элементов: рама кузова, боковые стенки, крыша с крышевыми люками, каркасы, песочницы, путеочиститель, прожектор и буферные фонари, кабина машиниста, ручной тормоз, автосцепное устройство.

**Кузова классифицируют:**

1 По назначению: *локомотивные* (электровозные, тепловозные) и *вагонные* (к ним относят кузова вагонов электропоездов и метрополитена).

2 По внешнему виду: *вагонного* и *капотного* типов.

На кузовах *вагонного* типа боковые стенки разнесены на максимальное расстояние, допускаемое габаритом подвижного состава: локомотивная

бригада может обслуживать оборудование, не выходя из кузова. (рисунок 1.1, а).

Кузова *капотного* типа применяют обычно на маневровых локомотивах, при этом они имеют одну кабину управления, дающую больший обзор в сравнении с кузовом вагонного типа (рисунок 1.1, б).

а)



б)



Рисунок 1.1 – Типы кузовов локомотивов

3 По способу восприятия сил: *кузов с несущей рамой и цельно-несущий кузов.*

*Кузов с несущей главной рамой* имеет мощную раму, воспринимающую все внешние нагрузки и нагрузки от веса оборудования, установленного в кузове локомотива.

В *цельнонесущем* кузове боковые стенки, а иногда и крыша жестко связаны с рамой и представляют собой единую конструкцию, все элементы которой совместно воспринимают внешние нагрузки. Кузова этого типа обычно легче кузова с несущей главной рамой.

4 По расположению продольных балок рамы кузова относительно рам тележек различают кузова: *неохватывающего* и *охватывающего* типов.

В кузовах *неохватывающего* типа продольные балки расположены над рамой тележки. При этом центр тяжести главной рамы находится на значительной высоте над продольной осью автосцепок.

В кузовах *охватывающего* типа продольные балки главной рамы разносят на наибольшее расстояние, допускаемое габаритом, и располагают их так, что они охватывают раму тележки.

### 1.1.1 Устройство кузова электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

**Электровозы ВЛ80<sup>С</sup>** – грузовые электровозы переменного тока, могут работать по системе многих единиц, собираются из секций – одинаковых цельнометаллических конструкций обтекаемой формы, соединенных между собой автосцепкой СА3. Сообщение между секциями осуществляется по переходной площадке, а конструкция кузова обеспечивает возможность

монтажа и демонтажа оборудования. Обычно в эксплуатации используются двухсекционные электровозы (восьмиосные), а трехсекционные – для ведения сверхтяжелых поездов.

Рама кузова (рисунок 1.2) – основной элемент, несущий все виды нагрузок; она выполнена сварной и представляет собой конструкцию прямоугольной формы. Рама состоит из двух продольных балок 2, связанных двумя буферными брусками 1 по концам. Кроме того, продольные балки соединены двумя шкворневыми 3 коробчатого сечения, изготовленными из листовой стали, и двумя балками двутаврового сечения 4, на которые устанавливается тяговый трансформатор. Кронштейны 5 служат для установки люточного подвешивания, через которое кузов опирается на тележки электровоза.

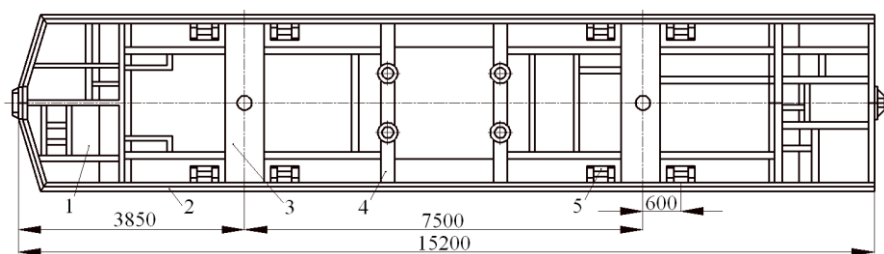


Рисунок 1.2 – Рама кузова электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Боковые стенки кузова представляют собой каркас из прокатных и гнутых профилей, обшитых листом толщиной 2 мм. Для повышения жесткости стенок листовая обшивка имеет продольные гофры.

Крыша кузова выполнена из стального проката и листового материала. На крыше для удобства монтажа и демонтажа оборудования предусмотрены крышесые люки. Выход на крышу предусмотрен по лестнице, расположенной в высоковольтной камере через люк.

Каркасы предназначены для монтажа электрического и пневматического оборудования, привариваются к раме кузова и представляют собой отдельные блоки. Со стороны прохода в каркасах имеются проемы для установки задвижных щитов и дверей. Для исключения попадания обслуживающего персонала под высокое напряжение все задвижные щиты и двери со стороны прохода в закрытом положении блокируются.

Песочницы (емкости для песка) установлены в каждой секции электровоза. Общий объем песка на электровозе составляет 2464 дм<sup>3</sup>. Все песочницы (по шесть в каждой секции) заправляют песком с крыши через люки с сетками, закрываемые крышками.

Путеочиститель предназначен для исключения попадания под колеса крупных предметов. Он установлен с каждого конца электровоза. Прожектор и буферные фонари устанавливаются на каждую секцию электровоза.

Осветительный прожектор расположен на лобовой части кабины, а сигнальные фонари расположены на лобовой стенке кабины. Кабина машиниста имеется в каждой секции электровоза. Стены, пол и потолок в кабине машиниста теплоизолированы. Ручной тормоз предназначен для затормаживания одиночного локомотива. Автосцепное устройство располагается в буферных брусках по продольной оси каждой секции электровоза, оно имеет типовую конструкцию, универсальную для всех локомотивов.

### 1.1.2 Устройство кузова электровоза ЧС4<sup>Г</sup>

**Электровоз ЧС4<sup>Г</sup>** – шестисосный пассажирский электровоз переменного тока, имеющий односекционное исполнение, с кузовом вагонного типа и несущей главной рамой.

Главная рама кузова (рисунок 1.3) состоит из двух боковин 4, шкворневых 9 и буферных 2 брусков и ряда поперечных балок 1, выполняющих роль связей, которые увеличивают поперечную жесткость рамы, а также служат каркасом, на который крепится оборудование.

Боковины рамы представляют собой полые балки коробчатого сечения. Каждая выполнена из двух штамповок швеллерной формы, сваренных между собой. Внутри боковины вварены горизонтальные ребра жесткости, повышающие устойчивость балок при действии на них продольных сжимающих усилий.

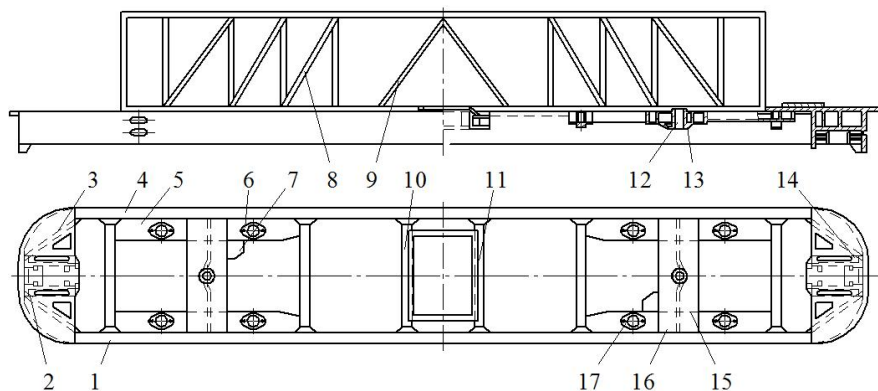


Рисунок 1.3 – Рама кузова электровоза ЧС4<sup>Г</sup>

В буферных брусках 2 размещены фрикционные аппараты автосцепок. Силы, возникающие на автосцепках, через буферные бруска передаются боковинам. Передача сил осуществляется с помощью двух горизонтальных раскосных балок 3, соединяющих вертикальную тыльную стенку буферного бруса с внутренними вертикальными стенками боковин.

Для установки тягового трансформатора в средней части рамы служат две поперечные балки 1 коробчатого сечения, соединенные сваркой с боковинами рамы кузова.

Шкворневая балка 9 сварена из листовой стали и состоит из поперечины и четырех раскосов 7, жестко соединенных сваркой с боковинами рамы. Поперечина (балка, перпендикулярная продольной оси кузова) имеет гнездо 8, в котором жестко крепится шкворень. В теле раскосов установлены направляющие втулки боковых опор 10 кузова. На электровозе ЧС4<sup>Т</sup> в связи с изменением конструкции боковых опор вместо раскосов применены продольные балки-плечи.

Верхняя рамная надстройка кузова электровоза ЧС4 состоит из двух плоских раскосных ферм 5, расположенных вертикально. Фермы жестко соединены с верхними полками боковин и являются несущими элементами кузова, увеличивая его жесткость в вертикальном направлении.

Крыша кузова электровоза представляет собой отдельные съемные элементы, обеспечивающие замену оборудования без демонтажа кузова. Песочные бункеры размещены вдоль боковых стен кузова. Люки для пополнения бункеров песком расположены на крыше. Кузов электровоза ЧС4 обшит стальными листами, жестко соединенными сваркой с главной рамой и фермой.

Кабины машиниста расположены по концам кузова и отделены от машинного помещения промежуточными стенами. Вход в кабины осуществляется из поперечного коридора машинного помещения через дверь, расположенную примерно в середине промежуточной стены. Стены, потолок и пол кабин имеют звуко- и теплоизоляцию.

Расположение оборудования в машинных помещениях выполнено по блочному принципу. Электрическая аппаратура высоковольтных цепей размещена частично в высоковольтной камере электровоза, частично в отдельных шкафах, оснащенных блокировками безопасности. Выдержан принцип симметрии – над каждой тележкой установлено оборудование, относящееся к тяговым двигателям этой тележки. Вдоль стен кузова электровоза через машинное помещение проходят два коридора. Из одного коридора через сетчатые двери с блокировкой безопасности можно войти в высоковольтную камеру.

### **1.1.3 Устройство кузова электровоза БКГ-1**

**Электровоз БКГ-1** – двухсекционный грузовой электровоз переменного тока, с цельнонесущим кузовом вагонного типа.

Кузов одной секции электровоза состоит из: главной рамы 3, кабины машиниста 1, боковых стенок 2, задней стенки 5 и крыши. Все эти элементы соединяются между собой и образуют цельнонесущий кузов, воспринимающий все виды нагрузок (рисунок 1.4).

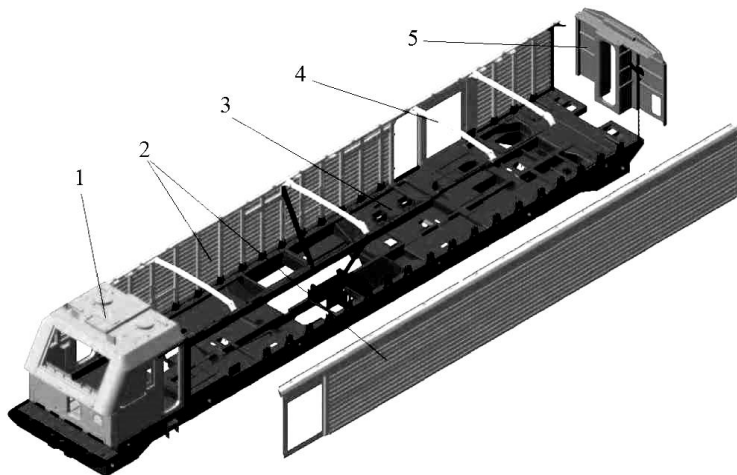


Рисунок 1.4 – Кузов электровоза БКГ-1

Рама кузова состоит из двух боковых брусьев, двух тяговых поперечных балок и двух концевых секций. Общий вид рамы представлен на рисунке 1.5, *а*. Концевые секции выполнены в виде продольных и поперечных балок, а также ряда других креплений в виде косынок и кронштейнов, к которым приварены листы стали для усиления жесткости конструкции. В средней части концевой секции расположено место для автосцепки СА-3 и поглощающего аппарата. С боковых сторон концевых секций выполнены карманы, исполняющие роль песочных бункеров.

На раму кузова (см. рисунок 1.5, *а*) устанавливается рама монтажа узлов (рисунок 1.5, *б*), рама кузова в сборе показана на рисунке 1.5, *в*. Рама монтажа узлов состоит из двух продольных балок 1, поперечных распорок 2, опорных листов 3 и кожухов обдува тяговых электродвигателей 4.

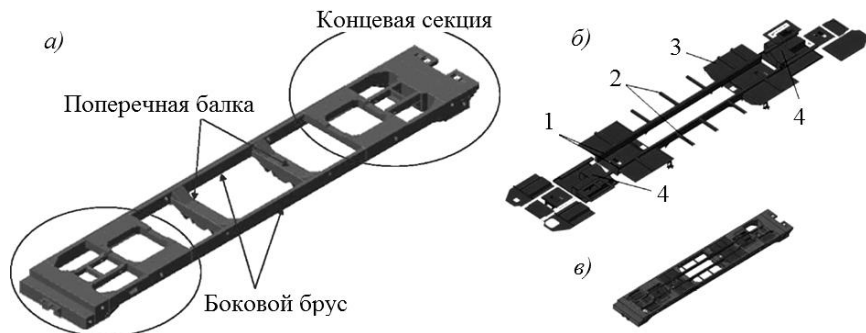


Рисунок 1.5 – Рама кузова электровоза БКГ-1



Тяговая поперечная балка имеет четыре кронштейна для крепления тягового трансформатора и место для установки тягового кронштейна. Боковой брус имеет монтажные отверстия для подъема локомотива.

Боковая стенка (рисунок 1.6) состоит из верхней продольной балки 1 и поперечных стоек 2, сверху на которые крепится гофрированный лист 5. Гофрированный лист изнутри покрыт теплоизоляционным материалом. В боковой стенке предусмотрены проемы для двери доступа в машинное помещение при обслуживании и ремонте 3, входные проемы для вентиляторов тяговых электродвигателей и машинного отделения 4.

Задняя стенка представляет собой сварную конструкцию из металлических профилей и листов, в средней части которой выполнено углубление для переходного настила и межсекционных дверей (см. рисунок 1.6).

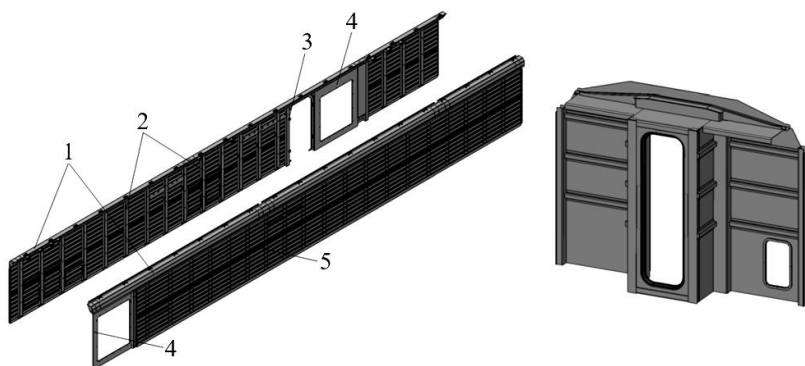


Рисунок 1.6 – Боковые и задняя стенки кузова электровоза БКГ-1

Кабина машиниста (рисунок 1.7) представляет собой каркас из прокатных и гнутых профилей, обшитых листами. Крыша выполнена из стального проката и листового материала. В средней части перегородки находится дверь для входа в машинное отделение. На боковых стенках кабины имеются входные двери 1, проемы для установки зеркал заднего вида 2. На передней стенке выполнен проем для лобового стекла 3 и капот 4, закрывающий наружное оборудование кабины.

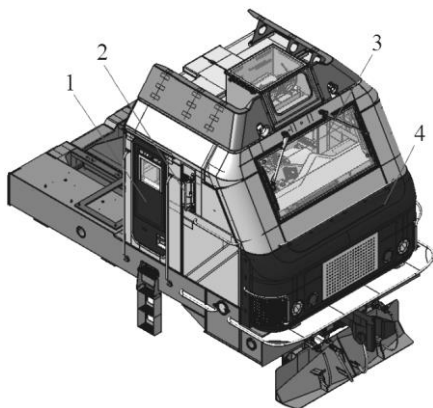


Рисунок 1.7 – Кабина электровоза БКГ-1

## 1.2 Экипажная часть локомотива

*Тележки* (экипажная часть локомотивов) служат для передачи вертикальных нагрузок и распределения их между отдельными колесными парами и колесами при помощи рессорного подвешивания, а также для восприятия сил тяги или торможения, развиваемых отдельными колесными парами, и передачи их на автосцепные устройства. Кроме того, тележки воспринимают и передают боковые усилия, возникающие при проследовании кривых участков пути. К рамам тележек крепят тяговые двигатели, на них устанавливают тормозное оборудование, а на электровозах с сочлененными тележками – межтележечные сочленения и автосцепные устройства.

Типы классификации тележек локомотивов представлены в таблице 1.1.

*Таблица 1.1 – Классификация тележек локомотивов*

По назначению	грузовые пассажирские
По числу колесных пар, объединенных рамой тележки	двухосные трехосные четырёхосные
По способу передачи крутящего момента	с индивидуальным приводом (каждая КП имеет тяговый электродвигатель) с групповым приводом (все КП связаны между собой чаще всего карданным приводом, и крутящий момент передается от ТЭД)
По выполнению рабочих функций	направляющие (без ТЭД, воспринимают часть нагрузки от веса кузова и снижают динамическое воздействие на путь) движущие (с ТЭД, развивают силу тяги, применяются во всех современных электровозах)
По связи тележек между собой	свободные сочлененные
По виду подвешивания ТЭД	опорно-осевое опорно-центровое опорно-рамное
По типу буксового узла	челюстные с цилиндрическими направляющими бесчелюстные (поводковые)
По типу рессорного подвешивания	одноступенчатое (между рамой тележки и колесными парами) двухступенчатое (между кузовом и рамой тележки, между рамой тележки и колесными парами)
По способу изготовления рамы тележки	листовые брусковые цельнолитые сварные

### 1.2.1 Конструкция тележки электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Тележка электровоза ВЛ80<sup>С</sup>: двухосная; с индивидуальным приводом (с движущими колесными парами); ТЭД и редуктор имеют опорно-осевое подвешивание; тележки не сочлененные; буксовый узел – бесчелюстной (поводковый); рессорное подвешивание – двухступенчатое, кузов подвешен при помощи люльчатого подвешивания; рама тележки – внешняя, цельносварная.

Основными составными узлами тележки (рисунок 1.8) являются: рама 1, колесные пары 2, зубчатая передача 3, буксы 4, рессорное подвешивание 5, тормозная система 6, подвеска тягового двигателя 7, шаровая связь 8.

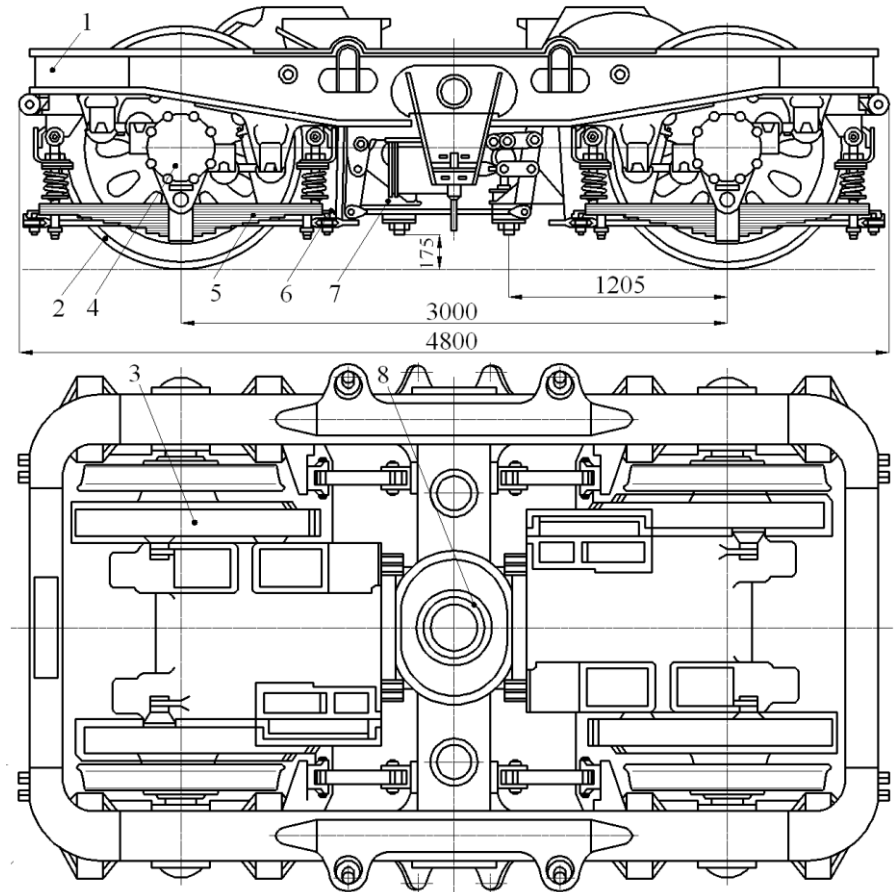


Рисунок 1.8 – Основные узлы тележки электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Конструкция тележки обеспечивает возможность монтажа и демонтажа тягового двигателя вместе с колесной парой, снятия кожуха зубчатой передачи без подъема кузова и смены тормозных колодок из смотровой канавы.

Рама тележки (рисунок 1.9) представляет собой цельносварную конструкцию прямоугольной формы, сваренную из двух боковин 3, связанных между собой шкворневым 10 и двумя концевыми брусьями 2. Боковины и концевые брусья коробчатого типа сварены из четырех листов прокатной стали. К нижнему листу боковины приварены малые 14 и большие 13 буксовые кронштейны.

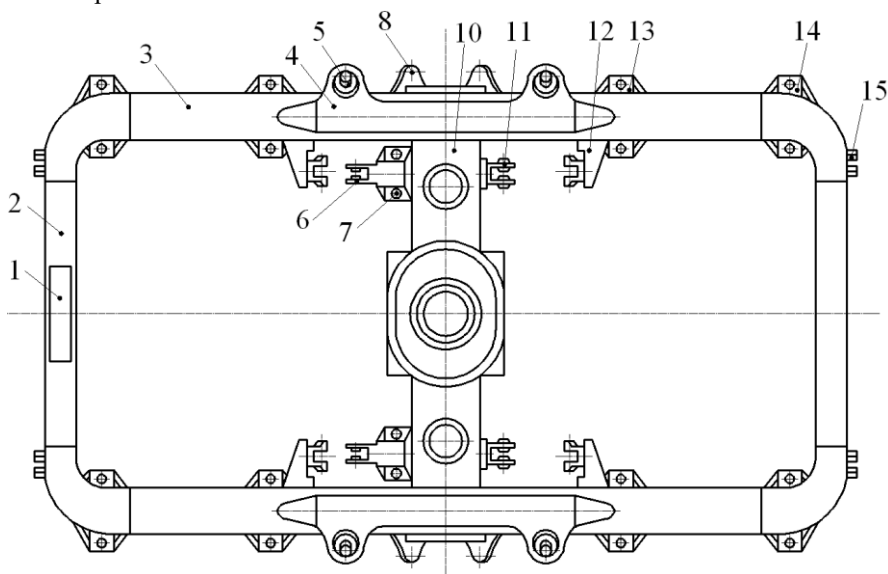


Рисунок 1.9 – Конструкция рамы тележки электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

На верхний лист боковины, там, где находится шкворневой брус, приварены накладки 4, усиливающие боковину. К накладке и наружной стороне боковины приварены кронштейны 5 люлечного подвешивания. С внутренней стороны боковины имеются кронштейны 12 для подвесок тормозной системы, а с наружной стороны – кронштейны 8, под гидравлические гасители. На концевых брусьях приварены кронштейны 15 для подвесок тормозной системы и имеется накладка 1 под ролик противоразгрузочного устройства.

Шкворневой брус 10 коробчатого сечения с усиливающими ребрами состоит из собственно шкворневого бруса, отлитого из стали, и бруса шаровой связи, отлитого из той же стали и приваренного к шкворневому брусу.

В средней части шкворневого бруса имеется овальное с коническим переходом по высоте сквозное углубление, через которое проходит шкворень.

С двух сторон к шкворневому брусу приварены кронштейны *б* и *11* для подвески рычагов ручного тормоза. На нижней стороне шкворневого бруса имеются площадки для приварки кронштейнов *7* под крепление тормозных цилиндров. На брус шаровой связи находятся проушины для подвески тяговых двигателей. Внутренняя полость бруса служит для размещения в ней деталей шаровой связи.

### 1.2.2 Конструкция тележки электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Тележка электровоза ЧС4<sup>Т</sup>: трехосная; с индивидуальным приводом (с движущими колесными парами); ТЭД имеет опорно-рамное подвешивание, а редуктор – опорно-осевое; тележки сочлененные; буксовый узел – бесчелюстной (поводковый); рессорное подвешивание – двухступенчатое, кузов подвешен при помощи люлечного подвешивания; рама тележки – внешняя, цельносварная.

На рисунке 1.10 показан общий вид тележки электровоза ЧС4<sup>Т</sup>. Тележки между собой соединены упругим горизонтальным соединением *2*. Колесные пары *1*, оборудованные буксами *4* с роликовыми подшипниками, закреплены в раме *3* тележки при помощи поводков. Тяговый редуктор *5* имеет опорно-осевое подвешивание.

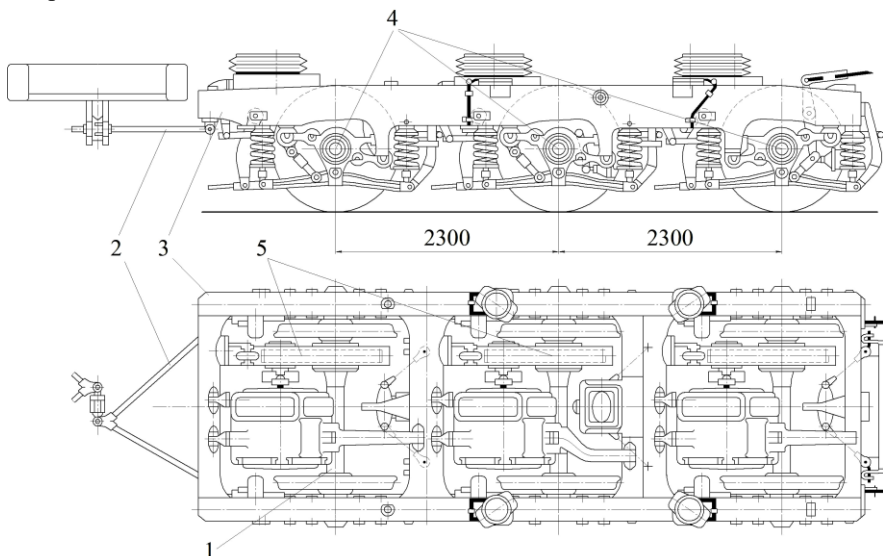


Рисунок 1.10 – Тележка электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Составляющими элементами рамы (рисунок 1.11) являются боковины *1*, шкворневой брус *12*, поперечный брус *10*, передняя *14* и задняя *4* концевые балки. Боковины рамы штампованно-сварные. Вырезы в вертикальных ли-

стах и изгибы горизонтального образуют надбуксовые выемки и большие кронштейны 2 крепления буксовых поводков. Малые кронштейны 3 буксовых поводков представляют собой отливку, ввариваемую в разрыве между смежными составными частями горизонтального листа. В местах расположения витых пружин буксового рессорного подвешивания горизонтальный лист имеет уширения 15 для крепления опор.

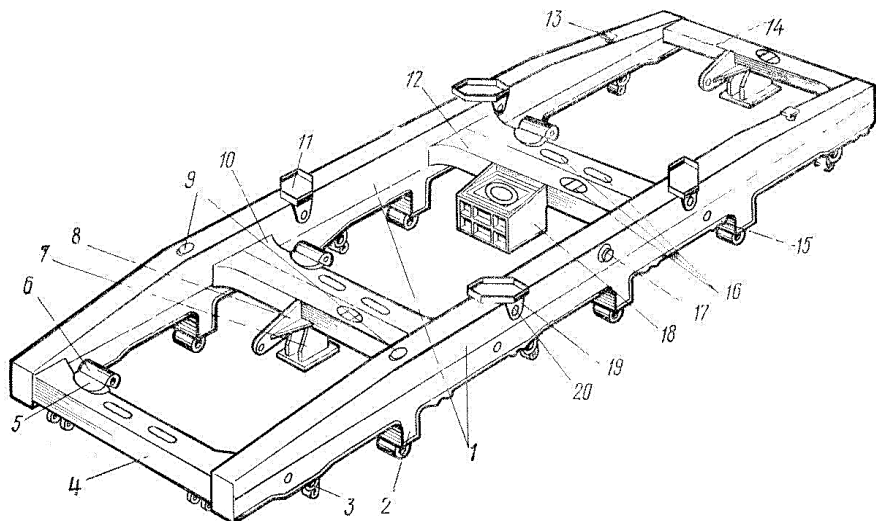


Рисунок 1.11 – Конструкция рамы тележки электровоза ЧС4Т

На верхней части боковины закреплены плиты 11 опор пружин второй ступени подвешивания, они свободно уложены на верхнюю горизонтальную плоскость боковины. К плитам приварены охватывающие боковину косынки 19, которые в свою очередь приварены к вертикальным стенкам по периметру отверстий в косынках 20. Такое конструктивное выполнение даст возможность исключить концентрацию напряжений. На верхней горизонтальной плоскости установлены внутренние 9 и внешние 13 ограничители вертикальных перемещений рамы тележки относительно главной рамы кузова. В вертикальные стенки боковин вварены кронштейны крепления тормозной рычажной передачи 6. Решетки «ребер жесткости», устанавливаемые внутри боковин 1, связывают внутренние и внешние вертикальные стенки в районе приварки шкворневого бруса. Ребра, расположенные под опорами кузова, предупреждают возможность потери формы сечения под действием вертикальной нагрузки.

Ограничители 17 горизонтальных перемещений рамы тележки относительно главной рамы кузова установлены на внешних вертикальных стенках боковины. Шкворневой брус (балка коробчатого сечения) 12 расположен

между первой, второй или пятой и шестой осями, и является связью между боковинами, местом размещения шкворневого узла с возвращающим устройством, а также местом крепления тяговых двигателей и корпуса редуктора привода первой оси. Литая коробка 18 шкворневого узла вварена в среднюю часть боковины. Опоры 16 тяговых двигателей и плита 5 крепления редуктора – литые. К поперечной и передней концевой балкам приварены кронштейны крепления тормозных цилиндров 7 и рычажной тормозной системы 8.

### 1.2.3 Конструкция тележки электровоза БКГ-1

Тележка электровоза БКГ-1: двухосная; с индивидуальным приводом (с движущими колесными парами); ТЭД и редуктор имеют опорно-осевое подвешивание; тележки не сочлененные; буксовый узел – бесчелюстной (поводковый); рессорное подвешивание – двухступенчатое, кузов подвешен при помощи системы пружин; рама тележки – внешняя, цельносварная.

Рама кузова одной секции электровоза БКГ-1 опирается на две двухосные несочлененные тележки. Общий вид тележки представлен на рисунке 1.12.

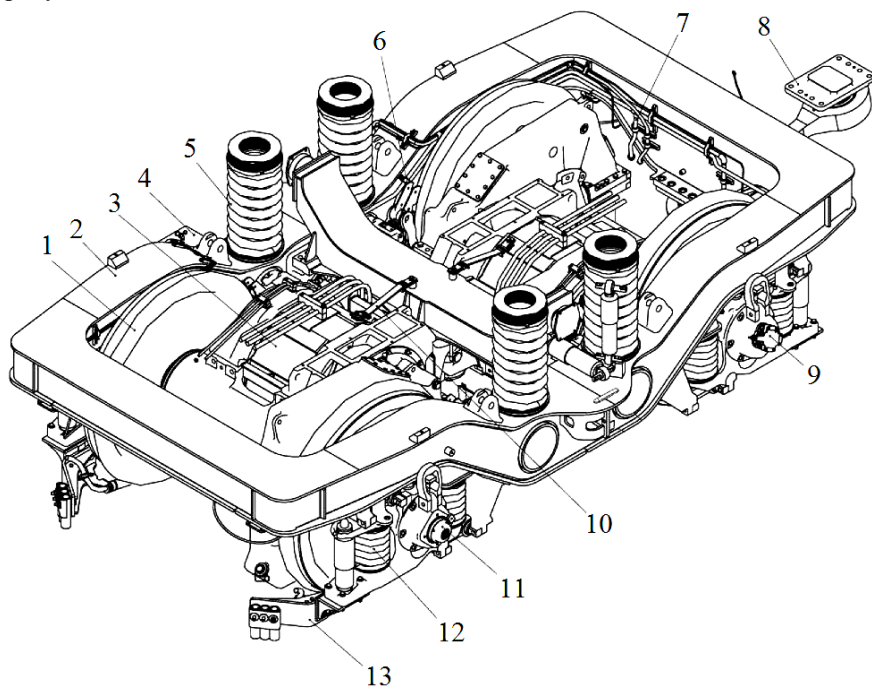


Рисунок 1.12 – Конструкция рамы тележки электровоза БКГ-1

Тележка состоит из рамы 2 и двух колесно-моторных блоков, состоящих из тяговых электродвигателей 3 с колесными парами 1. Тележка имеет две ступени подвешивания: первая 12 для связи колесных пар с рамой и вторая 5 для связи тележки с кузовом. Передача тяговых и тормозных усилий осуществляется с помощью тягового устройства 8. Также на тележке установлены камнесбрасыватели 13, датчик скорости 9, заземление тягового электродвигателя 10 и оси колесной пары 11 и системы: тормозная 6 с трубопроводами 7 и гребнесмазывателя 4.

Рама тележки является связующим, несущим элементом всех ее узлов, общий вид рамы тележки электровоза БКГ-1 представлен на рисунке 1.13.

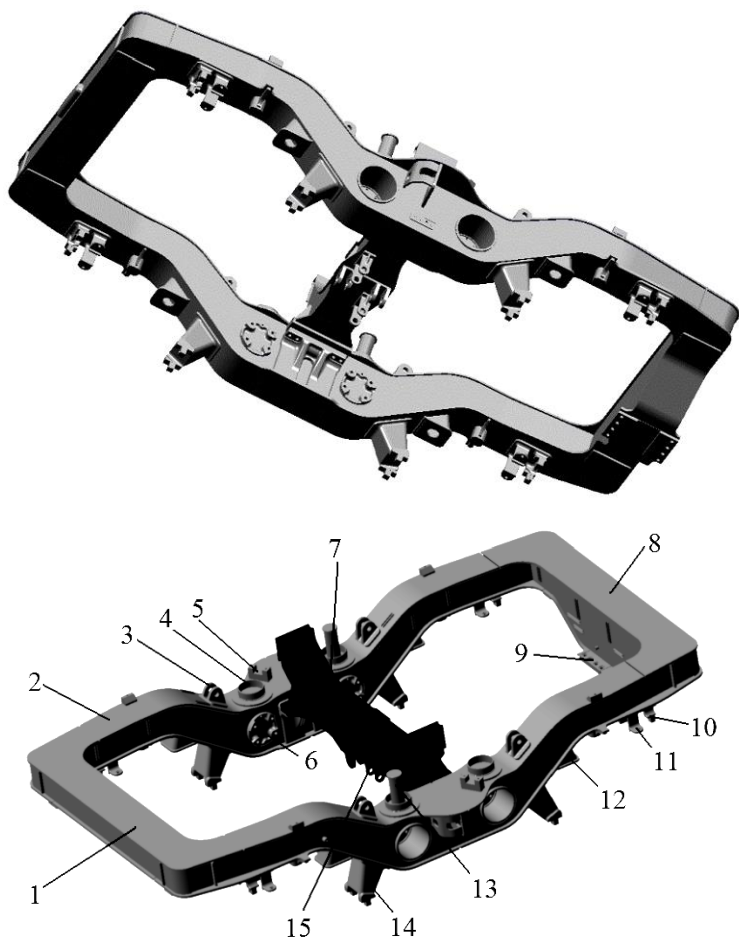


Рисунок 1.13 – Рама тележки электровоза БКГ-1



Рама тележки представляет собой конструкцию, сваренную из двух продольных 2 и двух концевых балок 1 и 8. Балки коробчатого сечения представляют собой сложную геометрическую форму, сваренную из стальных листов.

Для обеспечения достаточной прочности и жесткости продольные и концевые балки снабжены внутренними перегородками и ребрами жесткости. Каждая балка изготавливается из мелкозернистой стали и стальных отливок с высоким сопротивлением разрыву. После сварки для уменьшения остаточных напряжений рама подвергается термообработке, а затем обработке в дробеструйной машине.

Средняя балка 7 коробчатого сечения крепится к основной раме при помощи болтов, дополнительно усиливает жесткость конструкции рамы тележки и является местом крепления подвесок тяговых электродвигателей, горизонтальных гидrogасителей подвески второй ступени. Концы балки совместно с горизонтальными упорами рамы кузова ограничивают горизонтальное перемещение кузова электровоза относительно тележки.

Внизу приварены кронштейны 15 для крепления подвески тягового электродвигателя. Конструкция тележки обеспечивает возможность выкатки колесно-моторного блока.

Осевая букса через верхний поводок соединяется с кронштейном 10, а нижний поводок с кронштейном 14 рамы тележки. На подвеску первой ступени рама тележки опирается при помощи упора 12 и кронштейна 11 опоры амортизатора. Пружины подвески второй ступени устанавливаются в центрирующие обоймы 4, приваренные к продольным балкам. Вертикальные амортизаторы подвески второй ступени устанавливаются в кронштейны 5, горизонтальные амортизаторы крепятся к концам средней балки.

Тормозные цилиндры устанавливаются на площадки 6. Ограничение вертикального перемещения кузова относительно тележки осуществляется при помощи упора 13. Одна из концевых балок имеет уширение, заканчивающееся фланцем для крепления тягового соединения.

### **1.3 Тяговый привод**

*Тяговый привод* транспортного средства представляет собой комплекс устройств, служащих для преобразования энергии определенного вида в работу по преодолению сил сопротивления движению.

В состав электропривода, где преобразуемой является электрическая энергия, кроме движителя (колесной пары) входят тяговая передача, ТЭД, преобразовательные и регулирующие устройства.

*Тяговый электрический двигатель* предназначен для преобразования электрической энергии в механическую и входит в состав как электрической, так и механической части.

*Тяговая (зубчатая) передача* предназначена для передачи вращающего момента с вала тягового двигателя на колесную пару.

На электровозах переменного тока применяют индивидуальный тяговый привод, при котором на каждую ведущую колесную пару передается вращающий момент от соответствующего ей тягового двигателя.

Двигатель, размещенный на подрессоренных частях тележки или кузова, может перемещаться относительно колесной пары. Чтобы передать вращение в условиях взаимных перемещений отдельных элементов передачи, необходимы подвижные соединительные муфты. Если двигатель опирается непосредственно на ось колесной пары, необходимость в муфте отпадает.

При несоосности геометрических осей вала двигателя и колесной пары необходим редуктор, который, как правило, выполняется на базе зубчатых передач и может быть *цилиндрическим* или *коническим*. Таким образом, тяговая передача может включать в себя также *тяговые муфты* и *редукторы*.

Тяговые передачи выполняют или *двусторонними* (шестерни, передающие вращающий момент от якоря двигателя, расположены на валу с двух сторон от двигателя), или *односторонними* (только с одной стороны двигателя). При этом зубчатые колеса могут быть *прямозубыми* или *косозубыми*.

При передаче крутящего момента от одного зубчатого колеса другому большое значение имеет число зубьев, принимающее участие в этой передаче. В зависимости от передаточного числа одновременно в работе может участвовать до трех зубьев. Чем больше число зубьев, участвующих одновременно в передаче вращающего момента от двигателя на ось колесной пары, тем лучше условия работы тяговой передачи в отношении износостойкости контактной поверхности зубьев.

Тяговые передачи всегда являются понижающими. Отношение числа зубьев большого колеса к числу зубьев шестерни называют *передаточным отношением (числом)*. Оно показывает, во сколько раз частота вращения вала двигателя больше частоты вращения колесной пары.

Тяговые передачи подвижного состава подразделяют на три класса:

- **привод I класса** – опорно-осевое подвешивание ТЭД и редуктора;
- **привод II класса** – опорно-рамное подвешивание ТЭД и опорно-осевое подвешивание редуктора;
- **привод III класса** – опорно-рамное подвешивание ТЭД и редуктора.

*Подвешивание ТЭД на раму тележки* выполняют для смягчения ударов, приходящихся на тяговый двигатель при прохождении колесной парой неровностей пути, опрокидывающих моментов при трогании электровоза с места, а также для компенсации изменения взаимного положения ТЭД и рамы тележки при движении электровоза.

Виды подвешивания ТЭД на раму тележки для рассматриваемых типов электровозов: *маятниковое подвешивание, опорно-рамное подвешивание.*

### 1.3.1 Конструкция тяговой передачи электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Тяговая передача электровоза ВЛ80<sup>С</sup> имеет следующие характерные особенности: подвешивание ТЭД и редуктора опорно-осевое через моторно-осевые подшипники; зубчатая передача двусторонняя, косозубая (включает в себя две *шестерни* и два *больших зубчатых колеса*, попарно заключенных в защитный кожух); подвешивание ТЭД на раму тележки осуществляется при помощи маятникового подвешивания.

*Шестерни* изготавливают из хромоникелевых сталей. По наружной поверхности шестерни нарезаны косые зубья с углом наклона  $24^{\circ}37'$ . Поверхности зубьев подвергают тщательной механической и термической обработке. Шестерню в нагретом состоянии насаживают на вал тягового двигателя, и при охлаждении она плотно обхватывает его. Передача вращающего момента осуществляется благодаря трению, возникающему между поверхностью вала и внутренней поверхностью шестерни. Конической внутренней поверхностью шестерни выполняют для облегчения посадки ее при сборке и снятия при разборке.

*Большие зубчатые колеса* электровозов запрессовывают на удлиненную ступицу центра колесной пары. Для уменьшения массы колеса по окружности диска сделано 16 отверстий.

*Кожух зубчатой передачи* (рисунок 1.14) изготовлен из стали и состоит из верхней 2 и нижней 5 половин. Для лучшего уплотнения кожуха по линии разъема делают особые желоба, в которые закладывают уплотнительные войлочные или резиновые прокладки.

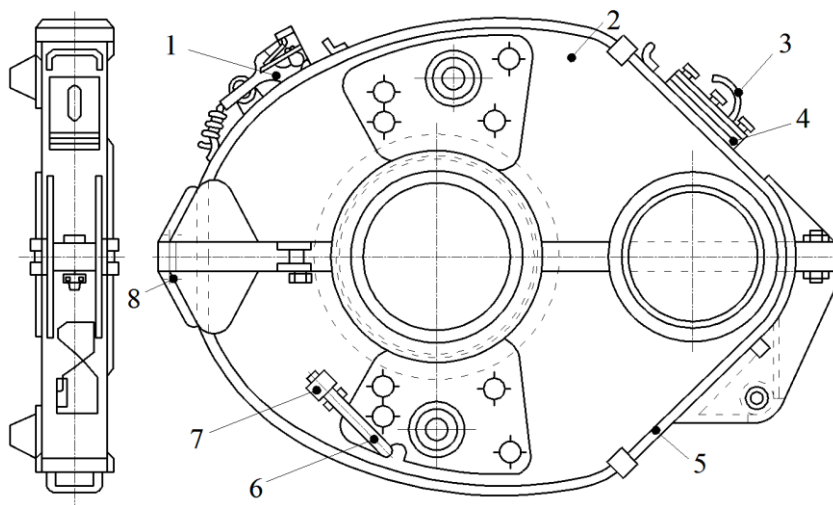


Рисунок 1.14 – Кожух зубчатой передачи электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

В верхней половине кожуха имеется заправочная горловина 1, надежно закрываемая крышкой, и люк 4 для осмотра зубчатой передачи. К люку приварена трубка-сапун 3, обеспечивающая выравнивание давления внутри кожуха с атмосферным. На нижней половине кожуха находится трубка 6, закрываемая гайкой 7 со щупом для определения уровня смазки в кожухе. Половины кожуха стянуты болтами 8.

Подвешивание двигателя к раме тележки выполнено при помощи маятникового подвешивания с упругими резиновыми шайбами (рисунок 1.15). Кронштейн 5 коробчатого типа прикреплен болтами 6 к ТЭД 7 и расположен между резиновыми шайбами 1, которые зажаты с предварительным натягом гайкой 4 между стальными шайбами 2, надетыми на подвеску 3. Головка подвески с запрессованной втулкой и валиком крепится к кронштейнам рамы тележки.

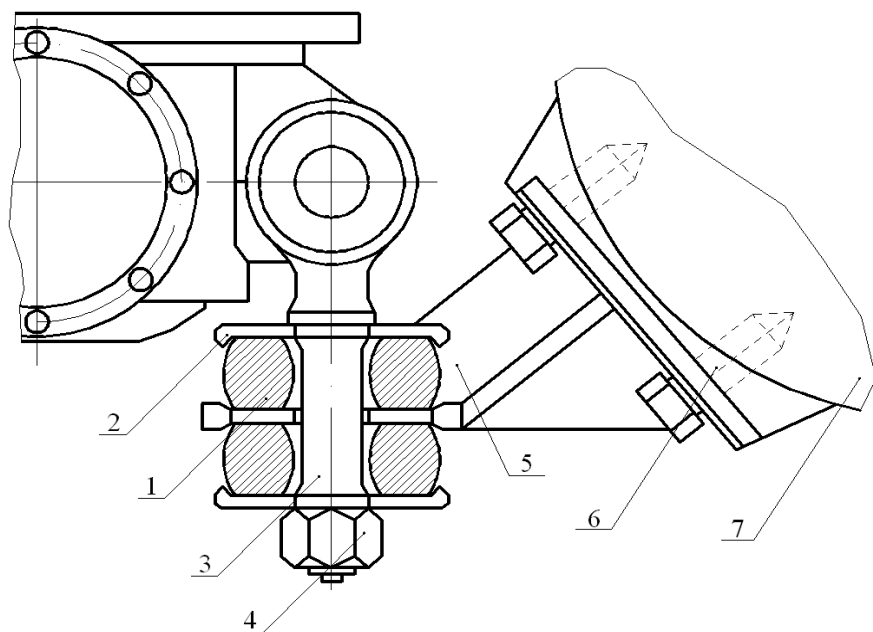


Рисунок 1.15 – Маятниковая подвеска ТЭД с упругими резиновыми шайбами

Такая подвеска обеспечивает возможность перемещения двигателя в осевом направлении. Усилия от кронштейна передаются через шайбы на верхний или нижний диск и через него на подвеску. На остова двигателя также имеется прилив, предназначенный для удержания двигателя в случае обрыва подвески.

### 1.3.2 Конструкция тяговой передачи электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Тяговая передача электровоза ЧС4<sup>Т</sup> имеет следующие характерные особенности: подвешивание ТЭД опорно-рамное, тягового редуктора – опорно-осевое; зубчатая передача односторонняя, прямозубая; ТЭД полностью подрессорен относительно рамы тележки.

Применение опорно-рамной подвески ТЭД значительно (на 25–30 %) снижает вес неподрессоренных частей, что положительно сказывается на контактной прочности рельсов. Будучи жестко закрепленными на раме тележки, тяговые двигатели при движении электровоза получают перемещение относительно колесных пар. Общий вид тягового редуктора пассажирского электровоза ЧС4-Т представлен на рисунке 1.16.

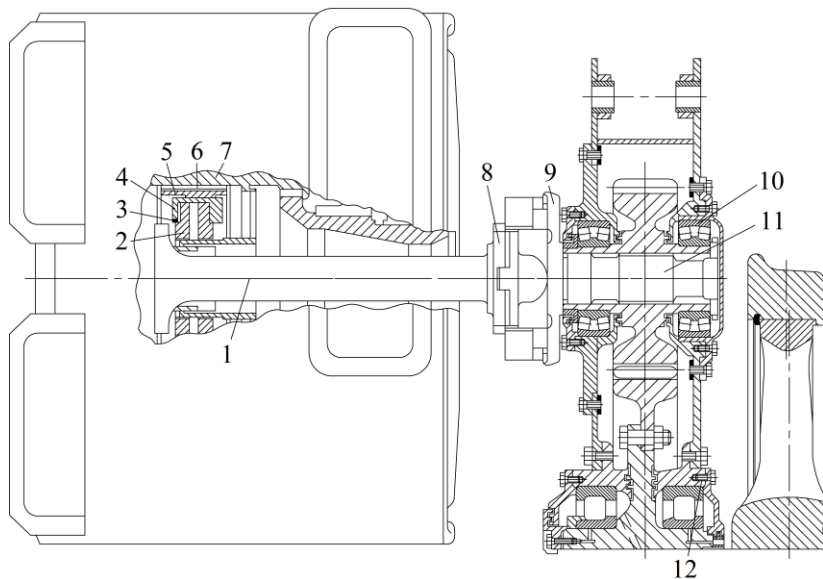


Рисунок 1.16 – Редуктор и карданная передача электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Ось шестерни установлена в подшипниках качения 10, закрепленных в корпусе редуктора. Этим достигается постоянство расстояния между осями зубчатых колес, находящихся в зацеплении (жесткая «централь»), что необходимо по условиям их удовлетворительной работы. Той же цели служит смазка: часть большого зубчатого колеса погружена в масло, находящееся в нижней части корпуса редуктора, и при вращении переносит его в зацепление. Одновременно происходит разбрызгивание масла, за счет чего осуществляется смазка подшипников качения. Для очистки масла от металлических опилок, образующихся от износа зубчатой передачи, в нижней части редуктора установлены магнитные пробки.

Корпус редуктора представляет собой жесткую конструкцию, состоящую из двух частей: верхней и нижней. Обе части цельносварные и соединяются между собой болтами: при вертикальных перемещениях рамы тележки относительно колесных пар редуктор будет поворачиваться вокруг втулки большого зубчатого колеса; при этом ось *II* шестерни получит вертикальное и горизонтальное перемещение, в результате вал ротора тягового двигателя и вал шестерни будут несоосными.

Аналогичная картина будет и при угловых перемещениях рамы тележки с закрепленными на ней тяговыми двигателями относительно продольной оси тележки (при крене). Естественно, что при указанном способе закрепления тяговых двигателей в тележке жесткое соединение шестерни с валом якоря невозможно. Поэтому в рассматриваемой конструкции передача вращающего момента от вала двигателя к шестерне осуществлена посредством карданного вала *1* с шарнирными муфтами, что обеспечивает компенсацию несоосности валов якоря и шестерни, возникающую при угловых и линейных перемещениях рамы тележки относительно колесных пар.

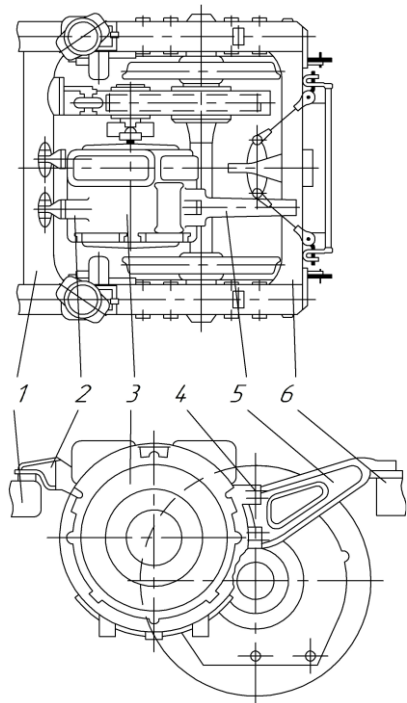


Рисунок 1.17 – Подвешивание ТЭД на электровозе ЧС4<sup>Т</sup>

Конструктивное выполнение шарнирного привода заключается в следующем: вал якоря ТЭД *7* полый, внутри вала имеется зацепление *б*, передающее вращающий момент на поршень *5* шарнирной муфты, за счет чего снимаются аксиальные нагрузки на подшипники, неблагоприятно влияющие на их работоспособность. Зацепление между внутренней полостью якоря и поршнем шарнирной муфты осуществлено на большом диаметре, что обеспечивает незначительный уровень напряжений, возникающих при передаче вращающего момента. Этим достигается необходимая долговечность узла. С поршня вращающий момент передается на шарнирную муфту.

На рисунке 1.17 показано подвешивание ТЭД на раму тележки: ТЭД *3* через кронштейны *2* и *5*, соединенные с остоном двигателя болтами *4*, опирается на поперечные балки *1* и *6* рамы тележки.

Конструкция шарнирных муфт, установленных со стороны якорного подшипника (внутренняя муфта) и со стороны шестерни (наружная муфта), аналогична.

Через крестовину и шарнирные цапфы 2 (рисунок 1.16) с игольчатыми подшипниками 4 момент с поводка, зацепленного на одной вращающейся детали, передается на поводок, закрепленный на сопряженной детали (например, поводок карданного вала 8 и поводок 9 редуктора). Поводки расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях и соединяются с шарнирными цапфами при помощи болтов 6.

При опорно-рамном подвешивании вследствие наличия упругой связи между валом якоря тягового двигателя и колесной парой в процессе движения электровоза по неровностям пути уменьшаются ударные нагрузки и улучшаются условия работы тягового двигателя и его щеточно-коллекторного узла. Уменьшение неподрессоренного веса электровоза снижает динамические нагрузки на верхнее строение пути.

### **1.3.3 Конструкция тяговой передачи электровоза БКГ-1**

Тяговая передача электровоза БКГ-1 имеет следующие характерные особенности: подвешивание ТЭД и тягового редуктора опорно-осевое, через МОП; зубчатая передача односторонняя, прямозубая; подвешивание ТЭД на раму тележки маятникового типа.

Общий вид тяговой передачи электровоза БКГ-1 показан на рисунке 1.18 и включает: тяговый двигатель переменного тока 1, зубчатую передачу, состоящую из ведущей шестерни 2 и ведомого зубчатого колеса 3, закрытые кожухом 4; ТЭД опирается на раму тележки при помощи подвески 6 и имеет защиту от падения на рельсы в случае ее обрыва. Корпус буксы МОП 5 при помощи болтов соединяется с корпусом статора электродвигателя.

Для защиты зубчатой передачи от воздействия внешней среды и исключения утечки масла ее заключают в защитный кожух (рисунок 1.19), состоящий из двух половин, плотно соединяющихся между собой при помощи болтов. Кожух редуктора крепится при помощи болтов к остову тягового электродвигателя и приливам буксы МОП. Подшипник шестерни ротора тягового электродвигателя со стороны колеса закрывается крышкой.

Верхняя 3 и нижняя 1 половины кожуха выполнены из чугуна. В верхней крышке кожуха имеются два смотровых люка 2 и 4, прижатые болтами, а в нижней крышке заправочное 5 и сливное 7 отверстие. Для контроля уровня масла в редукторе предусмотрено смотровое окно 6 с метками min и max. Смотровое окно закрыто крышкой от механических повреждений. На винтовую пробку сливного отверстия установлен магнит для очистки масла от металлической стружки.

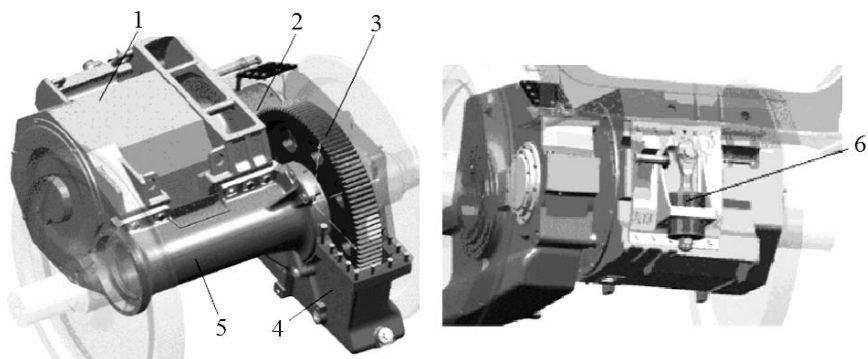


Рисунок 1.18 – Тяговая передача электровоза БКГ-1

Смазка шестерни осуществляется разбрызгиванием. Для предотвращения утечки масла из редуктора и попадания в редуктор пыли, воды и грязи в корпусе редуктора установлены лабиринтные и O-образные резиновые уплотнения.

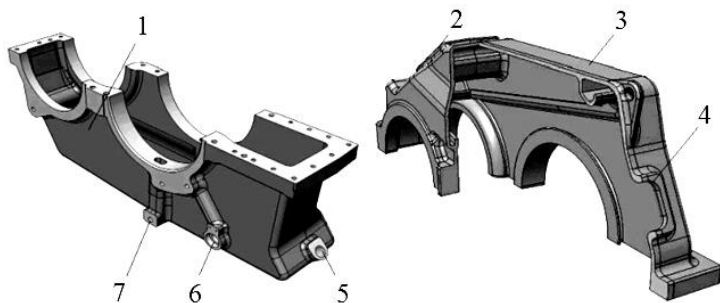


Рисунок 1.19 – Кожух зубчатой передачи

Подвешивание ТЭД на БКГ-1 опорно-осевое: двигатель с одной стороны подвешен на тележку через опору маятникового типа, а с другой – опирается на ось колесной пары через моторно-осевой подшипник.

Моторно-осевой подшипник (рисунок 1.20) закрытого типа представляет собой чугунный корпус (буксу) 6, на который опирается ТЭД. Внутри буксы МОП устанавливаются два различных конических роликовых подшипника 4 и 10. Подшипник 4 установлен во втулке 3 и закрыт от попадания грязи кольцом 1 и крышкой 2, которые образуют лабиринтное уплотнение. Заправка смазки в подшипник 4 осуществляется через пробку 5. Каждые 160–200 тыс. километров производится дозаправка масла. Подшипник 10 установлен со стороны зубчатого колеса через дистанционное кольцо 9 и уплотнен кольцом 8. Смазка подшипника осуществляется маслом от зубчатой передачи.



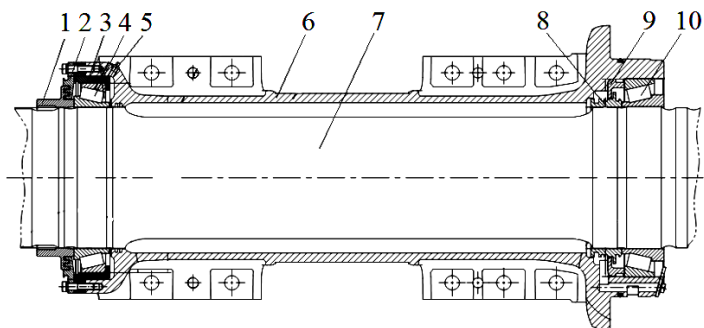


Рисунок 1.20 – Устройство моторно-осевого подшипника электровоза БКГ-1

#### 1.4 Буксовый узел

Буксовые узлы предназначены для передачи вертикальных нагрузок от рамы тележки (рамы локомотива) на шейки осей колесных пар, направляющих усилий от рельсового пути, а также сил тяги и торможения от колесных пар. Кроме того, буксовые узлы ограничивают продольные и поперечные перемещения колесной пары относительно рамы.

Конструкция буксы должна удовлетворять следующим требованиям: ограничивать перемещения рамы тележки электровоза относительно колесной пары, исключать возможность попадания в буксу посторонних предметов; обеспечивать удобство осмотра, возможность смены и заправки смазки.

По способу передачи силы тяги различают: *челюстные буксовые узлы; поводковые буксовые узлы; буксовые узлы с цилиндрическими направляющими.*

На локомотивах ранних выпусков широко распространены *челюстные буксовые узлы* (рисунок 1.21). Эти узлы имеют наиболее простую конструкцию и наименьшую стоимость. Однако им свойственны определенные недостатки. Вследствие износа направляющих возрастают продольные и поперечные перемещения колесных пар, обуславливающие увеличение виляния колесных пар в рельсовой колее. Это приводит к повышению динамических нагрузок, действующих на локомотив в горизонтальной плоскости, и износу бандажей.

*Поводковые буксовые узлы* лишены многих недостатков, свойственных челюстным (рисунок 1.22). К их достоинствам относятся: отсутствие сил трения при вертикальных перемещениях, смягчение продольных и поперечных ударов. Буксовые узлы с поводковыми направляющими выполняют двух типов: *одноповодковые* и *двухповодковые*. Двухповодковые буксовые узлы делают рессорное подвешивание более жестким. Одноповодковые буксовые узлы не имеют этого недостатка, однако они не обеспечивают достаточную жесткость колесной паре в поперечном направлении.

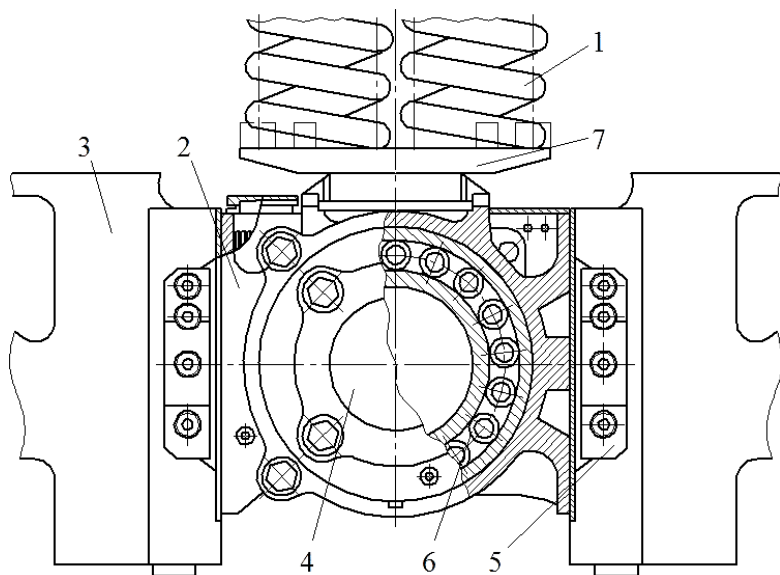


Рисунок 1.21 – Челюстная буksа:

1 – комплект пружин; 2 – корпус буksы; 3 – челюсти рамы тележки; 4 – крышка;  
5 – направляющие; 6 – подшипник качения; 7 – опора

В каждой буksе установлено по два однорядных подшипника с цилиндрическими роликами. Корпус буksы 4 имеет внизу две серьги 5, к которым с помощью валика присоединяют хомут листовой рессоры. Два боковых прилива 3 предназначены для соединения корпуса буksы с кронштейнами 1 рамы тележки через резинометаллические поводки 2.

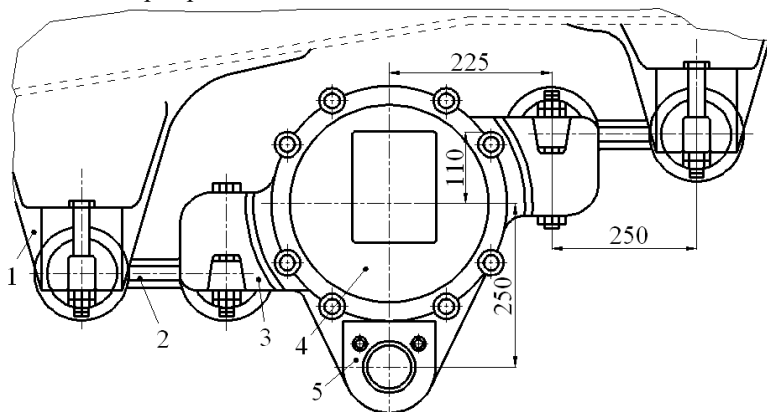


Рисунок 1.22 – Поводковая (бесчелюстная) буksа электровазa ВЛ80С

У средней оси трехосной тележки буксы снабжают устройством, допускающим поперечное перемещение колесной пары этой оси на  $\pm 15$  мм.

Буксовые узлы с цилиндрическими направляющими лишены недостатков, свойственных поводковым узлам (рисунок 1.23). Они не придают рессорному подвешиванию большей жесткости, обеспечивают необходимую жесткость при перемещении колесной пары в поперечном направлении. Существенными недостатками буксовых узлов с цилиндрическими направляющими являются их высокая стоимость и сложность в изготовлении.

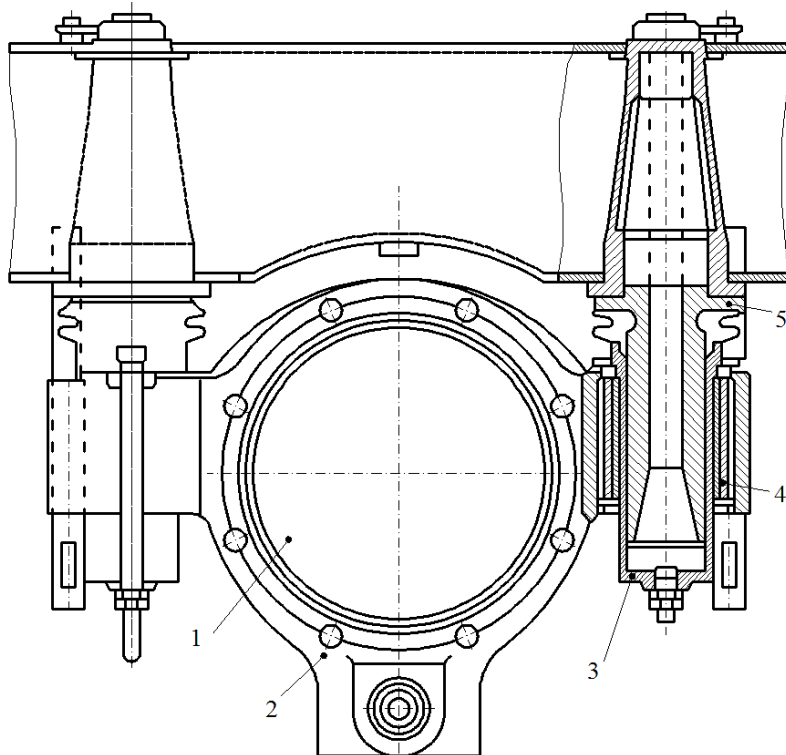


Рисунок 1.23 – Букса с цилиндрическими направляющими электровоза ЧС-2Т:

1 – крышка; 2 – корпус буксы; 3 – стакан;

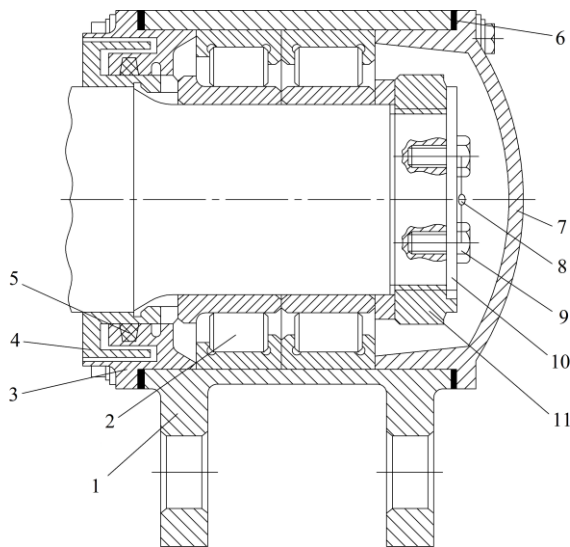
4 – резиновый амортизатор; 5 – цилиндрическая направляющая

В буксах применяют два типа подшипников: скольжения и качения. Подшипники скольжения использовали на отечественных электровозах выпуска до пятидесятых годов, а также на первых отечественных серийных тепловозах. Эти подшипники существенно повышают сопротивление движению локомотива, поэтому все локомотивы, выпускаемые в настоящее время, оборудованы буксами с подшипниками качения.

### 1.4.1 Конструкция буксового узла электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

На электровозах ВЛ80<sup>С</sup> применен буксовый узел бесчелюстного типа, в котором, в отличие от буксового узла челюстного типа, отсутствует трение (узел такого типа не требует смазки). Передача тягового и тормозного усилий в буксовом узле этого типа осуществляется через резинометаллические поводки (тяги), состоящие из стального корпуса и валликов с резинометаллическими втулками и шайбами, которые допускают перемещение буксы относительно рамы тележки вследствие упругой деформации резины как в продольном, так и в поперечном направлениях (рисунок 1.24).

На рисунке 1.24 показан корпус буксы ВЛ80<sup>С</sup>: она имеет роликовые подшипники 2, вмонтированные в её литой стальной корпус. Заднее (внутреннее) кольцо 3 плотно насажено на шейку и укреплено болтами к корпусу буксы. Лабиринтное кольцо 4, насаженное на предподступичную часть с сальником 5, препятствует выходу смазки. Спереди подшипники прижаты гайкой 11 с замочной пластинкой 10, закрепленной двумя болтами 9 с обвязкой проволокой 8. Внутренние кольца подшипников монтируют на шейке оси. Передняя крышка 7 прикреплена к корпусу буксы восемью болтами. Под крышку ставят прокладку 6 в виде крученого шнура. Внизу у корпуса буксы имеются щеки 1 с отверстиями для крепления нижней рессоры.



Боковые силы в буксе передаются через торцы роликов, бурты колец и съемное упорное кольцо. На крышке правой буксы 1-й оси по ходу движения электровоза закрепляют привод скоростемера. Пространство в буксе заполняется консистентной смазкой, общее количество которой составляет 3,5–4 кг. Избыток смазки, как и ее недостаток, вызывает нагрев буксы и усиленный износ подшипников.

Рисунок 1.24 – Буксовый узел электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

### 1.4.2 Конструкция буксового узла электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

На электровозах ЧС4<sup>Т</sup> применен буксовый узел бесчелюстного типа, общий вид которого показан на рисунке 1.33. Корпус буксы показан на рисунке 1.25: на шейку оси колесной пары напрессованы два однорядных подшипника с цилиндрическими роликами 1 и 14. Между подшипниками установлены кольца 4. Задний подшипник 1 торцом внутреннего кольца упирается в лабиринтное кольцо 3, напрессованное на подступичную часть оси. Лабиринт, образованный лабиринтным кольцом и задней крышкой буксы 2, предотвращает утечку консистентной смазки из подшипника и попадание в него пыли и влаги. Между передней крышкой 7 и корпусом буксы с той же целью проложен уплотняющий шнур 12.

Передний подшипник 14 зафиксирован от аксиального (поперечного) смещения стопорной гайкой 8 через фасонное упорное кольцо 6. От самоотвинчивания гайка удерживается фиксирующей планкой 11, которая при помощи болтов 9 крепится к торцу оси. Те же болты используются для крепления деталей приводов скоростемера 10 и заземлителей. На подшипники устанавливается корпус буксы 13, который в нижней части выполнен в виде вилки для крепления балансира. На корпусе буксы имеются приливы с трапециевидной выемкой для крепления поводков, а также ограничители аксиальных и вертикальных перемещений буксы относительно рамы тележки. Задняя и передняя крышки соединяются с корпусом при помощи болтов 5, вворачиваемых в корпус буксы.

В передней крышке имеется концентрическое отверстие, открывающее доступ к смазочному пространству подшипника.

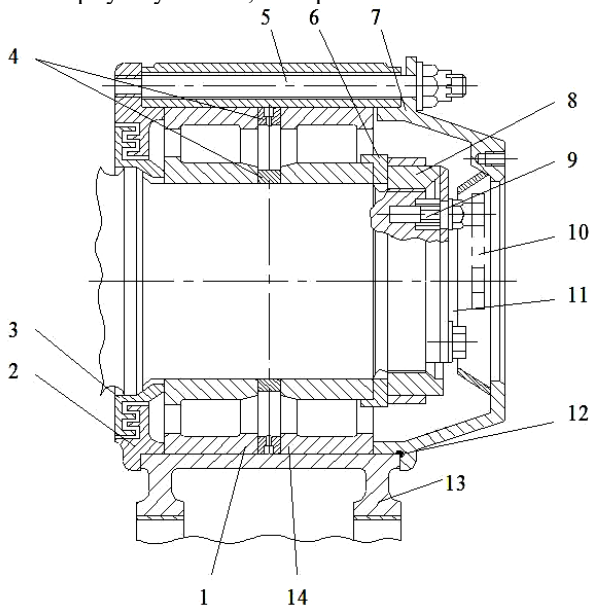


Рисунок 1.25 – Буксовый узел электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

### 1.4.3 Конструкция буксового узла электровоза БКГ-1

На электровозах БКГ-1 применен буксовый узел бесчелюстного типа, общий вид которого показан на рисунке 1.26.

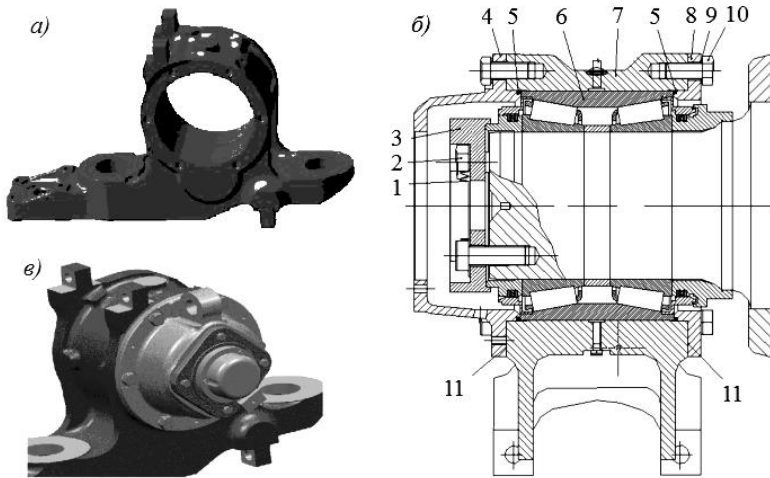


Рисунок 1.26 – Буксовый узел электровоза БКГ-1:

*a* – корпус буксы; *б* – букса в разрезе; *в* – букса в сборе;

1, 9 – стопорная шайба; 2, 10 – болт; 3 – осевой упор; 4 – передняя крышка; 5 – резиновое уплотнительное кольцо; 6 – подшипник; 7 – корпус буксы; 8 – задняя крышка; 11 – герметик

Буксовый узел состоит из корпуса буксы 7, выполненного из чугуна. На корпусе буксы различают большой и малый приливы для размещения элементов подвески первой ступени, расположенные в нижней части. Внутри корпуса буксы размещается конический двухрядный необслуживаемый подшипник 6.

С внутреннего торца букса закрыта кольцом, насаженным на ось, и задней крышкой 8. Выточки в кольце и крышке образуют лабиринт, препятствующий попаданию в полость буксы пыли, инородных тел и вытеканию смазки из буксы. Как с передней стороны буксы, так и с задней под крышками 4 и 8 ставят уплотнения из резиновых колец.

С наружной стороны букса закрыта передней крышкой 4, на которой имеется прилив для установки монтажного кольца. Под крышкой установлен осевой упор 3, закрепленный на оси при помощи болтов 2. Пространство между задней крышкой и подшипником, между подшипником и передней крышкой, а также в самих подшипниках заполняется смазкой.

Также, на различные буксы установлены заземляющее устройство, датчик скорости, датчик температуры, опора для трубы песочницы.

## 1.5 Рессорное подвешивание на локомотивах

ОпираНИЕ частей тележки и кузова с оборудованием осуществляется через упругие элементы рессорного подвешивания. Современные локомотивы имеют двухступенчатое рессорное подвешивание. *Задача подвешивания* – организация колебаний подрессоренных частей, за счет чего время взаимодействия их с неподдресоренными при толчке от неровностей пути растягивается во времени. Этим уменьшается ускорение подрессоренных масс, снижается сила инерции и уменьшается ответная реакция взаимодействия подрессоренных частей с неподдресоренными. Одновременно за счет работы демпферов подвешивание обеспечивает гашение этих колебаний. Кроме этого, рессорное подвешивание служит для равномерного перераспределения нагрузок от кузова на колесные пары (балансиры, поводки).

**Первая ступень подвешивания:** буксовый узел, как часть *первой ступени* рессорного подвешивания, является промежуточным эластичным звеном между рамой тележки и колесными парами, его назначение – смягчать удары, передаваемые кузову электровоза от неровностей пути, передавать вес кузова и тележек на отдельные колесные пары и выравнивать нагрузки на колесные пары, а также уменьшать воздействие электровозов на путь. Она может быть *независимым* и *сбалансированным* (сопряженным).

Если нагрузка рамы тележки передается на каждую буксу через отдельные эластичные элементы (рессоры, пружины, резинометаллические блоки), не связанные с эластичными элементами других колесных пар, то такое подвешивание называется *независимым*. При независимом подвешивании давление колес на рельсы зависит от колебаний надрессорного строения, правильности развески, состояния элементов подвешивания и других факторов (неравенство нагрузок ухудшает использование сцепного веса, ограничивает величину развиваемой электровозом силы тяги). Для равномерного распределения нагрузок по колесным парам одной тележки эластичные элементы подвешивания соединяют между собой балансирами (ВЛ60) – *сбалансированное*.

**Вторая ступень подвешивания:** вес кузова (вертикальная нагрузка) передается на рамы тележек через системы опор: *систему люлечного подвешивания* или *систему боковых опор* трения. *Люлечное подвешивание*, помимо передачи вертикальных сил от кузова на тележки, также воспринимает и передает горизонтальные поперечные усилия, возникающие под действием ветра, центробежных сил и др. Известно, что центробежные силы, как правило, возникают при вписывании электровоза в кривые участки пути, следовательно, наличие люлечного подвешивания обеспечивает плавный вход экипажа в кривые и выход из них. При отклонении кузова от центрального положения люлечное устройство создает усилия, возвращающие его в исходное положение.

### 1.5.1 Подвешивание электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Подвешивание электровоза ВЛ80<sup>С</sup> – двухступенчатое: первая ступень включает в себя пружины и листовые рессоры; вторая ступень выполнена в виде люлечного подвешивания.

**Конструкция буксового узла электровоза ВЛ80<sup>С</sup>.** Первая ступень рессорного подвешивания (рисунок 1.27) состоит из листовой рессоры 4, шарнирно подвешенной к нижней части буксы, и винтовых цилиндрических пружин. Пружина 1 через подкладку 6 опирается на конец рессоры, а через гайку 7 – на стойку 5, шарнирно сочлененную с кронштейном рамы тележки.

Рессора набрана из 10 листов пружинной стали сечением 16×120 мм, соединенных хомутом 2, имеющим отверстие под валик 3 для подвешивания к буксе. Пружины изготовлены из прутка диаметром 42 мм, имеют 2,5 рабочих витка, наружный диаметр пружины 204 мм.

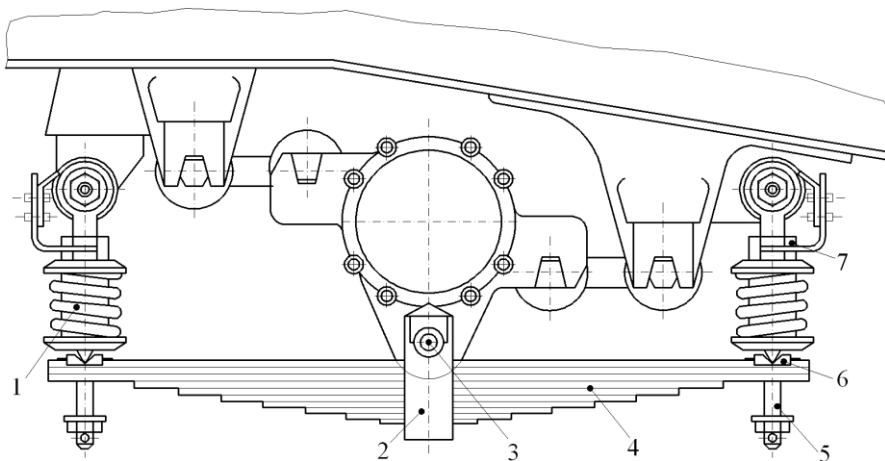


Рисунок 1.27 – Рессорное подвешивание (первая ступень) электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Наличие в системе листовой рессоры с внутренним трением обеспечивает некоторое демпфирование колебаний в первой ступени подвешивания.

При прохождении электровоза по неровностям пути удары от колеса на неподрессоренное строение передаются через буксу, листовую рессору и пружину.

**Устройство второй ступени подвешивания.** Вторая ступень рессорного подвешивания на электровозе ВЛ80<sup>С</sup> выполнена в виде люлечного подвешивания (рисунок 1.28) состоит из двух узлов: верхнего, конструктивно связанного с рамой тележки, и нижнего, связанного с рамой кузова. Оба узла объединены одним стержнем 8. Кузов своими кронштейнами 7 и балан-



сиром 6 опирается через шарнирный узел на гайку 2, зафиксированную шплинтом 1. Нижний, а также верхний шарнирный узел, на который опирается направляющий стакан 9 и пружина 11, состоит из двух опор 3 и 5 с кулачками, расположенными по отношению друг к другу под углом 90°, и находящейся между ними прокладки 4 со впадинами.

Вертикальная нагрузка от кузова по стержню через съемную шайбу 12 на его верхнем конце, пружину 11, фланец стакана 9 и верхний шарнир передается через кронштейн 13 на раму тележки. Следовательно, в такой системе вертикальные нагрузки от кузова упруго передаются на тележки электровоза.

Система нижнего и верхнего шарнирных узлов обеспечивает перемещение кузова относительно тележки в поперечном направлении, а также поворот тележек под кузовом.

Поперечные отклонения кузова от центрального положения ограничиваются двумя горизонтальными упорами (рисунок 1.29), которые состоят из крышки 1, пружины 2, корпуса 3 и регулировочных прокладок 4, позволяющих выдерживать зазор относительно рамы тележки равным  $15 \pm 3$  мм.

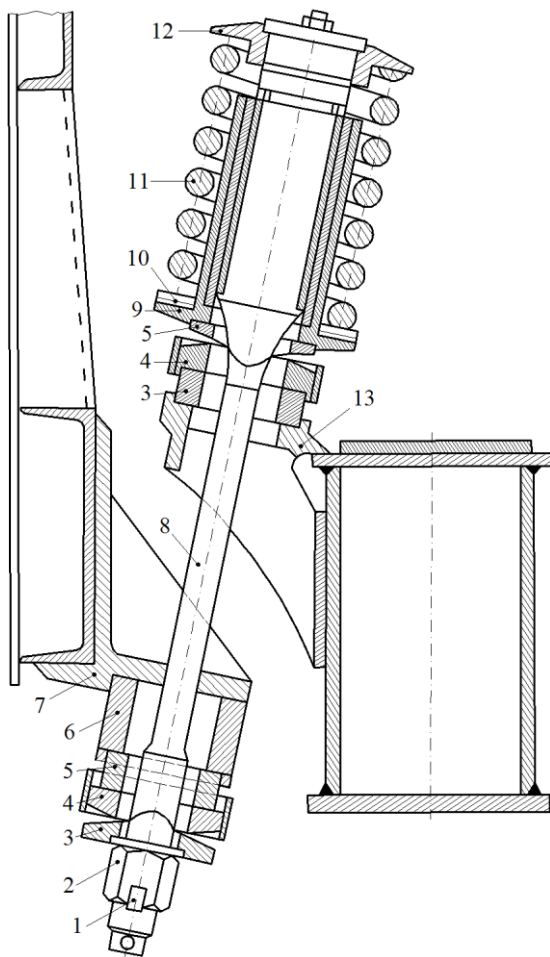


Рисунок 1.28 – Люлочное подвешивание (вторая ступень) электровоза ВЛ80С

Возвращающее усилие, создаваемое люлечным подвешиванием, остается постоянным до тех пор, пока отклонение кузова соответствует воздушному зазору, а затем увеличивается под действием упругих свойств упора.

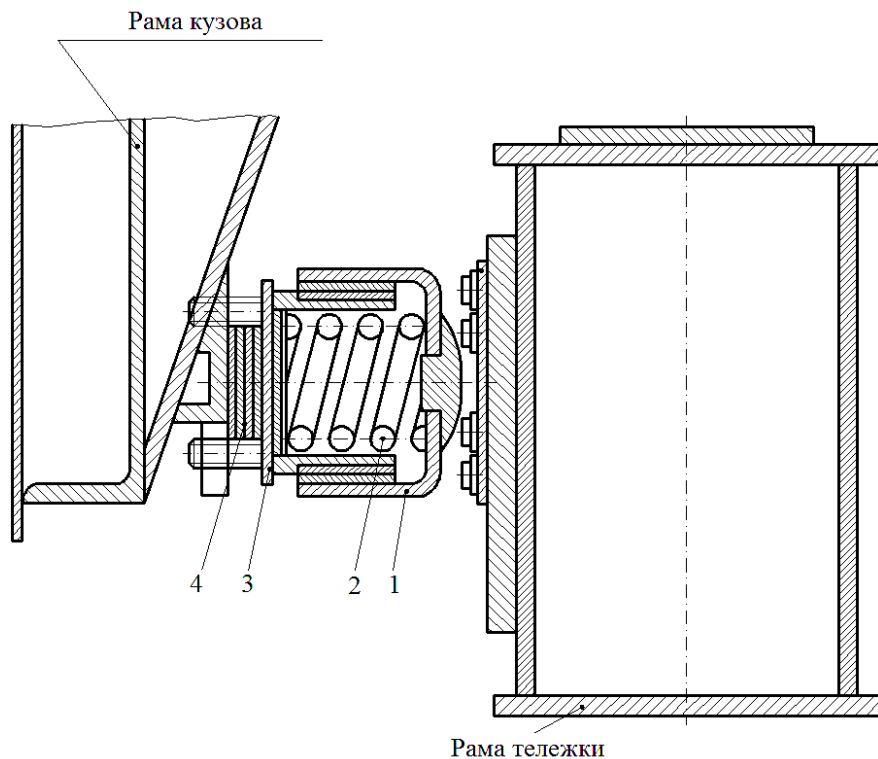


Рисунок 1.29 – Горизонтальные упоры люлечного подвешивания

**Шкворневой узел электровоза ВЛ80С.** Шкворневой узел предназначен для передачи продольных (тяговых и тормозных) усилий от тележки на кузов электровоза, а также горизонтальных поперечных усилий, обеспечивая плавный вход экипажа в кривые и выход из них. Вертикальные усилия эти узлы не передают.

**На электровозах с люлечным подвешиванием центральный шкворневой узел выполняется без противоотносного аппарата,** поскольку поперечные перемещения передаются люлечным подвешиванием.

Шкворневой узел на электровозах без люлечного подвешивания (рисунок 1.30) состоит из центрального шкворня, шаровой связи и противоотносного устройства.

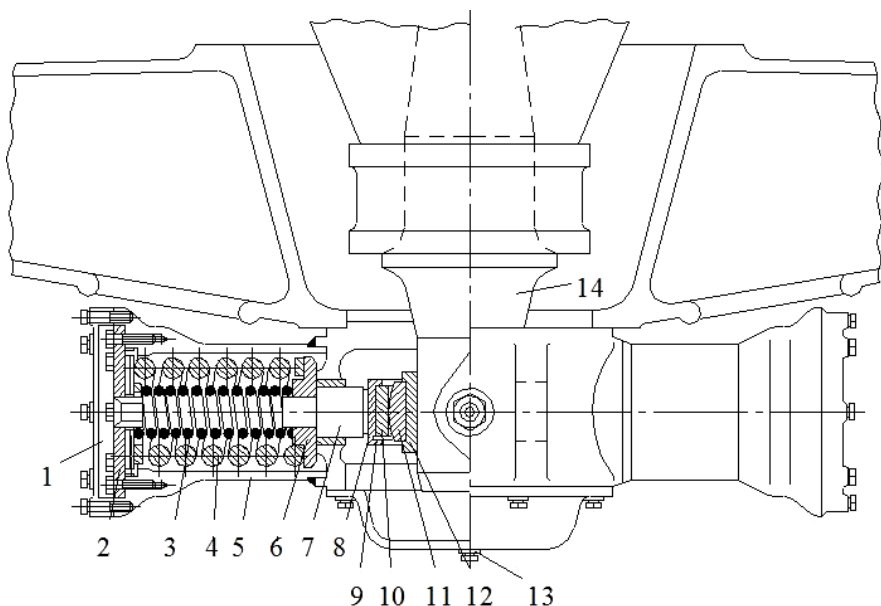


Рисунок 1.30 – Шкворневой узел электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Один конец шкворня *14* запрессовывается в кузов с усилием около 600 Н, второй конец шкворня свободно входит во втулку *12*, запрессованную в отверстие шара *11*, который может поворачиваться во вкладыше *10*, установленном в корпусе *8* и зафиксированном стопорным кольцом *9*. Корпус *8* воздействует на упор *7* и через него на опорные шайбы *6*. Между шайбами *6* и *2* находятся пружины *3* и *4*, расположенные в стакане *5*. Стакан закрыт крышкой *1*. Предварительный натяг пружин создается усилием 23 кН и регулируется прокладками, установленными между пружинами и шайбами *2*.

Конец шкворня в гнезде шкворневой балки рамы тележки имеет вместе с вкладышем поперечный разбег в направляющих балки по 30 мм в каждую сторону. Поперечный разбег обеспечивает возможность перемещения кузова в поперечном направлении, вследствие чего уменьшается боковое давление на рельсы, обусловленное массой кузова, особенно при вписывании электровоза в кривые. Вследствие первоначального натяга пружины стремятся установить шкворень в среднее положение. Максимальное возвращающее усилие пружин достигает 55 кН.

Все внутреннее пространство гнезда шкворня заполняют маслом. Крышки снабжены уплотнительными прокладками, предотвращающими вытекание масла, а для его спуска в центре крышки поставлена пробка *13*.

**Противоразгрузочное устройство электровоза ВЛ80<sup>С</sup>.** С целью выравнивания нагрузок на колесные пары при трогании электровоза, и, как следствие, повышения использования сцепного веса применяют *противоразгрузочное устройство* (рисунок 1.31).

Оно состоит из цилиндра 10, укрепленного на кронштейне буферного бруса кузова, и рычага 8, верхний конец которого шарнирно крепится валиком 7 к кронштейну 5, установленному на кузове. Внизу рычаг 8 соединен со штоком цилиндра валиком 9. На верхнем другом конце его установлен ролик 6, через который передаются нагрузочные усилия на специальные планки, расположенные на концевых поперечных балках рам тележек. Чтобы валик 1 ролика не мог выпасть, установлена планка 2, закрепленная болтами 3 и проволокой 4, проходящей через отверстия головок болтов.

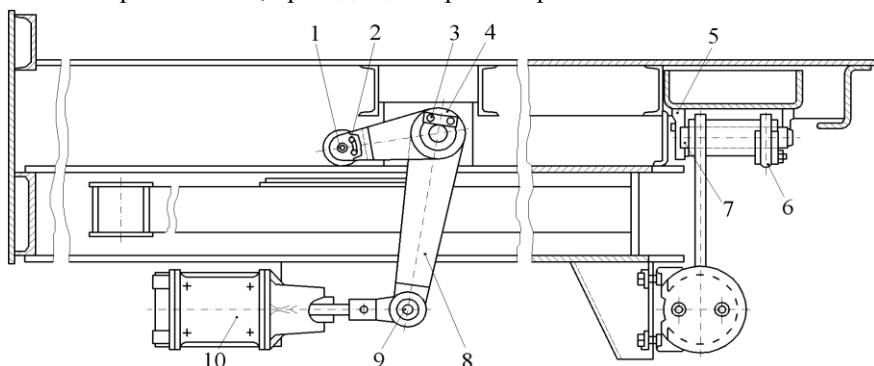


Рисунок 1.31 – Противоразгрузочное устройство

Всего на электровозе установлено четыре противоразгрузочных устройства, из которых одновременно работают два. При движении электровоза в работу включают передние по ходу тележек противоразгрузочные устройства, а задние выключаются (рисунок 1.32).

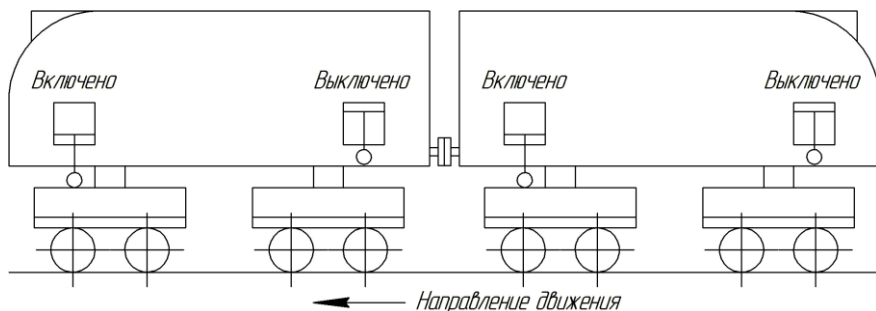


Рисунок 1.32 – Схема включения противоразгрузочных устройств в тяговом режиме

### 1.5.2 Подвешивание электровоза ЧС4Т

Подвешивание электровоза ЧС4Т – двухступенчатое: первая ступень включает в себя пружины и гидродемпферы (гидравлические гасители колебаний); вторая ступень выполнена с использованием боковых опор.

**Устройство первой ступени подвешивания.** Колесная пара со смонтированными на ней буксами крепится к раме тележки при помощи балансира 2, витых пружин 13 первичного рессорного подвешивания (рисунок 1.33) и поводков 8, через которые тяговые усилия, реализуемые в контакте колеса с рельсом, передаются на раму тележки.

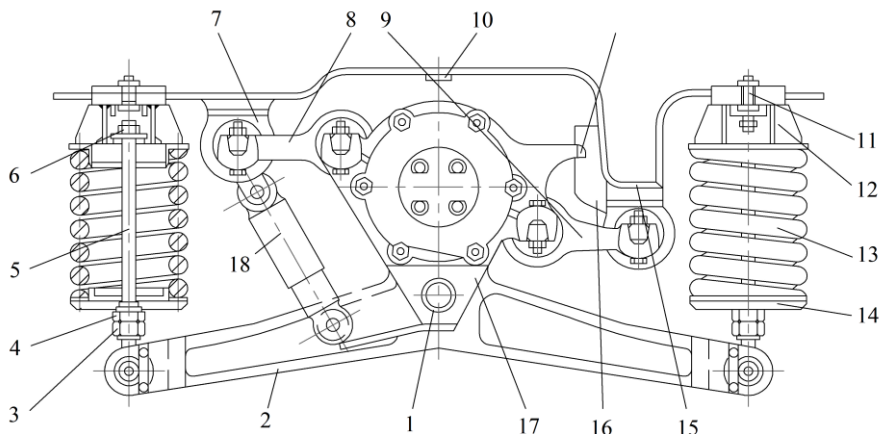


Рисунок 1.33 – Буксовый узел электровоза ЧС4Т с рессорным подвешиванием

Жесткость пружин в сочетании с жесткостью резиновых элементов, через которые поводки закрепляются на корпусе буксы 17 и кронштейнах 7, 15, определяют характеристики упругой связи колесной пары с рамой тележки. От этих характеристик в значительной степени зависят динамические качества локомотива, поэтому их выбору уделяется большое внимание.

Подбуксовый балансир 2 представляет собой поковку (кусочек металла, обработанный ковкой), обработанную до необходимых размеров в местах соединения с другими деталями. Он симметричен и средней своей частью с помощью валика 1 закреплен в вилке корпуса буксы.

Упругие перемещения буксы относительно рамы тележки ограничивают жесткие упоры 9, 10 и 16. Для гашения колебаний, возникающих в первой ступени рессорного подвешивания между балансиром и кронштейном, на раме тележки установлен гидравлический амортизатор 18 – гидродемпфер.

От перемещения в аксиальном направлении валик фиксируется стопорной планкой. Стопорную планку вставляют в паз, выфрезерованный в валике, и крепят болтами к корпусу буксы. Окончание балансира в свою очередь

в плане имеет форму вилки, в которой также с помощью валика, фиксированного стопорной планкой, крепятся монтажные штоки 5. Последние по своей длине имеют два участка с винтовой резьбой – на верхнем конце и в месте крепления к балансиру. На верхнем конце устанавливают монтажную гайку 6, выполненную заодно с шайбой. По резьбе в районе крепления может двигаться регулировочная гайка 4 с контргайкой 3. На регулировочной гайке покоится тарелка 14, являющаяся нижней опорой витой буксовой пружины 13. Верхней опорой пружины служит коробка 12, сваренная из листового стали. Коробка крепится к раме тележки за выступы нижнего горизонтального листа боковины и удерживается в фиксированном положении силами трения, развивающимися в местах прилегания коробки к горизонтальному листу боковины при затяжке клина 11.

Установка дополнительной съемной опоры (коробки) 12 преследует в данной конструкции две цели: исключается ослабление сечения боковины рамы тележки за счет отверстия под шток в нижнем горизонтальном листе, которое было бы необходимо при установке пружины непосредственно на боковину; создаются определенные удобства при демонтаже пружин, а также при работах, требующих заклинки буксовой ступени рессорного подвешивания.

Пружины буксового узла изготовлены из круглого прутка диаметром 42 мм. После навивки путем шлифовки поверхностей прилегания замыкающих витков добиваются их взаимной параллельности и равномерности. Номинальная высота пружины – 458 мм.

Буксовый поводок 1 (рисунок 1.34) представляет собой деталь, отличную из стали и обработанную до необходимых размеров; конец поводка, закрепляемый на кронштейне рамы тележки с помощью разрезного фиксирующего кольца 5, выполнен в виде вилки, на концах которой сделаны выточки трапециевидальной формы. Со стороны, прикрепляемой к буксе 6, поводок имеет цилиндрическую проушину, в которой монтируется сайлентблок 2. Вторым сайлентблок 4 того же поводка устанавливается в проушине 3 кронштейна. Жесткость поводковой группы в вертикальном направлении включена параллельно с жесткостью пружин, т. е. увеличивает жесткость буксового подвешивания. Следовательно, она должна быть минимальной.

Для того чтобы избежать возможных перекосов осей колесных пар (отклонений от перпендикулярного к продольной оси тележки положения) под действием сил тяги и продольных сил трения, возникающих при движении локомотива в контакте колеса с рельсом, продольная жесткость буксового узла и, следовательно, поводковой группы должна быть достаточно большой.

В поперечном (осевом) направлении жесткость поводковой группы выбирают в зависимости от характеристик имеющейся поперечной связи

кузова с тележками, однако она не должна быть большой, в противном случае локомотив будет чувствительным к горизонтальным неровностям пути.

Сайлентблоки буксовой поводковой группы состоят из двух частей (см. рисунок 1.34): фланцевой 4 и цилиндрической 2. Цилиндрический сайлентблок обеспечивает требуемую жесткость в продольном горизонтальном направлении. Резина установлена с тугой посадкой (запрессована). Это обеспечивает в ней предварительную деформацию сжатия, препятствующую возникновению при работе напряжений растяжения, наиболее опасных с точки зрения ее долговечности.

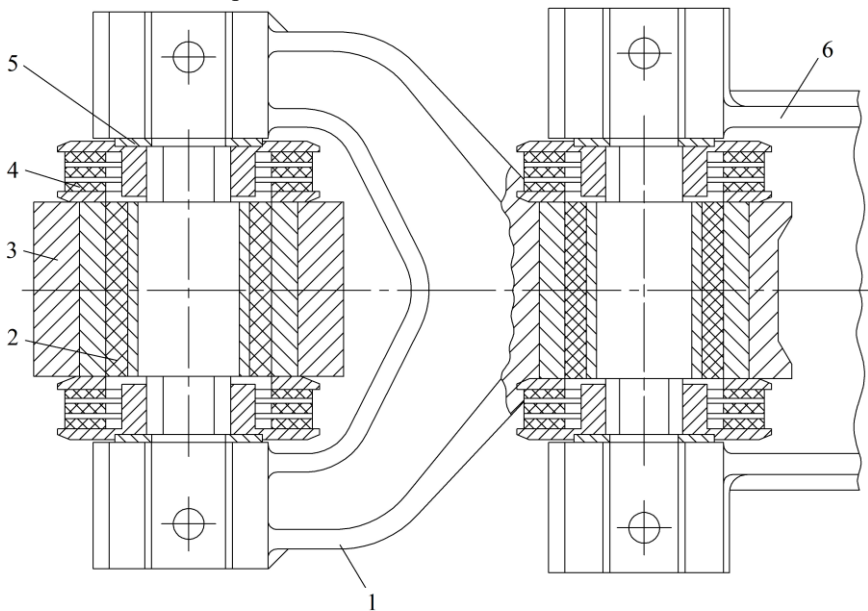


Рисунок 1.34 – Буксовый поводок электровоза ЧС4<sup>Г</sup>

При работе на продольные усилия цилиндрические сайлентблоки одного поводка включены последовательно; поводки одной буксы между собой – параллельно. Таким образом, жесткость поводковой группы в продольном горизонтальном направлении равна жесткости одного цилиндрического сайлентблока.

Кроме того, его резиновые элементы, работая на скручивание, оказывают сопротивление при вертикальных перемещениях буксы относительно рамы тележки. В конструкции фланцевого сайлентблока применена резина с небольшой твердостью, чем достигается сравнительно небольшая жесткость поводковой группы в вертикальном направлении.

**Гидродемпфер буксового узла электровоза ЧС4<sup>Г</sup>.** Гидродемпферы служат для снижения амплитуд колебания локомотива при скоростях движения, близких к резонансной, и ограничения их при резонансе. Он состоит из (рисунок 1.35) наполненного вязкой жидкостью цилиндра 1, в котором движется поршень 2, снабженный отверстиями 7. Поршень штоком 5 соединен с телом 3, обладающим некоторой массой, подвешенным на пружине 4. В случае возбуждения вертикальных колебаний тела 3 поршень будет перемещаться вдоль образующих цилиндра, при этом жидкость из объема 6 будет перекачиваться в объем 8 (и наоборот) через отверстия 7.

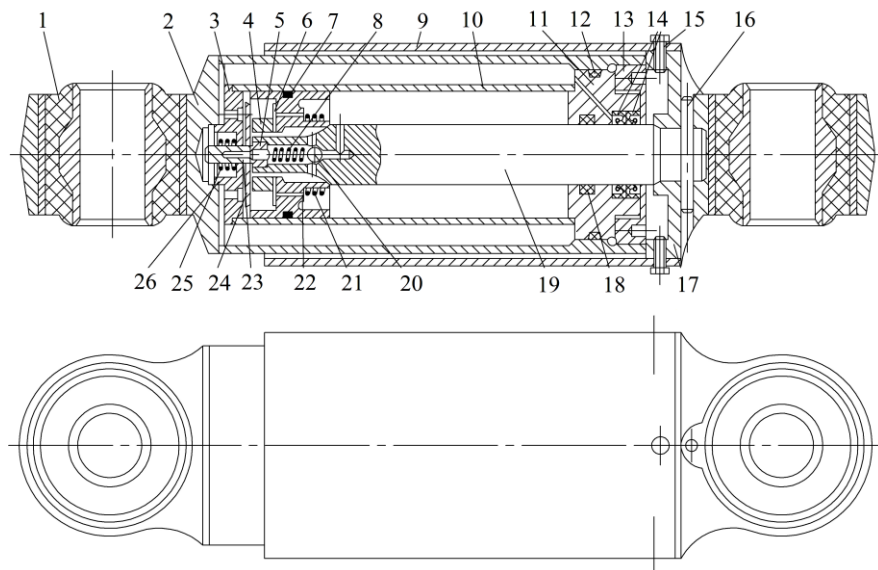


Рисунок 1.35 – Гидродемпфер Н7К

Сопротивление движению поршня (вязкое трение) пропорционально скорости его перемещения. Коэффициент пропорциональности зависит от многих факторов, в частности от площади поршня, коэффициента вязкости жидкости, длины, диаметра и числа отверстий. При прохождении колесом короткой неровности, например рельсового стыка, скорость перемещения буксы может быть очень высокой. Развивающиеся при этом большие силы сопротивления в гидродемпфере нежелательны по двум причинам: во-первых, они жестко передаются на подрессоренные части конструкции, сводя к нулю роль упругих элементов подвешивания, что сказывается как на плавности хода электровоза, так и на прочности его экипажной части; во-вторых, они становятся опасными с точки зрения работоспособности и прочности самого гидродемпфера.



Рабочий цилиндр 10 с одной стороны закрыт корпусом всасывающего клапана 3, а с другой – подшипником 11 со втулкой, снабженной специальными уплотняющими кольцами 14 и 18. В цилиндре 10 перемещается поршень 6, имеющий уплотняющее чугунное кольцо 7. Поршень закреплен гайкой 4 на поршневом штоке 19. Поршневой шток для повышения его износостойкости при трении в подшипнике хромирован, после чего отшлифован и отполирован под размер, обеспечивающий надежное уплотнение. На верхнем конце поршневого штока резьбой и штифтом 16 закреплен подвес 17 с сайлентблоком 1, которым гидродемпфер крепится к раме тележки. На подвесе болтами 15 закреплен предохранительный кожух 9 гидродемпфера. Рабочий цилиндр вставлен в корпус 2 демпфера.

В нижней части корпуса имеется гнездо с вмонтированным в него сайлентблоком, который является элементом соединения гидродемпфера с корпусом буксы колесной пары. Корпус всасывающего клапана вставлен в выфрезерованное в теле корпуса демпфера гнездо и прижат рабочим цилиндром. Вся система, неподвижно соединенная с корпусом гидродемпфера, закрепляется в фиксированном состоянии фасонной гайкой 13. Промежуточное кольцевое пространство, образованное рабочим цилиндром и корпусом демпфера, служит запасным или уравнивающим резервуаром для жидкости. Для предупреждения утечки жидкости из уравнивающего резервуара подшипник 11 снабжен уплотнителем 12. В корпусе всасывающего клапана имеются калиброванные отверстия (каналы), объединенные круговой выточкой. Каналы свободно сообщаются с уравнивающим резервуаром. Со стороны выточки отверстия закрыты тарелкой 24, в которой также имеются калиброванные отверстия, но меньшего диаметра, а сама тарелка прижата к корпусу клапана заплечиками штифта.

Пружина 25, установленная между корпусом всасывающего клапана и кольцом 26, зафиксированным на шрифте 23, обеспечивает нормальное положение тарелки 24, при котором полость уравнивающего резервуара не сообщается с объемом рабочего цилиндра. Поршень также оснащен клапаном, конструкция которого идентична с конструкцией всасывающего клапана. На рисунке 1.35 поршень изображен в нижнем крайнем положении. Ход поршня 115 мм. В рабочем положении поршень находится на расстоянии 50 мм от корпуса всасывающего клапана. Пространство над поршнем и под ним заполнено маслом. Наличие резиновых сайлентблоков в некоторой степени облегчает работу гидродемпфера при нагрузках, по характеру близких к ударным. Резина, обладая упругостью, частично компенсирует «жесткость» импульса, растягивая его по времени, т. е. делая более плавным нарастание действующей на демпфер силы. Кроме того, резина защищает гидродемпфер от высокочастотных вибраций, возникающих на необрессоренных частях конструкции.

**Устройство второй ступени подвешивания.** Масса кузова делится поровну между тележками и передается на каждую из них в четырех точках через упругие опоры (рисунок 1.36), регулировка которых производится натяжными болтами 1, с помощью которых направляющая опоры 2 может перемещаться относительно гнезда, сваренного в балку-плечо. Головка натяжного болта, ввернутого в тело гнезда, находится под действием упругих сил пружин. На головку болта в статике приходится сила, равная половине нагрузки на опору. Поскольку динамические силы всегда меньше статической нагрузки, головки болтов никогда не разгружаются до нуля, т. е. перемещение направляющей опоры вдоль оси болта невозможно. При этом нагрузка от кузова на тележку передается последовательно через натяжные болты 1, направляющую опоры, комплект пружин 3 и 4, собственно опоры 7 и вкладыш 8, опирающийся на скользящий 9 тележки.

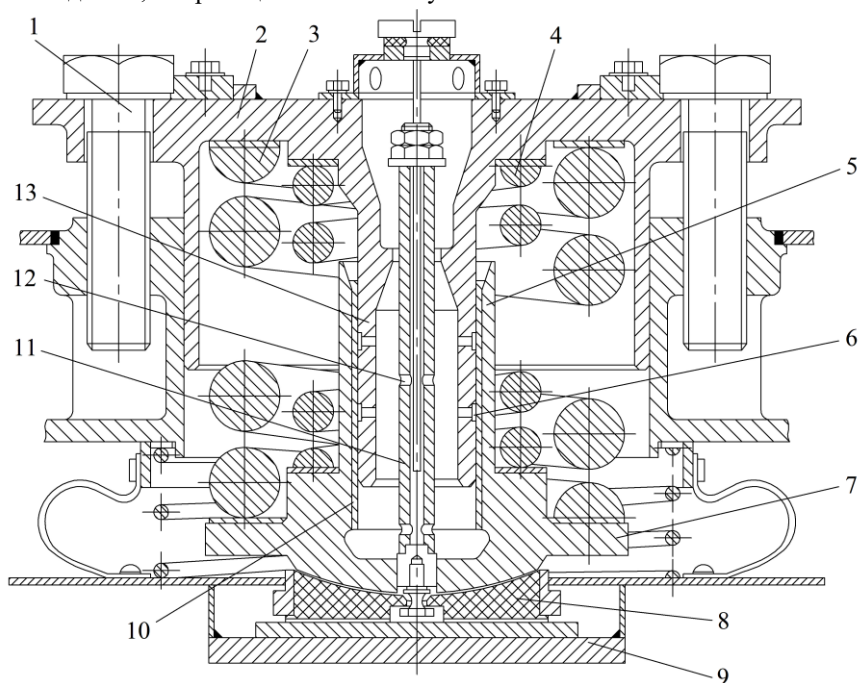


Рисунок 1.36 – Боковая опора кузова электровоза ЧС4<sup>Г</sup>

При вертикальных относительных перемещениях «тележка-кузов» цилиндрическая часть направляющей опоры 13 скользит вдоль стакана опоры 5, внутрь которого вставлена сменная втулка 10. К поверхности трения через каналы 6 подается смазка. Смазка заливается через трубку 11, из кото-

рой через отверстия 12 попадает в полость направляющей опоры. На электровозах ЧС4<sup>Т</sup> выпукло-сферическую поверхность имеет не вкладыш, а опора, что способствует удержанию смазки в зоне их контактирования и самоустановки опоры при боковой качке и галопировании тележки.

При горизонтальных перемещениях кузова относительно тележки вкладыш движется по скользуну. Развивающиеся при этом силы трения демпфируют горизонтальные колебания локомотива. Пара скользящих помещена в масляную ванну, закрепленную на боковине рамы тележки. Горизонтальные перемещения в скользунах ограничиваются зазорами между боковинами рамы тележки и упругими резиновыми упорами, установленными на внутренних вертикальных станках боковин рамы кузова.

**Шкворневой узел электровоза ЧС4<sup>Т</sup>.** Шкворень передает только горизонтальные силы (от тяги и торможения), возникающие между кузовом и тележкой, и горизонтальные колебания локомотива (рисунок 1.37). Продольные силы передаются шкворнем жестко. С целью улучшения горизонтальной динамики в поперечном направлении обеспечены упругие линейные перемещения.

В шкворневую балку кузова 8 вварено гнездо шкворня 9. Сам шкворень 1 запрессован в гнездо 2 по двум цилиндрическим поверхностям. Через опорную шайбу 10 осуществляется дополнительная затяжка шкворня гайкой 11. Гайка стопорится планкой 12. Связь шкворня с рамой тележки осуществляется через шкворневую коробку 6, внутри которой имеются направляющие. По ним в поперечном по отношению к тележке направлении может перемещаться скользящий 15. Скользящий состоит из двух частей, соединенных между собой шпильками 20, что позволяет замонтировать в нем шаровой подшипник 7. Сквозное отверстие в нем является посадочным местом для цилиндрической части шкворня. Шаровой подшипник обеспечивает свободные угловые перемещения кузова относительно тележек (или наоборот), возникающие при колебаниях локомотива, в продольной и поперечной вертикальных плоскостях.

Перемещению скользун в поперечном направлении (вдоль направляющих) противодействует упругая сила пружинных комплектов. Каждый комплект состоит из двух витых пружин: наружной 4 и внутренней 5.

Пружины установлены в горизонтальном положении и размещены в свободном пространстве шкворневой коробки между скользуну и упорными прокладками 17. Установку и объем комплектов пружин производят через отверстия в шкворневой коробке, закрываемые крышками 18. Крышки крепят шпильками 16, ввернутыми в тело коробки.

Весь возвращающий аппарат погружен в масляную ванну, которую образует шкворневая коробка, закрытая снизу поддоном 2. Крепление поддона осуществлено с помощью болтов 3. Между корпусом коробки и поддоном установлена уплотняющая прокладка 19, предупреждающая просачивание

масла. В поддоне имеется смотровой люк, закрытый крышкой 1, которая удерживается болтами 21. Между крышкой и поддоном также имеется уплотняющая прокладка. Масло из масляной ванны сливают через отверстие в крышке люка, для чего необходимо вывернуть болт-пробку 22. Гибкий кожаный чехол 15, закрывающий масляную ванну сверху, защищает ее от пыли и влаги.

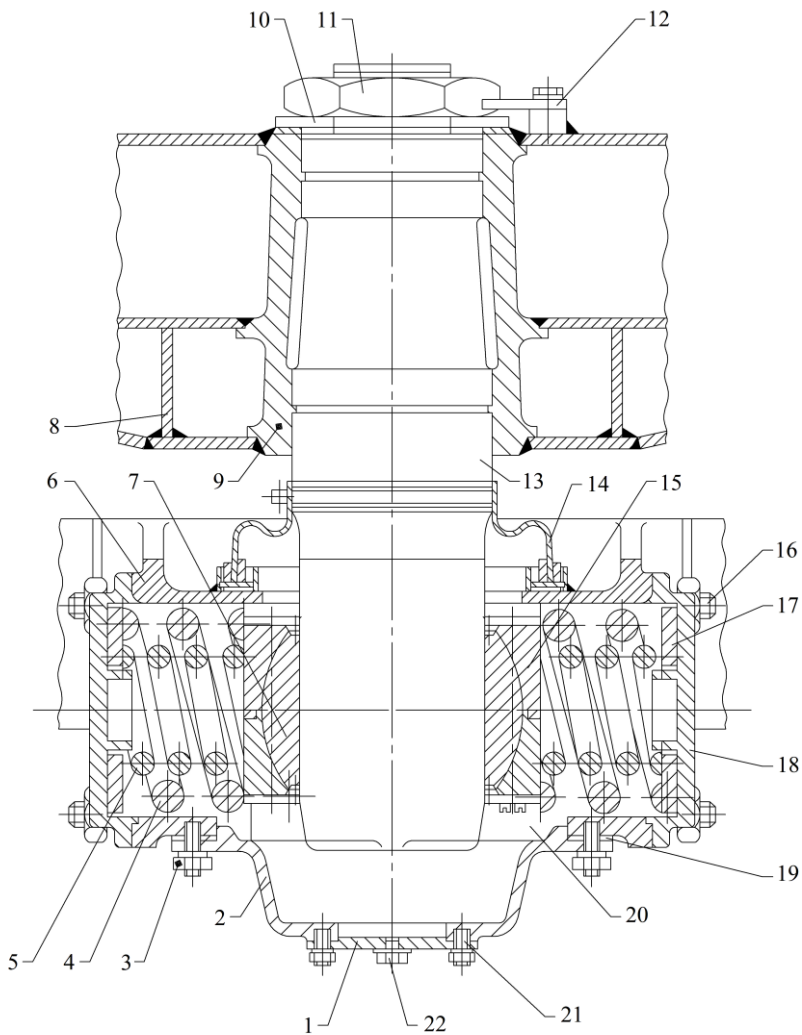


Рисунок 1.37 – Шкворневой узел электровоза ЧС4Т

Для ограничения перемещений и исключения жестких ударов кузова о тележку при исчерпании зазоров с некоторого момента жесткость упругой системы должна резко возрастать. Для этого применяют следующие конструктивные решения: перемещению на первых 8 мм соответствует жесткость, равная удвоенной жесткости комплекта пружин; в интервале перемещений 8–20 мм нарастание возвращающей силы определяется жесткостью одного комплекта пружин.

При перемещениях больше 20 мм зазор между рамой тележки и рамой кузова исчерпывается, а в параллель с жесткостью комплекта пружин включается жесткость резинового упора, установленного на боковые рамы кузова; дальнейшее смещение (более 30 мм) ограничено величиной зазора между скользящим и корпусом шкворневой коробки.

### 1.5.3 Подвешивание электровоза БКГ-1

Подвешивание электровоза БКГ-1 – двухступенчатое: первая ступень включает в себя пружины и гидродемпферы (гидравлические гасители колебаний); вторая ступень также выполнена с применением пружинных комплектов и гидравлических гасителей колебаний.

**Устройство первой ступени подвешивания.** Общий вид первой ступени рессорного подвешивания электровоза БКГ-1 показан на рисунке 1.38.

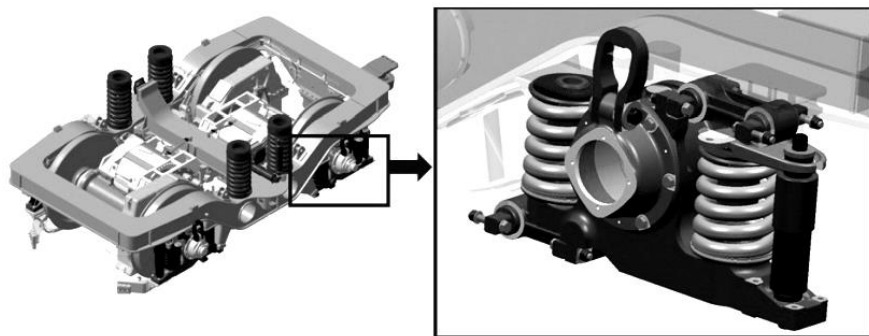


Рисунок 1.38 – Общий вид первой ступени рессорного подвешивания электровоза БКГ-1

Каждая секция первой ступени подвешивания (рисунок 1.39) устанавливается на большой и малый приливы корпуса буксы 9. В вертикальные отверстия приливов устанавливаются нижние упоры 2 и компенсационные подковообразные шайбы.

Упоры и подковообразные шайбы являются седлом для установки винтовых пружин 8. Внутри пружин находятся стопоры 3, ограничивающие вертикальный ход пружины.

В верхней части на пружины устанавливаются изоляционные шайбы с изолирующими кольцами 4. Со стороны большого прилива корпуса буксы, рядом с пружиной, устанавливается вертикальный амортизатор 7, предназначенный для гашения колебаний. В верхней части амортизатор и пружина соединяются опорой амортизатора 6 и при помощи болтов крепятся к пустотелому кронштейну рамы тележки. С противоположной стороны буксы пружина, установленная на малый прилив буксы, упирается в кронштейн рамы тележки.

Продольные усилия между корпусом буксы и рамой тележки передаются при помощи буксовых поводков 1 с резинOMETаллическими элементами. Со стороны амортизатора поводок проходит в верхней части буксы через пустотелый кронштейн, с противоположной стороны – под малым приливом корпуса буксы и, при помощи болтов, соединяется с кронштейнами рамы тележки.

Монтажное кольцо 5 соединяется с кронштейном крышки буксы при помощи плавающего болта и является ограничителем максимального растяжения пружин подвески первой ступени.

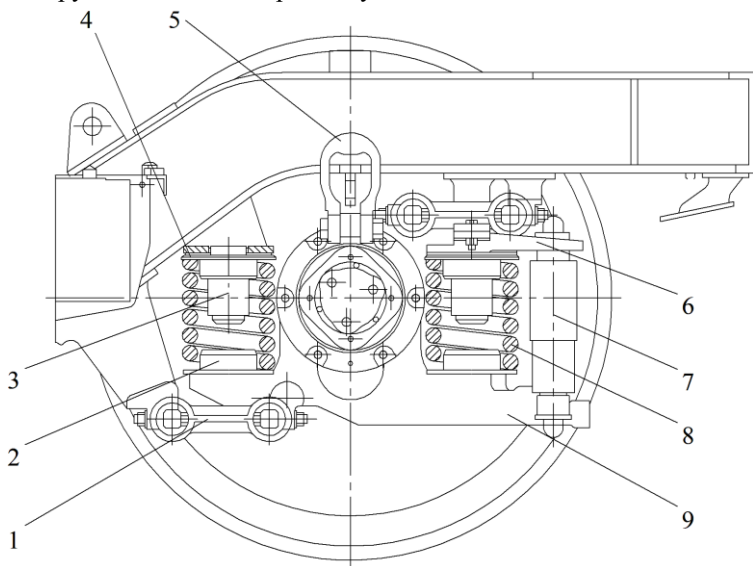


Рисунок 1.39 – Место монтажа подвески первой ступени

**Устройство второй ступени подвешивания.** Общий вид подвески второй ступени представлен на рисунке 1.40. Она состоит из резинOMETаллических подушек 5, спиральных пружин 3, горизонтального 9 и вертикального амортизаторов (гидродемпфера) 7.

Пружины устанавливаются на центрирующие их обоймы 1, сваренные в продольные балки тележки. Под пружины устанавливаются промежуточные шайбы 2. Две из четырех пружин, расположенные по диагонали друг относительно друга на одной тележке, дополнительно снабжены вертикальными упорами 4. Сверху на пружины устанавливаются съемные тарелки 6 и резинометаллические подушки 5.

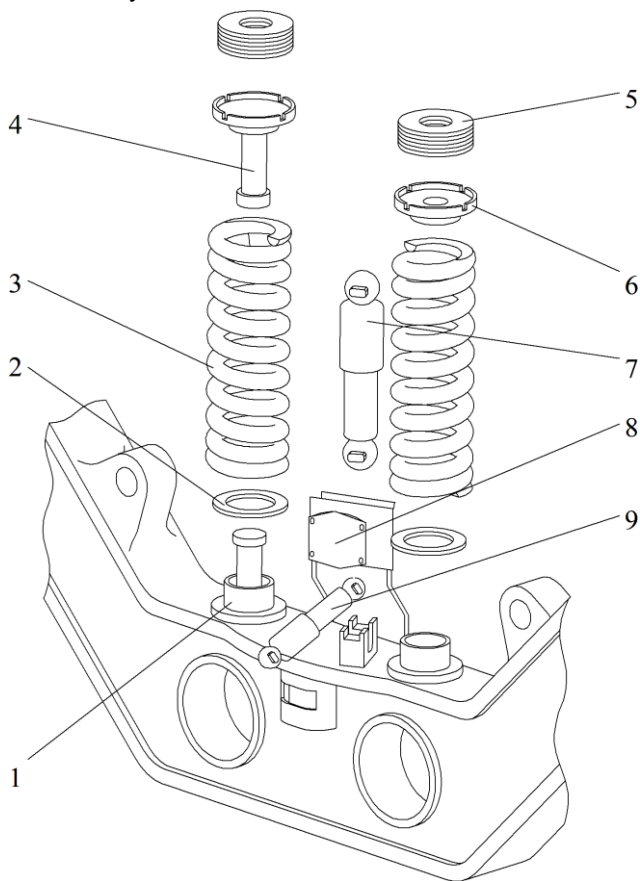


Рисунок 1.40 – Место монтажа подвески первой ступени

На внутренней стороне рамы кузова, относительно средних балок тележек, устанавливается горизонтальный упор 8. Он представляет собой резиновую подушку, вставленную в металлическую обойму и закрепленную при помощи болтов к раме кузова. Величина осевой деформации горизонтального упора при номинальной нагрузке 63 кН составляет 40 мм, а зазор между горизонтальным упором и кронштейном средней балки тележки – 20 мм.

**Устройство гидравлического гасителя колебаний.** Гасители колебаний предназначены для гашения колебаний кузова, возникающих при движении локомотива. Они применены в первой ступени подвешивания как вертикальные амортизаторы и во второй ступени подвешивания как вертикальные и горизонтальные амортизаторы.

Общий вид вертикальных амортизаторов первой и второй ступени представлен на рисунке 1.41. Гасители колебаний второй ступени подвешивания однотипные, и отличаются своими характеристиками. Гасители колебаний первой ступени подвешивания отличаются от гасителей колебаний второй ступени способом крепления и наличием на торце гасителей резинометаллических прокладок 4.

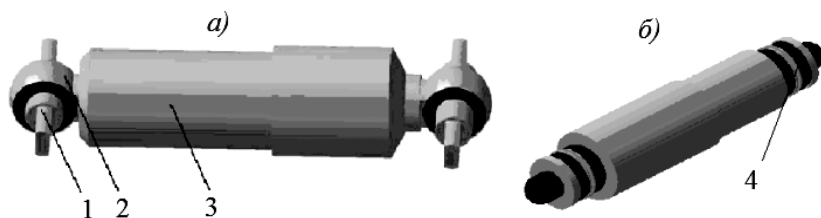


Рисунок 1.41 – Гасители колебаний: амортизаторы второй (а) и первой (б) ступеней

Гаситель колебаний второй ступени подвешивания состоит из корпуса 3, головки 2 и валика 1. Между валиком и головкой гасителя колебаний запрессована резиновая втулка. Внутри корпуса размещена система клапанов. При прохождении рабочей жидкости через каналы ограниченного сечения клапанов в результате вязкого трения происходит превращение механической энергии колебаний в тепловую и рассеивание ее в окружающей среде.

**Устройство тягового соединения.** Для передачи тягового и тормозного усилий, между тележкой и кузовом применено тяговое соединение, которое представлено на рисунке 1.42.

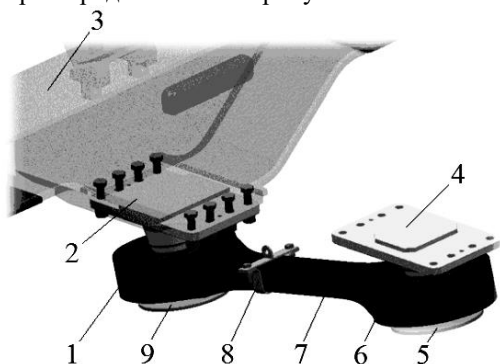


Рисунок 1.42 – Тяговое соединение

На концевой балке 3 тележки снизу имеется фланец, к которому при помощи болтов крепится тяговой кронштейн тележки 2. К раме кузова, также при помощи болтов, крепится тяговой кронштейн кузова 4. На кронштейны под углом  $11^\circ$  устанавливается тяговая штанга 7 с цилиндрическими головками.



Упругими элементами тягового соединения являются резиновые втулки 1 и 6. Которые устанавливаются в отверстия тяговой штанги с двух сторон путем запрессовки. Упругая деформация втулок 1 и 6 тягового соединения обеспечивает плавность хода и вписывание электровоза в кривые участки пути. Перед установкой тяговой штанги на кронштейны, резиновые втулки смазываются техническим вазелином.

Конструкция тяговых кронштейнов кузова и тележки идентична (рисунок 1.43). Кронштейны на опорной поверхности имеют центрирующие выступы, а на поверхностях фланцев для них предусмотрены пазы, позволяющие минимизировать нагрузку при тяговых и тормозных усилиях на болтовое соединение тяговых кронштейнов.

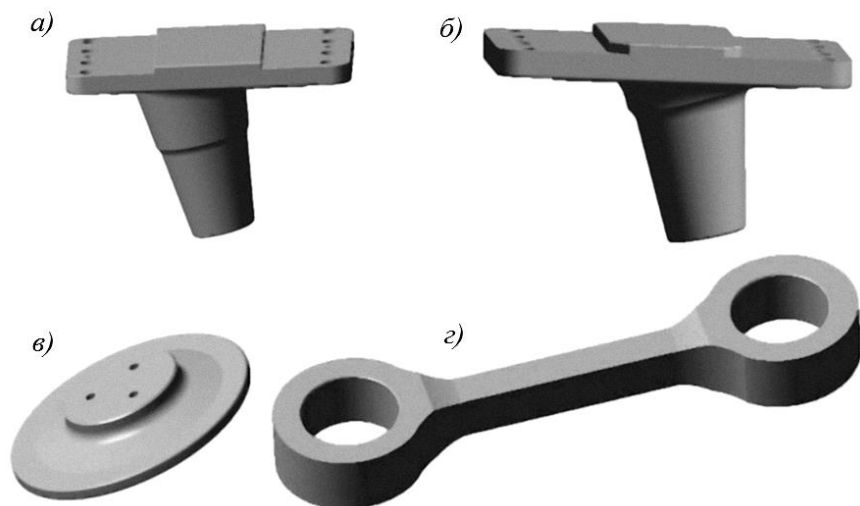


Рисунок 1.43 – Элементы тягового соединения:

*a* – тяговый кронштейн тележки; *б* – тяговый кронштейн кузова;  
*в* – опорный диск; *з* – тяговая штанга

Снизу на кронштейны прикручиваются опорные диски 5, 9 (см. рисунок 1.42). В качестве страховки от падения тяговой штанги на путь она соединена с кузовом электровоза при помощи троса и хомута 8.

## 1.6 Колесная пара

Колесные пары электровоза воспринимают вертикальные нагрузки от веса кузова, расположенного в нем оборудования, тележек, тяговых двигателей и передают эти нагрузки на рельсы. При движении колесные пары воспринимают также все жесткие удары от неровностей пути как в вертикальном, так и горизонтальном направлении и сами воздействуют на путь.

Колесные пары приводятся в движение тяговыми двигателями при помощи редуктора, состоящего из зубчатых колес, при этом на колесной паре могут быть напрессованы одно или два зубчатых колеса, в зависимости от типа тяговой передачи.

Колесная пара электровоза, как правило, состоит из оси, двух колесных центров с бандажами или безбандажных колес, а также зубчатых колес (одно или два в зависимости от типа зубчатой передачи), напрессованных на ось.

Внешняя поверхность катания бандажа коническая (рисунок 1.44), что обеспечивает сохранение постоянного зазора между гребнем бандажа и головкой рельса, необходимого для свободного движения электровоза.

В кривых участках пути благодаря конусности бандажей колесо, движущееся по внешней нити пути, катится по кругу большего диаметра и проходит большее расстояние, чем колесо, движущееся по внутренней нити пути, которое катится по кругу меньшего диаметра. Если по каким-либо причинам ось колесной пары смещается относительно оси пути, начинается движение по кругам катания разного диаметра. В этом случае появляются силы, сообщающие поперечное перемещение колесной паре и возвращающие ее в первоначальное положение.

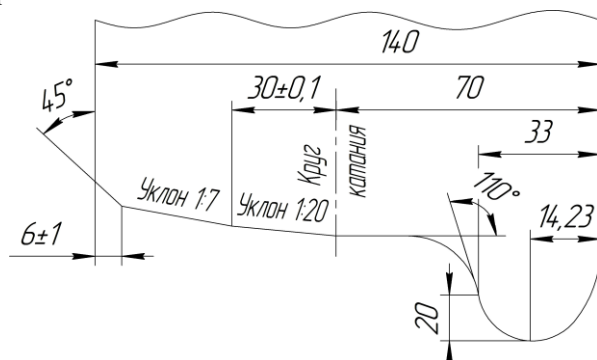


Рисунок 1.44 – Профиль бандажа колесной пары электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Гребень бандажа, расположенный внутри рельсового пути, предохраняет колесную пару от схода с рельсов.

При прохождении кривых у электровоза с трехосными тележками, гребень бандажа подрезают на величину до 15 мм, что обеспечивает свободное прохождение кривой колесной парой. Также этого можно достичь, выполнив среднюю ось электровоза с поперечным разбегом в буксовых подшипниках.

В процессе эксплуатации колесной пары, особенно в периоды торможения, возможны нагрев бандажа и его ослабление. О повороте бандажа на колесном центре можно судить по контрольным отметкам (рискам), которые наносят на наружные поверхности и бандажа, и колесного центра. Кон-

трольные отметки (риски) выполняют, нанося на бандаж красную полосу, а на обод колесного центра – белую. Центры колесных пар обычно окрашивают черной краской, наружные грани бандажей – белой.

Основные неисправности колесных пар:

1 Выщербины – выкрошившиеся участки поверхности катания колес более допускаемых размеров или при наличии в них трещин или расслоений, идущих в глубину металла (рисунок 1.45).

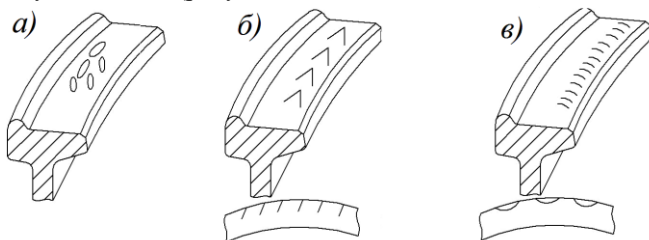


Рисунок 1.45 – Выщербины:

*а* – по светлым пятнам, ползунам, «наварам»;  
*б* – по усталостным трещинам; *в* – по сетке термотрещин

2 Местное уширение бандажа (местный наплыв в виде фаски) и отколы (рисунок 1.46).

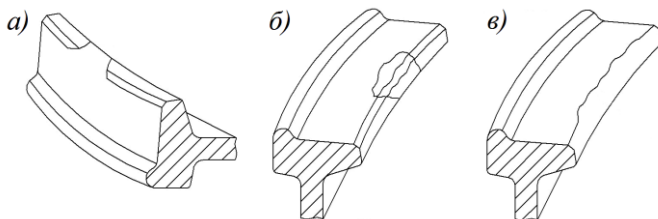


Рисунок 1.46 – Местное уширение бандажа (*а*) и отколы:

*б* – поверхностный у наружной грани обода; *в* – кругового наплыва

3 Трещины и изломы (рисунок 1.47).

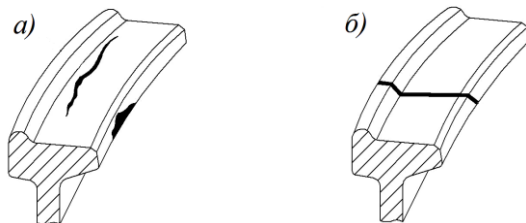


Рисунок 1.47 – Трещины и изломы:

*а* – продольные трещины, плены, расслоения и неметаллические включения в ободке;  
*б* – поперечные трещины в ободке

#### 4 Дефекты поверхности катания (рисунок 1.48).

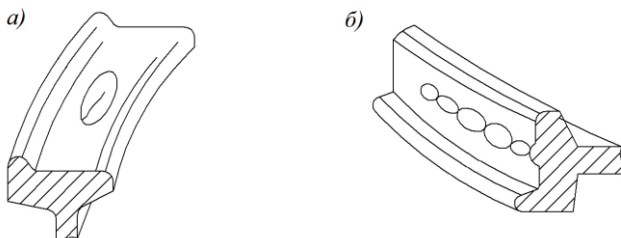


Рисунок 1.48 – Дефекты поверхности катания:  
а – ползун (плоское место); б – «навар» (смещение металла обода колеса)

#### 5 Остроконечный накат гребня (рисунок 1.49).



Рисунок 1.49 – Остроконечный накат гребня

При формировании колесной пары расстояние между внутренними поверхностями бандажей должно сохраняться равным 1440 мм. Если фактические размеры отклоняются от указанных, то необходимо произвести доводку на станке при обточке бандажей по кругу катания.

Правилами технической эксплуатации железных дорог запрещается выпускать в эксплуатацию электровозы с поперечной трещиной в любой части оси колесной пары, а также при следующих износах и повреждениях колесных пар: прокат по кругу катания более 7 мм; толщина гребня более 33 мм или менее 25 мм при измерении на расстоянии 20 мм от вершины гребня; вертикальный подрез гребня высотой более 18 мм; выбоина на поверхности катания более 0,7 мм.

При замене колесных пар на новые, в целях сохранения развески и тяговых свойств электровоза, их следует подбирать, исходя из допусков на диаметр по кругу катания.

Разница между диаметрами колес, находящимися в одной тележке, не должна превышать 8 мм, то же по всему электровозу – 15 мм. Кроме того, разница между диаметрами левого и правого колес одной колесной пары должна быть не более 1 мм при формировании, а в эксплуатации – не более 2 мм.

### 1.6.1 Конструкция колесной пары электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

Колесная пара электровоза ВЛ80<sup>С</sup> (рисунок 1.50) состоит из: двух больших зубчатых колес 3 с косыми зубьями, напрессованных на удлиненную ступицу колесного центра 2, что служит для уменьшения концентрации напряжений в месте посадки, в отличие от запрессовки зубчатого колеса непосредственно на ось 1. Кольцо 4 применяется для предотвращения сползания бандажа 5 с колесного центра. Для снижения усилия распрессовки колесного центра с оси при разборке колесной пары, к их посадочным поверхностям под давлением подают масло: для этого на внутренней образующей ступицы центра делается канавка, а в теле ступицы – отверстие 6. Канавка и отверстие имеются в ступице большого зубчатого колеса.

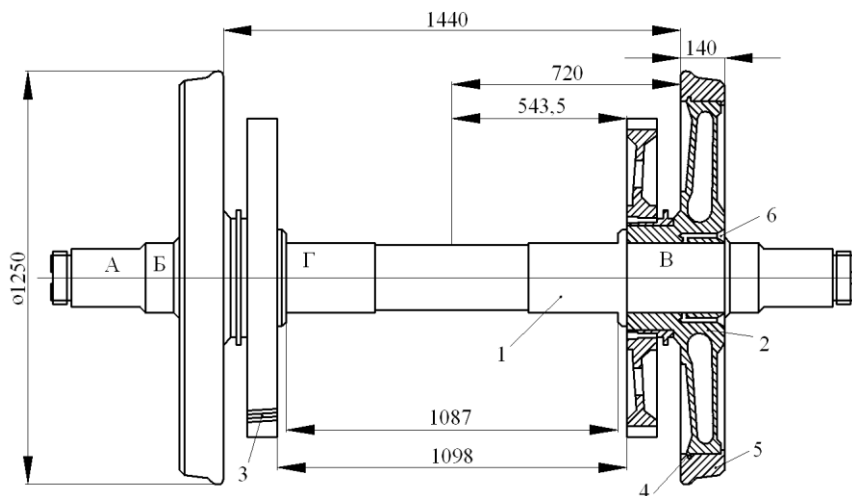


Рисунок 1.50 – Колесная пара электровоза ВЛ80<sup>С</sup>

На концевые части (шейки) А оси колесной пары насаживают буксовые подшипники, а на подступичную часть В напрессовывают колесные центры. Между шейкой и подступичной частью находится предподступичная часть Б. По краям оси имеется резьба для гайки, закрепляющей внутреннее кольцо роликовых подшипников, и шейки Г под моторно-осевые подшипники.

Подступичную часть оси выполняют наибольшего диаметра, чтобы уменьшить концентрацию напряжений, возникающих при запрессовке центра колеса на ось. С целью снижения концентрации напряжений от усилий изгиба и кручения переход от части оси одного диаметра к части другого радиуса выполнен плавно (галтелями), радиус перехода обычно принимают в пределах от 40 до 100 мм.

### 1.6.2 Конструкция колесной пары электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Колесная пара электровоза ЧС4<sup>Т</sup> (рисунок 1.51) состоит из: оси 1, спицевых колесных центров 5, бандажей 4 с фиксирующими кольцами 6, втулки зубчатого колеса 2 и большого зубчатого колеса 3.

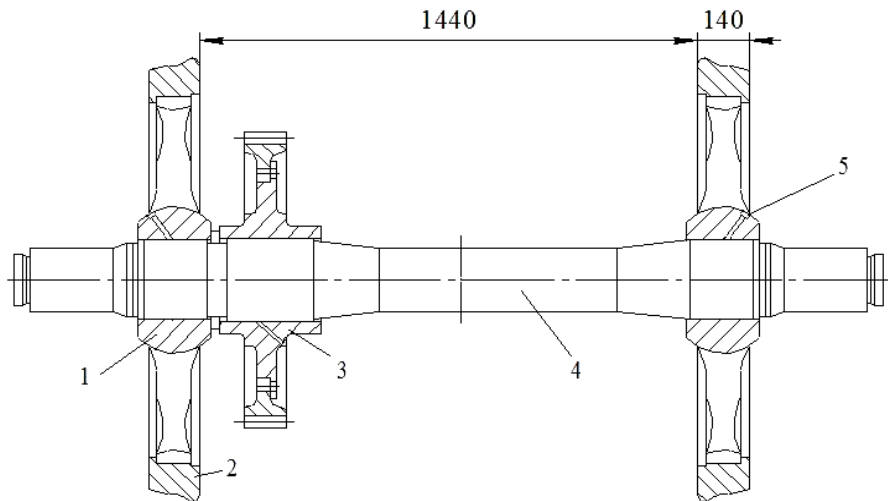


Рисунок 1.51 – Колесная пара электровоза ЧС4<sup>Т</sup>

Все шесть колесных пар электровоза сформированы по единым правилам, соответствующим инструкции по формированию колесных пар. Средние колесные пары (вторая и пятая), не имеющие свободного поперечного разбега по подшипникам, имеют подрезанный гребень бандажа. В остальных колесных парах не отличаются друг от друга.

Ось кованая и обработанная до соответствующих размеров под посадку буксовых подшипников и запрессовку колесных центров. Переходы между различными диаметрами выполнены плавно для устранения концентрации напряжений. Концы осей подготовлены для установки букс, а также крепления деталей заземлителей, привода скоростемера и регулятора воздушного тормоза.

Колесный центр отлит из стали и имеет 12 спиц. Для облегчения демонтажа при переформировании колесной пары колесные центры снабжены каналами под подачу масла. Бандаж надевается на колесный центр в горячем состоянии.

Диаметр окружности катания при новых бандажах – 1250 мм, толщина бандажа – 90 мм. Зубчатый венец колеса 3 соединяется с втулкой при помощи призонных болтов.

### 1.6.3 Конструкция колесной пары электровоза БКГ-1

Колесная пара электровоза БКГ-1 (рисунок 1.52) состоит из: оси 1, двух цельнокатаных колес 2, ведомого зубчатого (прямозубого) колеса 3; также на рисунке показаны буксы 5 и корпус моторно-осевого подшипника (МОП) 4.

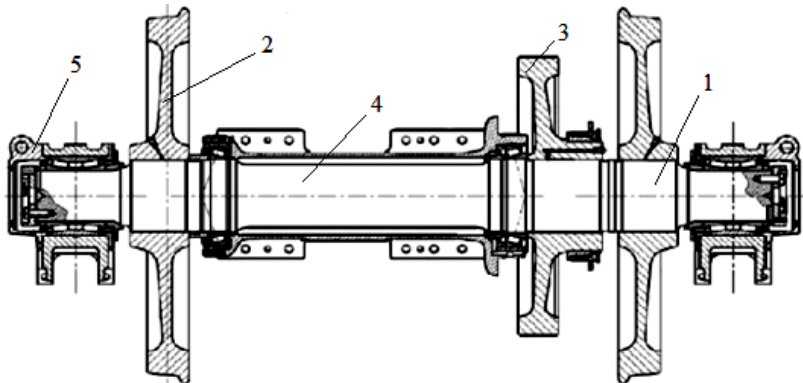


Рисунок 1.52 – Колесная пара электровоза БКГ-1

Ось колесной пары (рисунок 1.53, *а*) скована из специальной осевой стали, на ней различают места посадки под ступицы колес 1, место посадки ведомого зубчатого колеса 2, среднюю часть 3 и буксовые шейки 4, а также галтели и разгрузочные канавки 5. Для увеличения усталостной прочности места посадки шлифуются и подвергаются упрочняющей накатке, после чего проводят комплекс испытаний готовой оси.

Колесо цельнокатаное (рисунок 1.53, *б*), ступица в месте посадки на ось имеет уширение, а для облегчения снятия или посадки колеса на ось КП в нем имеется канал 6 для подачи смазки под ступицу. Устройство МОП электровоза БКГ-1 описано в пункте 1.3.3.

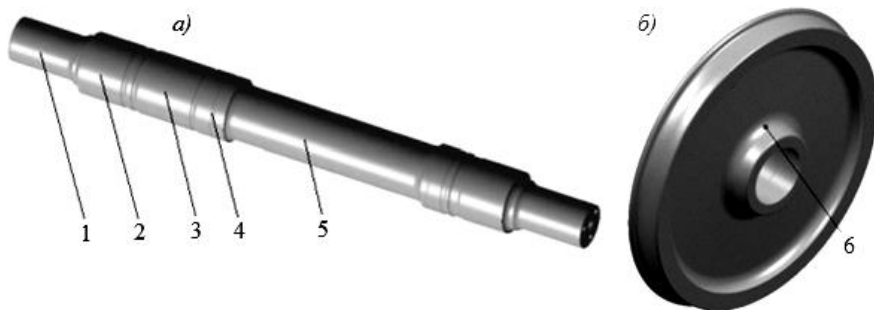


Рисунок 1.53 – Колесная пара электровоза БКГ-1

## 1.7 Тормозные устройства

Тормозные средства локомотивов – это комплекс устройств для создания регулируемых тормозных сил. Тормозное оборудование размещают в кузове и на тележке локомотивов. На тележке устанавливают тормозные цилиндры, рычажную передачу и трубопровод питания тормозных цилиндров, остальное оборудование – в кузове локомотива. Число тормозных цилиндров на локомотиве зависит от принятой схемы рычажной передачи и может быть от 4 до 16. Работа пневматических тормозов основана на использовании в тормозном цилиндре энергии сжатого воздуха.

Тормозная рычажная передача (рисунок 1.54) служит для равномерного распределения усилия между тормозными колодками и передачи его от поршня тормозного цилиндра на колеса локомотива. Тормозные передачи по принципу действия бывают с односторонним и двусторонним нажатием тормозных колодок на колеса локомотива. При одностороннем нажатии обеспечивается тормозное усилие с одной стороны колеса, при двустороннем – с двух сторон. Каждой из схем свойственны преимущества и недостатки.

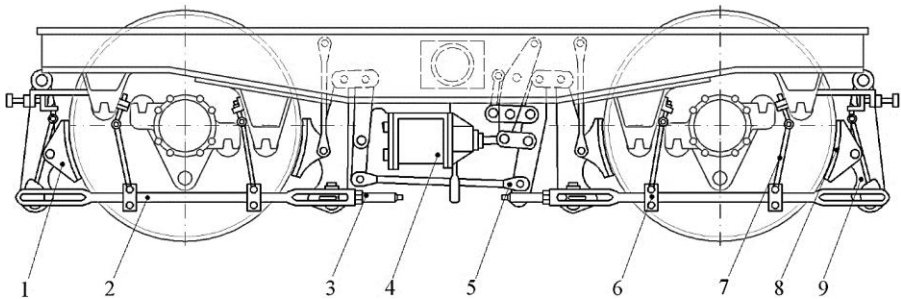


Рисунок 1.54 – Тормозная рычажная передача на электровозе ВЛ80<sup>С</sup>

- 1 – башмак; 2 – тяга регулируемой длины; 3 – тормозная колодка;
- 4 – регулировочный валик; 5 – тяга постоянной длины; 6 – тяга;
- 7 – предохранительный трос; 8 – тормозная колодка; 9 – подвеска.

Односторонние рычажные передачи сравнительно просты по конструкции, обладают небольшой массой, удобны в эксплуатации и ремонте, но при торможении ось колесной пары воспринимает дополнительный крутящий момент от одностороннего действия тормозных колодок. Большое давление на чугунных тормозных колодках вызывает значительный износ колодок и нагрев бандажей.

Двусторонние рычажные передачи гораздо сложнее по конструкции и имеют большую массу, в эксплуатации и ремонте затрудняют осмотр эки-



пажной части локомотива, но обеспечивают лучшие фрикционные качества, а также больший срок службы колодок.

Рычажные передачи должны изменять передаточные отношения в зависимости от материала и типа тормозных колодок. В конструкциях вертикальных (или горизонтальных) рычагов предусмотрены отверстия для валиков, положение которых обуславливает изменение коэффициента нажатия колодок.

Рычажная передача тормоза должна обеспечить возможность регулирования зазоров между бандажами и тормозными колодками. При проектировании большое внимание уделяется уменьшению массы тормозной системы и числа шарнирных соединений.

Широко распространены тормозные системы, в которых каждое колесо обслуживается одним тормозным цилиндром с малым передаточным отношением и конструкция рычажных передач колодочного тормоза максимально упрощена.

Различают три основных типа тормозных колодок по материалу изготовления: чугунные стандартные, композиционные и чугунные с повышенным содержанием фосфора (фосфористые).

Чугунные стандартные колодки применяют на пассажирских вагонах, обращающихся со скоростями до 120 км/ч, и локомотивах. К достоинствам этих фрикционных элементов относятся хороший отвод выделяющегося при торможении тепла и отсутствие влияния влаги на коэффициент трения. В то же время такие колодки имеют существенно нестабильный коэффициент трения, снижающийся с ростом скорости. Это, в частности, приводит к необходимости применения на скоростном подвижном составе регуляторов сил нажатия колодок в зависимости от скорости движения. Кроме того, чугунные колодки быстро изнашиваются, что требует большого объема работ по замене и регулировке рычажных передач.

Композиционные тормозные колодки применяют на всех грузовых, а также на пассажирских вагонах, которые эксплуатируются при скоростях более 120 км/ч. Они в 3–5 раз более износостойки, чем чугунные, что снижает объем работ по их замене и регулировке рычажных передач, и обладают повышенными стабильностью и величиной коэффициента трения относительно скорости движения. К недостаткам этих колодок относятся плохой отвод тепла и, как следствие, неблагоприятные температурные режимы на поверхности катания колес, вызывающие их повреждения в виде наваров, сдвигов металла, микротрещин и т. д. Их не применяют на бандажных (локомотивных) колесах по причине перегрева, ослабления и возможного сползания бандажа.

Чугунные колодки с повышенным содержанием фосфора (до 1,5 %) на 25–30 % более износостойки, чем стандартные, обладают более высоким и стабильным коэффициентом трения, но искрят при торможении. По этой

причине их не применяют на подвижном составе с деревянными конструкциями и используют в основном на электропоездах.

### 1.8 Ударно-тяговый аппарат

Ударно-тяговый аппарат локомотива (рисунок 1.55) включает в себя *автосцепку с поглощающим аппаратом*, установленным обычно в раме кузова электровоза. Он предназначен для сцепления единиц подвижного состава, а также передачи тяговых и ударных нагрузок, возникающих во время движения поезда. Соединение автосцепок выполняется автоматически, а для их рассоединения без захода сцепщика между секциями установлены расцепные рычаги.

Автосцепки могут быть разделены на две большие группы: *механические* автосцепки, т. е. обеспечивающие автоматическое сцепление единиц подвижного состава, и *комбинированные* автосцепки, которые, помимо сцепления, также предусматривают соединение воздушных магистралей и электрических цепей вагонов. *Механические* автосцепки применяются для сцепления грузовых и пассажирских вагонов общего назначения; при этом межвагонные коммуникации соединяются вручную. *Комбинированные* автосцепки применяются на вагонах метрополитена.

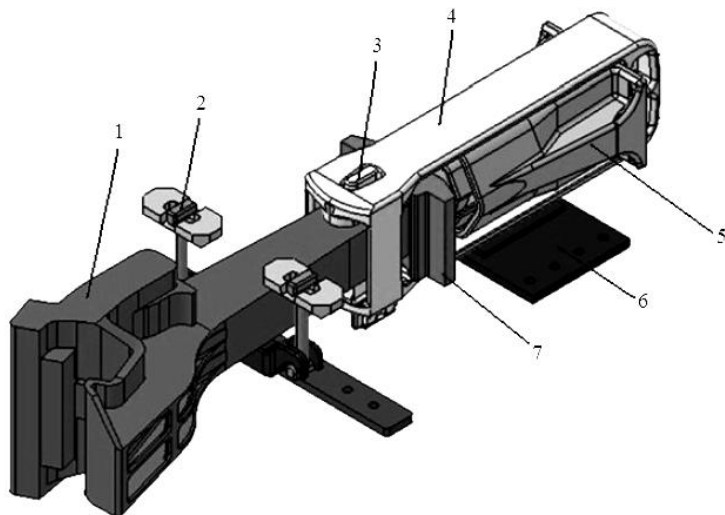


Рисунок 1.55 – Ударно-тяговый аппарат:

- 1 – автосцепка СА-3; 2 – подвеска маятниковая; 3 – клин тягового хомута; 4 – хомут тяговый;  
5 – аппарат поглощающий; 6 – планка; 7 – плита упорная

Расстояние от головок рельсов до оси автосцепки для нового и эксплуатируемого порожнего ПС должно быть не более 1080 мм, для грузовых

грузеных вагонов не менее 950 мм, а пассажирских вагонов и локомотивов – не менее 980 мм. При сцеплении автосцепки могут занимать различные взаимные положения: продольные оси их могут находиться на одной прямой или сместиться в горизонтальном или вертикальном направлении. Смещение осей автосцепок, при которых обеспечивается надежное сцепление вагонов, допускается: по вертикали в грузовом поезде до 100 мм, пассажирском скоростном – 50 мм; в горизонтальном направлении – 175 мм.

### 1.8.1 Устройство автосцепки СА-3

Автосцепка СА-3 (рисунок 1.56) состоит из корпуса 4 и деталей механизма сцепления: замка 5, замкодержателя 2, предохранителя 3, подъемника 6 и валика подъемника 7.

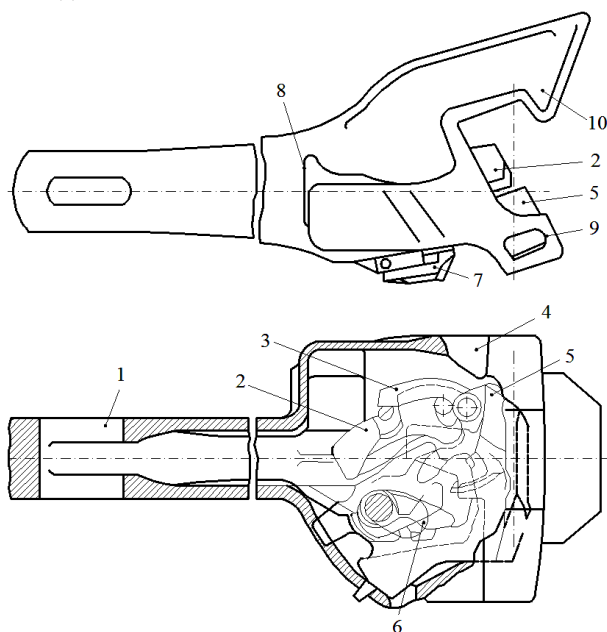


Рисунок 1.56 – Устройство автосцепки:

1 – пустотелый хвостовик; 2 – замкодержатель; 3 – предохранитель; 4 – корпус; 5 – замок;  
6 – подъемник; 7 – валик подъемника; 8 – упор; 9 – малый зуб; 10 – большой зуб

Головная часть автосцепки (голова) переходит в удлиненный пустотелый хвостовик, в котором имеется отверстие 1 для соединения с тяговым хомутом. Голова автосцепки имеет большой 10 и малый 9 зубья. В пространство между малым и большим зубьями, в так называемый зев автосцепки, выступают замок 5 и замкодержатель 2, взаимодействующие в сцепленном состоянии со смежной автосцепкой.

### 1.8.2 Действие автосцепки СА-3

Автосцепка СА-3 обеспечивает:

- автоматическое сцепление при соударении единиц подвижного состава с различными маневровыми скоростями;
- автоматическое запираение замка в нижнем положении у сцепленных автосцепок, что устраняет самопроизвольное расцепление на ходу поезда (саморасцеп);
- расцепление подвижного состава без захода человека между концевыми балками и удержание механизма в расцепленном положении до разведения автосцепок;
- автоматическое возвращение механизма в положение готовности к сцеплению после разведения автосцепок;
- восстановление сцепления у ошибочно расцепленных автосцепок без их разведения;
- маневровую работу толчками (работа «на буфер»), когда при соударении автосцепки не сцепляются.

Сцепление происходит следующим образом: при соударении автосцепок их замки нажимают друг на друга и каждый из них перемещается внутрь кармана корпуса (в зев автосцепки). Одновременно с этим малый зуб каждой из них нажимает на замкодержатель и утапливает его заподлицо (на одном уровне) с ударной стенкой зева. Малый зуб, упираясь в наклонную ударную стенку зева, скользит дальше в направлении к боковой стенке большого зуба. Замки, освободившись от нажатия друг на друга, опускаются и располагаются в пространстве между малыми зубьями.

Такое расположение деталей механизма сцепленной автосцепки исключает возможность перемещения замка внутрь кармана корпуса под действием внешних сил. Таким образом, у сцепленных автосцепок оказывается включенным предохранитель от саморасцепа. Сигнальные отростки замков у сцепленных автосцепок находятся внутри карманов и не выступают за наружные кромки отверстий.

Для расцепления автосцепок используются расцепным приводом, поворачивающим валик подъемника. Чтобы расцепить автосцепку, достаточно увести внутрь кармана корпуса хотя бы один из замков. Тогда малые зубья смогут выйти из зевов. У натянутых автосцепок замки зажаты между малыми зубьями и расцепить их трудно, поэтому перед расцеплением необходимо сжать автосцепки. О расцепленном состоянии автосцепки судят по сигнальному отростку замка, выступающему снизу корпуса.

Во время маневровой работы иногда возникает необходимость толкать вагоны без сцепления автосцепок. Для этого механизм автосцепки устанавливают в положение «на буфер».

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОВОЗА

На начальном этапе проектирования электровоза первыми определяются его основные параметры: мощность, осевая характеристика (колесная формула), длительная сила тяги на ободьях колес, нагрузка от колесной пары на рельсы, а также принимаются расчетная и конструкционная скорости, основные линейные размеры, диаметр колесных пар и другие показатели, основываясь на параметрах уже существующих электровозов.

Расчетная касательная мощность электровоза на ободу колеса при установившемся режиме движения, Вт,

$$P_k = \frac{F_k v_p}{3,6}, \quad (2.1)$$

где  $F_k$  – касательная сила тяги на расчетном подъеме, равная сопротивлению движению поезда с заданной массой, кН;

$v_p$  – расчетная скорость движения, км/ч.

Касательная сила тяги на расчетном подъеме, Н,

$$F_k = P(\omega_0' + \omega_i) + Q(\omega_0'' + \omega_i), \quad (2.2)$$

где  $P$  – масса электровоза (по электровозу-образцу, приложение А), т;

$\omega_0'$ ,  $\omega_0''$  – соответственно основное удельное сопротивление движению локомотива и состава, Н/т;

$\omega_i$  – удельное сопротивление от уклона, Н/т;

$Q$  – масса состава (выбирается согласно таблице 2.1), т.

Исследования по установлению масс грузовых поездов показывают, что экономическая и целесообразная масса поезда соответствует полному использованию длины станционных путей и их несущих способностей.

Рекомендуемые значения масс поездов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Рекомендуемые значения масс поездов

Вид тяги	Масса поезда, т
На постоянном токе в грузовом движении	4000–6000
На переменном токе в грузовом движении	4500–7000
В пассажирском движении	800–1200

Основное удельное сопротивление движению электровоза на бесстыковом пути при расчетной скорости, Н/т,

$$\omega_0' = 19 + 0,08 v_p + 0,0025 v_p^2. \quad (2.3)$$

Сопротивление от уклона пути, Н/т,

$$\omega_i = 10 i_p, \quad (2.4)$$

где  $i_p$  – уклон пути на расчетном подъеме (указан в задании).

Основное удельное сопротивление движению для грузовых четырехосных вагонов на бесстыковом пути, Н/т,

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 0,8 v_p + 0,02 v_p^2}{q_0^{гр}}, \quad (2.5)$$

где  $q_0^{гр}$  – осевая нагрузка грузового вагона, ( $q_0^{гр} = 20 \dots 25$  т/ось);

Основное удельное сопротивление движению для пассажирских четырехосных цельнометаллических вагонов на бесстыковом пути, Н/т,

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 1,6 v_p + 0,023 v_p^2}{q_0^{пас}}, \quad (2.6)$$

где  $q_0^{пас}$  – осевая нагрузка пассажирского вагона, ( $q_0^{пас} = 10 \dots 16$  т/ось).

Эффективная мощность электровоза  $P_3$  определяется как суммарная мощность на валах тяговых электродвигателей, Вт,

$$P_3 = \frac{P_k}{\eta_{пер} \beta_c}, \quad (2.7)$$

где  $\eta_{пер}$  – КПД передачи мощности от тягового электродвигателя на колесную пару, учитывающий потери в тяговом редукторе ( $\eta_{пер} = 0,86 \dots 0,98$ );

$\beta_c$  – коэффициент свободной мощности, учитывающий затраты на привод вспомогательных машин: мотор-вентиляторов, моторкомпрессоров и др. ( $\beta_c = 0,92 \dots 0,98$ ).

В процессе проектирования основные параметры локомотивов могут уточняться с учетом требований перспективного развития и возможностей их осуществления. Рекомендуемые параметры вновь проектируемых электровозов представлены в таблице 2.2.

**Таблица 2.2 – Рекомендуемые параметры вновь проектируемых электровозов**

Наименование	Грузовые		Пассажирские
	постоянного тока	переменного тока	
Мощность тягового двигателя, кВт	650–800	850–1000	850–1000
Расчетная скорость, км/ч	45–55	50–60	90–110
Максимальная скорость, км/ч	110–120	110–120	180–200
Нагрузка от КП на рельс, кН	230–250	230–250	200–220

Сцепной вес  $N_{сц}$  является суммарной нагрузкой на движущие колесные пары и характеризует способность электровоза развивать необходимую силу тяги без проскальзывания колес по рельсам. Для наилучшего использо-

вания сцепного веса электровоза нагрузки по тележкам, осям и колесам должны иметь наименьшее отличие друг от друга. Значительное отличие в распределении веса ухудшает динамические качества локомотива, что приводит к возрастанию и неравномерности износа поверхности катания колес.

Сцепной вес для грузового локомотива вычисляют при условии его движения по расчетному подъему с установившейся скоростью без буксования, из соотношения, кН,

$$N_{\text{сц}} \geq \frac{3,6P_3}{\psi_k \eta_b v_p}, \quad (2.8)$$

где  $\eta_b$  – коэффициент использования сцепного веса (для электровозов принимается  $\eta_b = 0,85 \dots 0,92$ );

$\psi_k$  – коэффициент сцепления колес с рельсами при расчетной скорости  $v_p$  ( $\psi_k = 0,25$ ).

Для пассажирского локомотива сцепной вес определяется из условия обеспечения заданного ускорения при разгоне поезда, кН,

$$N_{\text{сц}} \geq \frac{Q^{\text{пасс}} (\omega_0 + \omega_{\text{тр}} + \omega_i + \omega_y)}{10^3 \psi_k \eta_b}, \quad (2.9)$$

где  $Q^{\text{пасс}}$  – масса пассажирского поезда (см. таблицу 2.1), т;

$\omega_{\text{тр}}$  – удельное сопротивление состава в момент трогания с места для подвижного состава на подшипниках качения, Н/т;

$\omega_y$  – удельное сопротивление от ускоряющего усилия, Н/т.

Удельное сопротивление состава в момент трогания с места, Н/т,

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{28}{q_0^{\text{пасс}} + 7}. \quad (2.10)$$

Удельное сопротивление от ускоряющего усилия, Н/т,

$$\omega_y = \frac{a_n}{\zeta}, \quad (2.11)$$

где  $a_n$  – ускорение поезда после трогания с места ( $a_n = 1200 \dots 1800$  км/ч<sup>2</sup>);

$\zeta$  – ускорение поезда при действии удельной ускоряющей силы в 1 Н/т ( $\zeta = 12,2$  км/ч<sup>2</sup>).

При выборе числа колесных пар проводят проверку на допустимую статическую нагрузку от колесной пары на рельс, кН,

$$2\Pi = \frac{N_{\text{сц}}}{n_{\text{кп}}} \leq [2\Pi], \quad (2.12)$$

где  $n_{\text{кп}}$  – число колесных пар электровоза (выбирается по электровозу образу);

$[2\Pi]$  – допустимая нагрузка от колесной пары на рельсы ( $[2\Pi] = 250$  кН).

Служебная масса – это масса экипированного локомотива с учетом массы запасных частей, инструмента и принадлежностей.

Предварительное значение служебной массы локомотива, т,

$$m_{сл} = 0,1 N_{сц}. \quad (2.13)$$

Требуемый диаметр колесных пар, мм,

$$D_{кп} \geq \frac{2\Pi}{[2p]}, \quad (2.14)$$

где  $[2p]$  – допускаемая нагрузка на 1 мм диаметра колеса по кругу катания, ( $[2p] = 0,20 \dots 0,27$  кН/мм).

Для унификации ходовых частей и снижения эксплуатационных и ремонтных расходов рекомендуется использовать колеса диаметром 1250 мм.

Длину локомотива по осям автосцепки  $L_{л}$  устанавливают в процессе компоновки оборудования. На начальной стадии проектирования она определяется по формуле, мм,

$$L_{л} = 8P_3(1 - 0,00008P_3). \quad (2.15)$$

Минимальная длина локомотива ограничена прочностью путевых сооружений, и должна быть не менее, мм,

$$L_{\min} \geq \frac{N_{сц}}{[q_{п}]}, \quad (2.16)$$

где  $[q_{п}]$  – допустимая погонная (на единицу длины пути) нагрузка, (для локомотивов  $[q_{п}] = 88,5$  кН/м).

База локомотива  $L_{б}$  – это расстояние между шкворнями или геометрическими центрами тележек **одной секции**, предварительно определяется по формуле, мм,

$$L_{б} = eL_{л}, \quad (2.17)$$

где  $e = 0,55 \dots 0,60$  при  $L_{л} \geq 20$  м,

$e = 0,50 \dots 0,54$  при  $L_{л} < 20$  м.

База тележки  $L_{т}$  зависит от размеров тягового привода, тяговых электродвигателей и других элементов, размещаемых в тележках. Расстояние между смежными колесными парами у современных локомотивов равно 1,85–2,3 м.

Исходя из этого, до разработки конструкции экипажа можно выбрать следующую базу тележки: для двухосных  $L_{т} = 2,8 \dots 3,2$  м; для трехосных  $L_{т} = 3,7 \dots 4,6$  м; для четырехосных  $L_{т} = 5,5 \dots 7,0$  м.

**Для исключения больших ошибок при оценке линейных размеров их следует сравнить с аналогичными показателями электровоза-образца.**

Результаты расчета основных параметров проектируемого электровоза для удобства рекомендуется свести в таблицу 2.3



Таблица 2.3 – Результаты расчета основных параметров электровоза

Параметр	Обозначение	Значение
Расчетная касательная мощность, кВт	$P_k$	
Эффективная мощность, кВт	$P_э$	
Сцепной вес локомотива, кН	$N_{сц}$	
Служебная масса локомотива, т	$m_{сл}$	
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	$2П$	
Диаметр колесных пар, мм	$D_{кп}$	
Длина электровоза по осям автосцепки, мм	$L_l$	
Минимальная длина локомотива, мм	$L_{min}$	
База тележки, мм	$L_T$	
База локомотива, мм	$L_б$	

## 2.1 Порядок расчета

Определение основных параметров проектируемого электровоза рекомендуется проводить в следующем порядке:

1 Рассчитать основное удельное сопротивление движению локомотива (2.3), основное удельное сопротивления движению состава (2.5 или 2.6) и сопротивление от уклона пути (2.4) для грузовых электровозов.

2 В соответствии с таблицей 2.1 в зависимости от типа ЭПС принять массу состава ( $Q$ ); из приложения А принять массу локомотива ( $P$ ) по электровозу-образцу (указан в бланке задания) и рассчитать касательную силу тяги на ободе колеса электровоза на расчетном подъеме (2.2).

3 Определить расчетную мощность электровоза на ободе колеса в установившемся режиме движения (2.1) и при помощи выражения (2.7) найти эффективную мощность электровоза.

4 Сравнить полученные значения мощностей ЭПС с электровозом-образцом и уточнить полученные значения в соответствии с таблицей 2.2.

5 Определить сцепной вес локомотива: для грузового ЭПС из выражения (2.8), а для пассажирского – (2.9). При этом, для пассажирского ЭПС, полное удельное сопротивление движению поезда в момент трогания на уклоне ( $\omega_0 + \omega_{тр} + \omega_i$ ) принимается равным 80 Н/т, а удельное сопротивление от ускоряющего усилия ( $\omega_y$ ) определяется по формуле (2.11).

6 Найти предварительное значение служебной массы электровоза (2.13);

7 Из выражения (2.12) определяется нагрузка от колесной пары на рельс, с дальнейшей проверкой выполнения условия  $2П \leq [2П]$ .

8 Требуемый диаметр колесных пар определяется из условия (2.14), при этом из соображений унификации отдельных частей ЭПС рекомендуется использовать колесные пары диаметром 1250 мм.

9 На начальной стадии проектирования максимальная длина электровоза (по осям автосцепки) определяется по формуле (2.15), минимальная – по формуле (2.16), и уточняются при выполнении компоновки оборудования.

10 База тележки электровоза может быть выбрана с учетом рекомендаций, представленных в разделе 2, либо по электровозу-образцу.

11 База электровоза определяется из выражения (2.17) в зависимости от длины электровоза (секции).

12 Полученные линейные размеры проектируемого электровоза следует сравнить с аналогичными у электровоза-образца и при необходимости провести их корректировку.

13 Основные параметры электровоза, рассчитанные по приведенной выше методике, сводят в итоговую таблицу.

### 2.1.1 Пример расчета для грузового электровоза

В таблице 2.4 приведены исходные данные для расчета.

Таблица 2.4 – Исходные данные для расчета

Серия электровоза-образца	ВЛ80 <sup>С</sup>
Расчетная скорость, км/ч	50
Конструкционная скорость, км/ч	100
Уклон на расчетном подъеме, ‰	4

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$\omega_0' = 19 + 0,08 v_p + 0,0025 v_p^2;$$

$$\omega_0' = 19 + 0,08 \cdot 50 + 0,0025 \cdot 50^2 = 29,3 \text{ Н/т.}$$

Так как проектируемый электровоз – грузовой, то по формуле (2.5) рассчитываем основное удельное сопротивление движению для грузовых четырехосных вагонов, а осевую нагрузку принимаем равной 25 т/ось:

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 0,8 v_p + 0,02 v_p^2}{q_0^{\text{пр}}};$$

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 0,8 \cdot 50 + 0,02 \cdot 50^2}{25} = 13,8 \text{ Н/т.}$$

Сопротивление от уклона пути

$$\omega_i = 10 i_p;$$

$$\omega_i = 10 \cdot 4 = 40 \text{ Н/т.}$$

Электровоз-образец ВЛ80<sup>С</sup> – грузовой электровоз переменного тока, поэтому принимаем по таблице 2.1 массу состава  $Q = 7500$  т, а массу электровоза из приложения А принимаем  $P = 184$  т.

Тогда касательная сила тяги на расчетном подъеме

$$F_k = P (\omega_0' + \omega_i) + Q (\omega_0'' + \omega_i);$$

$$F_k = 184(29,3 + 40) + 7500(13,8 + 40) = 416,3 \text{ кН.}$$

Расчетная касательная мощность электровоза на ободу колеса

$$P_k = \frac{F_k v_p}{3,6};$$

$$P_k = \frac{416,3 \cdot 50}{3,6} = 5782 \text{ кВт.}$$

Эффективная мощность  $P_3$  определяется как суммарная мощность на валах тяговых электродвигателей, при этом КПД передачи принимаем равным  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ , а коэффициент  $\beta_c = 0,97$

$$P_3 = \frac{P_k}{\eta_{\text{пер}} \beta_c};$$

$$P_3 = \frac{5782}{0,95 \cdot 0,97} = 6275 \text{ кВт.}$$

Сцепной вес грузового локомотива определяется по формуле (2.8), при этом коэффициент использования сцепного веса принимаем равным  $\eta_{\text{в}} = 0,91$

$$N_{\text{сц}} \geq \frac{3,6 P_3}{\psi_k \eta_{\text{в}} v_p};$$

$$N_{\text{сц}} = \frac{3,6 \cdot 6275}{0,25 \cdot 0,91 \cdot 50} = 1986 \text{ кН.}$$

Предварительное значение служебной массы локомотива, т,

$$m_{\text{сл}} = 0,1 N_{\text{сц}} = 0,1 \cdot 1986 = 199 \text{ т.}$$

Так как проектируемый электровоз является восьмиосным, то число колесных пар принимается  $n_{\text{кп}} = 8$ , тогда допустимая статическая нагрузка от колесной пары на рельсы

$$2\Pi = \frac{N_{\text{сц}}}{n_{\text{кп}}};$$

$$2\Pi = \frac{1986}{8} = 248 \text{ кН} \leq [250 \text{ кН}].$$

Требуемый диаметр колесных пар определяется из условия (2.14), где допускаемую нагрузку на 1 мм диаметра колеса принимаем равной  $[2p] = 0,2 \text{ кН/мм}$

$$D_{\text{кп}} \geq \frac{2\Pi}{[2p]};$$

$$D_{\text{кп}} \geq \frac{248}{0,2} = 1240 \text{ мм.}$$

Для унификации ходовых частей и снижения эксплуатационных и ремонтных расходов принимаем колесные пары диаметром  $D_{кп} = 1250$  мм.

Так как электровоз двухсекционный, то длину электровоза по осям автосцепки  $L_{л}$  на начальной стадии проектирования определяем по формуле

$$L_{л} = 8P_{эс} (1 - 0,00008P_{эс}) n_{секц},$$

где  $P_{эс}$  – мощность одной секции электровоза;

$n_{секц}$  – число секций, для ВЛ80<sup>С</sup>,  $n_{секц} = 2$ .

$$P_{эс} = \frac{P_э}{n_{секц}} = 3138 \text{ кВт},$$

$$L_{л} = 8 \cdot 3138 (1 - 0,00008 \cdot 3138) \cdot 2 = 37604 \text{ мм}.$$

Минимальная длина локомотива ограничена прочностью путевых сооружений и должна быть не менее

$$L_{\min} \geq \frac{N_{сц}}{[q_{п}]};$$

$$L_{\min} = \frac{1986}{88,5} = 22441 \text{ мм}.$$

Для исключения больших ошибок на начальной стадии проектирования линейные размеры ( $L_{л}$ ,  $L_{т}$ ) примем аналогичными электровозу-образцу:

– длину электровоза по осям автосцепки принимаем  $L_{л} = 32840$  мм;

– базу тележки принимаем  $L_{т} = 2800$  мм.

Так как проектируемый электровоз двухсекционный, то база локомотива

$$L_б = \frac{0,54 \cdot 32840}{2} = 8867 \text{ мм}.$$

Результаты расчета основных параметров сведем в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчета основных параметров грузового электровоза

Параметр	Обозначение	Значение
Расчетная касательная мощность, кВт	$P_{к}$	5782
Эффективная мощность, кВт	$P_э$	6275
Сцепной вес локомотива, кН	$N_{сц}$	1986
Служебная масса локомотива, т	$m_{сл}$	199
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	2П	248
Диаметр колесных пар, мм	$D_{кп}$	1250
Длина электровоза по осям автосцепки, мм	$L_{л}$	32840
Минимальная длина локомотива, мм	$L_{\min}$	22441
База тележки, мм	$L_{т}$	2800
База локомотива, мм	$L_б$	8867

### 2.1.2 Пример расчета для пассажирского электровоза

В таблице 2.6 приведены исходные данные для расчета

Таблица 2.6 – Исходные данные для расчета

Серия электровоза-образца	ЧС4 <sup>Т</sup>
Расчетная скорость, км/ч	100
Конструкционная скорость, км/ч	180
Уклон на расчетном подъеме, ‰	5

Основное удельное сопротивление движению локомотива

$$\omega_0' = 19 + 0,08 v_p + 0,0025 v_p^2;$$

$$\omega_0' = 19 + 0,08 \cdot 100 + 0,0025 \cdot 100^2 = 52,0 \text{ Н/т.}$$

Так как проектируемый электровоз – пассажирский, то по формуле (2.6) рассчитываем основное удельное сопротивление движению для пассажирских четырехосных цельнометаллических вагонов на бесстыковом пути, при этом осевую нагрузку принимаем равной 12 т/ось

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 1,6 v_p + 0,023 v_p^2}{q_0^{\text{пас}}};$$

$$\omega_0'' = 7 + \frac{80 + 1,6 \cdot 100 + 0,023 \cdot 100^2}{12} = 46,2 \text{ Н/т.}$$

Сопротивление от уклона пути

$$\omega_i = 10 i_p;$$

$$\omega_i = 10 \cdot 5 = 50 \text{ Н/т.}$$

Электровоз-образец ЧС4<sup>Т</sup> – пассажирский электровоз переменного тока, поэтому по таблице 2.1 массу состава принимаем  $Q = 1200$  т, а массу электровоза из приложения А –  $P = 123$  т. Тогда касательная сила тяги на расчетном подъеме

$$F_k = P(\omega_0' + \omega_i) + Q(\omega_0'' + \omega_i);$$

$$F_k = 123(52 + 50) + 1200(46,2 + 50) = 128,0 \text{ кН.}$$

Расчетная касательная мощность электровоза на ободу колеса

$$P_k = \frac{F_k v_p}{3,6};$$

$$P_k = \frac{128 \cdot 100}{3,6} = 3556 \text{ кВт.}$$

Эффективная мощность  $P_3$  определяется как суммарная мощность на валах тяговых электродвигателей, при этом КПД передачи принимаем равным  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ , а коэффициент  $\beta_c = 0,97$

$$P_3 = \frac{P_k}{\eta_{\text{пер}} \beta_c};$$

$$P_3 = \frac{3556}{0,95 \cdot 0,97} = 3859 \text{ кВт.}$$

Для пассажирского локомотива сцепной вес определяется из условия обеспечения заданного ускорения при разгоне поезда

$$N_{\text{сц}} \geq \frac{Q^{\text{нас}} (\omega_0 + \omega_{\text{тр}} + \omega_i + \omega_y)}{10^3 \psi_k \eta_{\text{в}}}.$$

Удельное сопротивление состава в момент трогания с места

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{28}{q_0^{\text{нас}} + 7};$$

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{28}{12 + 7} = 1,5 \text{ Н/т.}$$

Удельное сопротивление от ускоряющего усилия при  $a_n = 1800 \text{ км/ч}^2$

$$\omega_y = \frac{a_n}{\zeta};$$

$$\omega_y = \frac{1800}{12,2} = 147,5 \text{ Н/т.}$$

Тогда сцепной вес расчетного электровоза

$$N_{\text{сц}} = \frac{1200 \cdot (52,0 + 1,5 + 50 + 147,5)}{10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,91} = 1324 \text{ кН.}$$

Предварительное значение служебной массы локомотива, т,

$$m_{\text{сл}} = 0,1 N_{\text{сц}} = 0,1 \cdot 1324 = 132 \text{ т.}$$

Так как проектируемый электровоз – шестиосный, то число колесных пар принимается  $n_{\text{кп}} = 6$ , тогда допустимая статическая нагрузка от колесной пары на рельсы

$$2\Pi = \frac{N_{\text{сц}}}{n_{\text{кп}}};$$

$$2\Pi = \frac{1324}{6} = 221 \text{ кН} \leq [250 \text{ кН}].$$

Требуемый диаметр колесных пар определяется из условия (2.14), где допускаемую нагрузку на 1 мм диаметра колеса принимаем равной  $[2p] = 0,2 \text{ кН/мм}$

$$D_{\text{кп}} \geq \frac{2\Pi}{[2p]},$$

$$D_{\text{кп}} \geq \frac{221}{0,2} = 1105 \text{ мм.}$$

Для унификации ходовых частей и снижения эксплуатационных и ремонтных расходов принимаем колесные пары диаметром  $D_{\text{кп}} = 1250$  мм.

Так как проектируемый электровоз односекционный, то длина электровоза по осям автосцепки  $L_{\text{л}}$ , на начальной стадии проектирования

$$L_{\text{л}} = 8P_3 (1 - 0,00008P_3);$$

$$L_{\text{л}} = 8 \cdot 3859 (1 - 0,00008 \cdot 3859) = 21341 \text{ мм.}$$

Минимальная длина локомотива ограничена прочностью путевых сооружений, и должна быть не менее

$$L_{\text{min}} \geq \frac{N_{\text{сц}}}{[q_{\text{п}}]};$$

$$L_{\text{min}} = \frac{1324}{88,5} = 14960 \text{ мм.}$$

Для исключения больших ошибок на начальной стадии проектирования линейные размеры ( $L_{\text{л}}$ ,  $L_{\text{т}}$ ) примем аналогичными электровозу-образцу:

- длину электровоза по осям автосцепки принимаем  $L_{\text{л}} = 19980$  мм;
- базу тележки принимаем  $L_{\text{т}} = 4600$  мм.

База локомотива при  $e = 0,5$  предварительно

$$L_{\text{б}} = e L_{\text{л}};$$

$$L_{\text{б}} = 0,5 \cdot 19980 = 9990 \text{ мм.}$$

Результаты расчета основных параметров электровоза сведем в таблицу 2.7.

**Таблица 2.7 – Результаты расчета основных параметров пассажирского электровоза**

Параметр	Обозначение	Значение
Расчетная касательная мощность, кВт	$P_{\text{к}}$	3556
Эффективная мощность, кВт	$P_3$	3859
Сцепной вес локомотива, кН	$N_{\text{сц}}$	1324
Служебная масса локомотива, кН	$m_{\text{сл}}$	132
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	$2\Pi$	221
Диаметр колесных пар, мм	$D_{\text{кп}}$	1250
Длина электровоза по осям автосцепки, мм	$L_{\text{л}}$	19980
Минимальная длина локомотива, мм	$L_{\text{min}}$	14960
База тележки, мм	$L_{\text{т}}$	4600
База локомотива, мм	$L_{\text{б}}$	9990

### 3 ВПИСЫВАНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В ГАБАРИТ

Для обеспечения безопасности движения поездов установлены предельные контуры приближения строений к оси пути и максимальные размеры подвижного состава. Безопасность движения соблюдается, если размеры поперечного сечения локомотива находятся в определенных пределах, а все сооружения и технические средства приближаются к пути не более чем на определенные величины. Эти ограничения в строительстве подвижного состава и сооружений определяются габаритами подвижного состава и приближения строений.

*Габарит приближения строений* – предельные поперечные (перпендикулярные оси пути) очертания, внутрь которых помимо подвижного состава не должны заходить никакие части сооружений и устройств, а также лежащие около пути материалы, запасные части и оборудование, за исключением частей устройств, предназначенных для непосредственного взаимодействия с подвижным составом (контактных проводов с деталями крепления, хоботов гидравлических колонок при наборе воды и др.), при условии, что положение этих устройств во внутригабаритном пространстве увязано с частями подвижного состава, с которыми они могут соприкасаться, и что они не могут вызвать соприкосновения с другими элементами ПС.

*Габарит подвижного состава* – поперечные (перпендикулярные оси пути) очертания, в которых, не выходя наружу, должен помещаться установленный на прямом горизонтальном пути (при наиболее неблагоприятном положении в колее и отсутствии боковых наклонов на рессорах и динамических колебаний) как в порожнем, так и в нагруженном состоянии не только новый подвижной состав, но и подвижной состав, имеющий максимально нормируемые износы.

*Строительное очертание подвижного состава* – поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, получаемое уменьшением габарита подвижного состава, наружу которого не должна выходить ни одна часть вновь построенного подвижного состава в ненагруженном состоянии при нахождении на прямом горизонтальном пути и при совмещении его продольной вертикальной срединной плоскости с осью пути.

*Проектное очертание подвижного состава* – поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, имеющее размеры, уменьшенные по сравнению с размерами строительного очертания на величину плюсовых допусков, внутри которого должны находиться все расположенные в рассматриваемом сечении элементы конструкции проектируемого подвижного состава, имеющие номинальные размеры.

Строительные и проектные очертания должны определяться для всех характерных сечений проектируемого подвижного состава.



Пространство между габаритом приближения строений и локомотивом обеспечивает безопасное смещение подвижного состава, возникающее при его движении. В общем случае предусматриваются *зазоры для компенсации* четырех основных *групп смещений*, обусловленные:

- а) отклонениями в состоянии пути (уширение колеи, упругое отжатие рельсов, перекосяк и износ шпал);
- б) колебаниями на рессорном подвешивании;
- в) зазорами, износами ходовых частей и прогибами рессор от статической нагрузки;
- г) выносами частей электровоза в кривых.

Указанные группы смещений составляют итоговое пространственное перемещение электровоза из центрального положения в одну сторону. На рисунке 3.1 представлено расположение габаритов и подвижного состава непосредственно на путях.

Вертикальные размеры габарита подвижного состава поверху являются одновременно и теми максимальными строительными размерами, которые может иметь проектируемый по нему подвижной состав по высоте в ненагруженном состоянии.

Наименьшие допускаемые вертикальные строительные размеры проектируемого подвижного состава понизу получают путем увеличения соответствующих вертикальных размеров габарита подвижного состава на величину возможного в эксплуатации статического параллельного понижения подвижного состава вследствие максимального нормируемого износа ходовых частей, а для обрессоренных деталей и вследствие равномерной осадки рессор и их прогиба от расчетной нагрузки (без учета динамических колебаний).

Для подвижного состава, в процессе эксплуатации которого возможна замена колесных пар одного диаметра на колесные пары другого диаметра, вертикальные размеры должны определяться: поверху – при колесах наибольшего возможного диаметра; понизу – при колесах наименьшего возможного диаметра и подшипниках скольжения.

Окончательные строительные размеры подвижного состава должны устанавливаться с учетом обеспечения возможности работы отдельных частей вновь проектируемого подвижного состава в сочетании с частями существующего подвижного состава.

Методика проведения расчетов по определению строительных размеров подвижного состава в соответствии с приведенными формулами устанавливается Инструкцией по применению габаритов приближения строений и подвижного состава.

Запрещается выпуск предприятием-изготовителем единиц подвижного состава с нарушением строительного очертания.

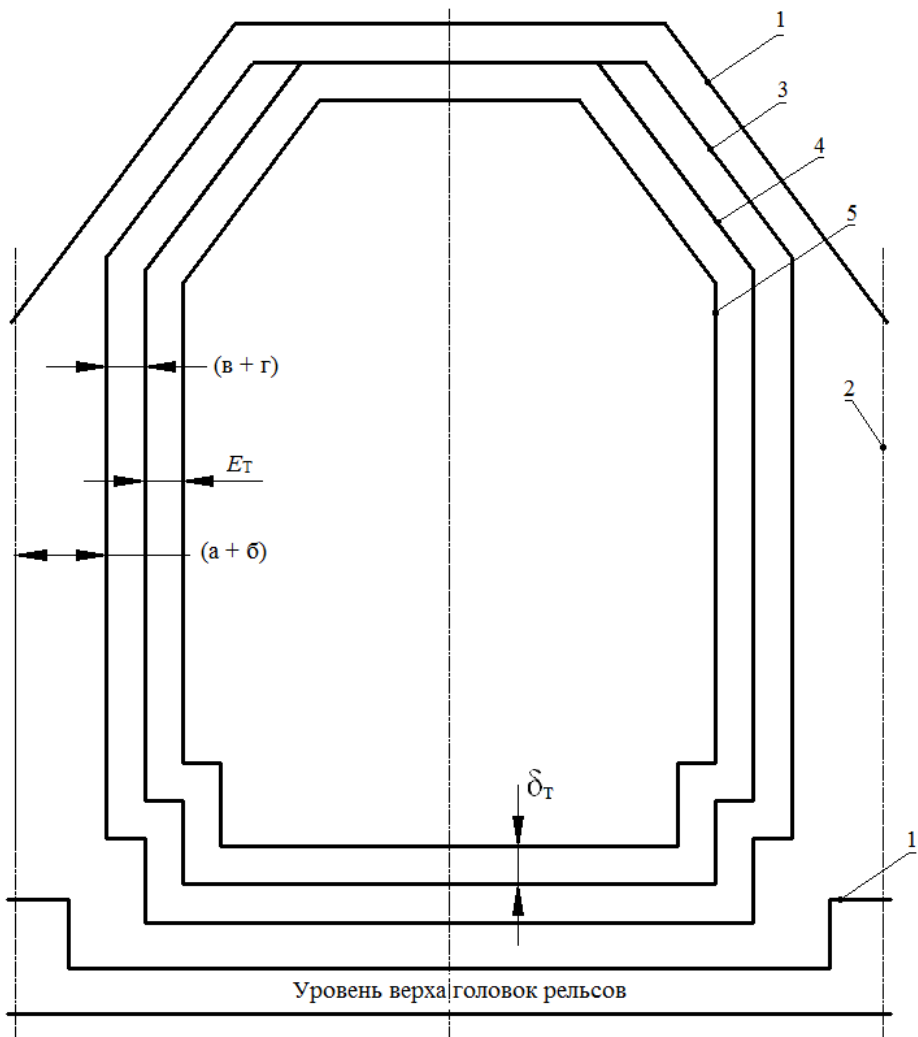


Рисунок 3.1 – Расположение подвижного состава и габаритов:

1 – габарит приближения строений; 2 – ось междупутий; 3 – габарит подвижного состава;  
 4 – строительное очертание локомотива; 5 – проектное очертание локомотива

При проектировании подвижного состава, проходящего через сортировочные горки, размеры его должны быть дополнительно проверены, исходя из условия пропуска через сортировочные горки при минимальном радиусе вертикальной кривой горба горки 250 м.

Проектное очертание подвижного состава понизу следует определять путем увеличения, а поверху и в горизонтальном направлении – путем уменьшения размеров его строительного очертания на величину плюсовых допусков соответствующих частей и деталей подвижного состава при его изготовлении и ремонте.

Вписывание проектируемого подвижного состава в габариты следует осуществлять посредством совмещения на одном отдельном чертеже строительного и проектного очертаний подвижного состава и внешнего контура его соответствующих частей (кузова, тележки, укрепленных на них деталей).

Для каждой выступающей точки, вписываемой в габарит части подвижного состава, должны быть указаны координаты: горизонтальная – от продольной вертикальной срединной плоскости подвижного состава; вертикальная – от уровня верха головок рельсов.

Кроме того, должны быть выполнены схемы расположения надкузовного и подкузовного оборудования, на которых следует указать расстояния от проверяемых сечений рассматриваемой части подвижного состава до пятниковых сечений.

### **3.1 Обозначения и область применения габаритов**

#### **3.1.1 Габариты приближения строений**

С – для путей, сооружений и устройств общей сети железных дорог и внешних подъездных путей от станции примыкания до территории промышленных и транспортных предприятий (приложение Б);

С<sub>п</sub> – для путей, сооружений и устройств, расположенных на территории и между территориями заводов, фабрик, мастерских, депо, речных и морских портов, шахт, грузовых дворов, баз, складов, карьеров, лесных и торфяных разработок, электростанций и других промышленных и транспортных предприятий, а также промышленных железнодорожных станций.

#### **3.1.2 Габариты подвижного состава**

Т – для подвижного состава, допускаемого к обращению по путям общей сети железных дорог, внешним и внутренним подъездным путям промышленных и транспортных предприятий, сооружения и устройства на которых отвечают требованиям габаритов приближения строений С (приложение В);

$T_c$  – для цистерн и вагонов-самосвалов, допускаемых к обращению по путям общей сети железных дорог, внешним и внутренним подъездным путям промышленных и транспортных предприятий, сооружения и устройства на которых отвечают установленным требованиям;

$T_{пр}$  – для полувагонов, допускаемых к обращению по путям общей сети железных дорог, внешним и внутренним подъездным путям промышленных и транспортных предприятий;

1-Т – для подвижного состава, допускаемого к обращению по всем путям общей сети железных дорог, внешним и внутренним подъездным путям промышленных и транспортных предприятий;

1-ВМ – для подвижного состава, допускаемого к обращению как по всей сети железных дорог номинальной шириной колеи 1520 мм, так и по магистральным и ряду других линий железных дорог колеи 1435 мм, используемых для международных сообщений;

0-ВМ – для подвижного состава, допускаемого к обращению как по всей сети железных дорог номинальной шириной колеи 1520 мм, так и по всем основным линиям железных дорог колеи 1435 мм, с незначительными ограничениями только на отдельных участках;

02-ВМ – для подвижного состава, допускаемого к обращению как по всей сети железных дорог номинальной шириной колеи 1520 мм, так и по всем железным дорогам колеи 1435 мм;

03-ВМ – для подвижного состава, допускаемого к обращению как по всей сети железных дорог номинальной шириной колеи 1520 мм, так и по всем железным дорогам колеи 1435 мм европейских и азиатских стран.

Нижние части габаритов имеют три предельные линии: для кузова, обрессоренной рамы тележки и закрепленных на ней частей, для необрессоренных частей тележки.

**Габарит ПС** получают исходя из габарита приближения строений и осей междупутья с учетом смещений групп ( $a + б$ ).

**Строительное очертание** локомотива получают из габарита ПС с учетом смещений групп ( $в + г$ ).

**Проектное очертание** получают из отклонений  $E_T$  и  $\delta_r$ , допускаемых при постройке локомотива.

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Предварительное значение передаточного отношения тягового редуктора проектируемого электровоза

$$\mu' = \frac{n_{\text{ВХ}}}{n_{\text{ВЫХ}}}, \quad (4.1)$$

где  $n_{\text{ВХ}}$  – частота вращения входного вала (вал ТЭД) принимается по электровозу-образу (см. приложение А), об/мин;

$n_{\text{ВЫХ}}$  – частота вращения выходного вала тягового редуктора (оси колесной пары), об/мин.

Частота вращения выходного вала, об/мин,

$$n_{\text{ВЫХ}} = \frac{v_p \cdot 60}{3,6 \pi D_{\text{КП}}}, \quad (4.2)$$

где  $v_p$  – расчетная скорость (дана по заданию), км/ч;

$D_{\text{КП}}$  – диаметр колесной пары, м.

Число зубьев шестерни (ведущего) и большого (ведомого) зубчатого колеса определяется из совместного решения двух уравнений

$$\begin{cases} z_{\text{Ш}} + z_{\text{БЗК}} = \frac{2\Pi}{m}, \\ \frac{z_{\text{БЗК}}}{z_{\text{Ш}}} = \mu', \end{cases}$$

где  $z_{\text{Ш}}$  – число зубьев шестерни тяговой передачи;

$z_{\text{БЗК}}$  – число зубьев большого зубчатого колеса тяговой передачи;

$\Pi$  – централь (межосевое расстояние между валом тягового электродвигателя и колесной парой), мм;

$m$  – модуль зубчатого колеса ( $m = 10$  мм).

Значение централи принимается по электровозу-образцу (см. приложение А).

После определения числа зубьев зубчатых колес (с округлением полученных значений до целого числа) окончательно устанавливается передаточное отношение

$$\mu = \frac{z_{\text{БЗК}}}{z_{\text{Ш}}}. \quad (4.3)$$

Диаметры основной окружности зубчатого колеса и шестерни, мм,

$$D_{\text{БЗК}}^{\text{окр}} = m z_{\text{БЗК}}, \quad (4.4)$$

$$D_{\text{Ш}}^{\text{окр}} = m z_{\text{Ш}}. \quad (4.5)$$

Диаметры вершин большого зубчатого колеса и шестерни, мм,

$$D_{\text{бзк}}^{\text{верш}} = D_{\text{бзк}}^{\text{окр}} + 2m, \quad (4.6)$$

$$D_{\text{ш}}^{\text{верш}} = D_{\text{ш}}^{\text{окр}} + 2m. \quad (4.7)$$

Диаметры впадин большого зубчатого колеса и шестерни, мм,

$$D_{\text{бзк}}^{\text{вп}} = D_{\text{бзк}}^{\text{окр}} - 2,5m, \quad (4.8)$$

$$D_{\text{ш}}^{\text{вп}} = D_{\text{ш}}^{\text{окр}} - 2,5m. \quad (4.9)$$

Межосевое расстояние определяют полусуммой диаметров зубчатых колес, мм,

$$a = \frac{D_{\text{бзк}}^{\text{окр}} + D_{\text{ш}}^{\text{окр}}}{2} = \text{Ц}. \quad (4.10)$$

Ширина большого зубчатого колеса, мм,

$$b_{\text{бзк}} = \psi_a a, \quad (4.11)$$

где  $\psi_a$  – коэффициент ширины, выбирается в зависимости от расположения зубчатых колес относительно опор и твердости рабочих поверхностей зубьев (для консольного крепления зубчатых колес  $\psi_a = 0,20 \dots 0,25$ ).

Ширина шестерни принимается большей ширины большого зубчатого колеса в 1,12 раза, мм,

$$b_{\text{ш}} = 1,12 b_{\text{бзк}}. \quad (4.12)$$

#### 4.1 Реактивный момент от работы тягового электродвигателя

Реактивный момент от работы ТЭД, кН·м,

$$M = n_{\text{дв}} M_{\text{дв}}^{\text{max}}, \quad (4.13)$$

где  $n_{\text{дв}}$  – число двигателей в одной тележке (принимается исходя из колесной формулы электровоза);

$M_{\text{дв}}^{\text{max}}$  – максимальный момент, развиваемый двигателем, кН·м,

$$M_{\text{дв}}^{\text{max}} = \frac{M_{\text{кп}}^{\text{max}}}{\mu}, \quad (4.14)$$

где  $M_{\text{кп}}^{\text{max}}$  – максимальный момент, развиваемый колесной парой, кН·м,

$$M_{\text{кп}}^{\text{max}} = \frac{F_{\text{T}} D_{\text{кп}}}{2}, \quad (4.15)$$

где  $F_{\text{T}}$  – сила тяги на ободу колеса при максимальном коэффициенте сцепления колеса с рельсом, кН,

$$F_{\text{T}} = 2\Pi\Psi_{\text{max}}, \quad (4.16)$$

$2\Pi$  – нагрузка от колесной пары на рельсы, кН;

$\Psi_{\text{max}}$  – наибольшее значение коэффициента сцепления колеса с рельсом ( $\psi = 0,3$ ).

#### 4.2 Определение размеров некоторых элементов тяговой передачи

Диаметр вала шестерни, м,

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{16 M_{\text{дв}}^{\text{max}}}{\pi [\tau]}}, \quad (4.17)$$

где  $[\tau]$  – допустимые касательные напряжения,  $[\tau] = 80000 \text{ кН/м}^2$ .

Диаметр стержня подвески ТЭД, м,

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4RK_{\sigma}}{\pi[\sigma]_{\text{ст}}}}, \quad (4.18)$$

где  $R$  – реакция в точке подвески редуктора к раме тележки, кН;

$[\sigma]$  – нормально допустимое напряжение,  $[\sigma]_{\text{ст}} = 100000 \text{ кН/м}^2$ ;

$K_{\sigma}$  – коэффициент запаса ( $K_{\sigma} = 3$ ).

Реакция в точке подвески редуктора к раме тележки, кН,

$$R = \frac{M_{\text{дв}}^{\text{max}} (\mu+1)}{l}, \quad (4.19)$$

где  $l$  – база подвешивания редуктора (принять  $l = 0,7 \dots 1,1 \text{ м}$ ).

#### 4.3 Определение размеров амортизаторов подвески ТЭД

Внутренний диаметр амортизаторов, м,

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{ст}} + 0,004. \quad (4.20)$$

Наружный диаметр амортизаторов, м,

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left( B + \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} \right)}, \quad (4.21)$$

где  $B$  – требуемая площадь стержня амортизатора,  $\text{м}^2$ .

Требуемая площадь стержня амортизатора,  $\text{м}^2$ ,

$$B = \frac{2R(1-\varepsilon)}{[\sigma]_{\text{рез}}}, \quad (4.22)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент увеличения стержня под действием силы, ( $\varepsilon = 0,2$ );  
 $[\sigma]_{\text{рез}}$  – допустимое напряжение для резины ( $[\sigma]_{\text{рез}} = 5000 \text{ кН/м}^2$ ).

#### 4.4 Порядок расчета

1 Из приложения А, по электровозу-образцу выбирается частота вращения  $n_{\text{вх}}$  вала ТЭД; из выражения (4.2) определяется частота вращения колесной пары  $n_{\text{вых}}$ , и по формуле (4.1) определяется предварительное значение передаточного отношения тягового редуктора  $\mu'$ .

2 Из совместного решения двух уравнений определяется число зубьев шестерни  $z_{\text{ш}}$  и большого зубчатого колеса  $z_{\text{бзк}}$ , при этом значение централи  $\zeta$  выбирается по электровозу-образцу из приложения А; полученные значения числа зубьев округляются до целого значения.

3 По формуле (4.3) уточняется передаточное отношение тягового редуктора  $\mu$ .

4 Далее по формулам определяются основные размеры зубчатых колес:  
– (4.4), (4.5) – диаметры основной окружности зубчатого колеса и шестерни;

– (4.6), (4.7) – диаметры вершин зубчатого колеса и шестерни;

– (4.8), (4.9) – диаметры впадин зубчатого колеса и шестерни;

– (4.10) – межосевое расстояние зубчатой передачи;

– (4.11) – ширина шестерни принимается больше ширины большого зубчатого колеса в 1,12 раза.

5 Далее по формулам рассчитывается реактивный момент от работы тяговых электродвигателей:

– (4.16) – сила тяги на ободе колеса  $F_T$ ;

– (4.15) – максимальный момент, развиваемый колесной парой;

– (4.14) – максимальный момент, развиваемый двигателем;

– (4.13) – реактивный момент  $M$  от работы тяговых двигателей в одной тележке.

6 В следующем пункте определяются некоторые размеры элементов подвески тяговой передачи:

– для определения диаметра вала шестерни тяговой передачи  $d_{\text{ш}}$  используется формула (4.17);

– по формуле (4.19) определяется реакция в точке подвески редуктора  $R$ ;



- по формуле (4.18) определяется диаметр  $d_{ст}$  стрежня подвески ТЭД;
- для определения размеров амортизаторов подвески ТЭД по формуле (4.20) определяется внутренний диаметр  $d_{вн}$  амортизатора;
- по формуле (4.22) определяется его требуемая площадь сечения, а по формуле (4.21) – его наружный диаметр  $d_{н}$ .

#### 4.4.1 Пример расчета

Расчеты по четвертому разделу производятся аналогично для все типов электровозов, в качестве примера произведен расчет для электровоза ВЛ80<sup>С</sup> (исходные данные для расчета взяты из таблицы 2.4).

**Определение основных параметров тяговой передачи.** Из приложения А, по электровозу-образцу выбирается частота вращения вала ТЭД  $n_{вх} = 890$  об/мин и значение централи  $\Pi = 545$  мм; диаметр колесной пары –  $D_{кп} = 1,25$  м.

Частота вращения колесной пары

$$n_{вых} = \frac{v_p \cdot 60}{3,6 \pi D_{кп}};$$

$$n_{вых} = \frac{50 \cdot 60}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 1,25} = 212,3 \text{ об/мин.}$$

Предварительное значение передаточного отношения тягового редуктора (зубчатой передачи)

$$\mu' = \frac{n_{вх}}{n_{вых}};$$

$$\mu' = \frac{890}{212,3} = 4,19.$$

Из совместного решения системы уравнений определяем число зубчатых колес тяговой передачи

$$\begin{cases} z_{ш} + z_{бзк} = \frac{2\Pi}{m}, \\ \frac{z_{бзк}}{z_{ш}} = \mu'. \end{cases}$$

Получено:

- число зубьев шестерни тяговой передачи  $z_{ш} = 21$ ;
- число зубьев большого зубчатого колеса  $z_{бзк} = 88$ .

Окончательное значение передаточного отношения тягового редуктора

$$\mu = \frac{z_{бзк}}{z_{ш}};$$

$$\mu = \frac{88}{21} = 4,19.$$

Диаметры основной окружности зубчатого колеса и шестерни

$$D_{бзк}^{окр} = m z_{бзк};$$

$$D_{бзк}^{окр} = 10 \cdot 88 = 880 \text{ мм};$$

$$D_{ш}^{окр} = m z_{ш};$$

$$D_{ш}^{окр} = 10 \cdot 21 = 210 \text{ мм}.$$

Диаметры вершин большого зубчатого колеса и шестерни

$$D_{бзк}^{верш} = D_{бзк}^{окр} + 2m;$$

$$D_{бзк}^{верш} = 880 + 2 \cdot 10 = 900 \text{ мм};$$

$$D_{ш}^{верш} = D_{ш}^{окр} + 2m;$$

$$D_{ш}^{верш} = 210 + 2 \cdot 10 = 230 \text{ мм}.$$

Диаметры впадин большого зубчатого колеса и шестерни

$$D_{бзк}^{вп} = D_{бзк}^{окр} - 2,5m;$$

$$D_{бзк}^{вп} = 880 - 2,5 \cdot 10 = 855 \text{ мм};$$

$$D_{ш}^{вп} = D_{ш}^{окр} - 2,5m;$$

$$D_{ш}^{вп} = 210 - 2,5 \cdot 10 = 185 \text{ мм}.$$

Межосевое расстояние зубчатой передачи

$$a = \frac{D_{\text{бзк}}^{\text{окр}} + D_{\text{ш}}^{\text{окр}}}{2};$$
$$a = \frac{880 + 210}{2} = 545 \text{ мм.}$$

Ширина большого зубчатого колеса

$$b_{\text{бзк}} = \psi_a a;$$
$$b_{\text{бзк}} = 0,2 \cdot 545 = 109 \text{ мм.}$$

Ширина шестерни принимается больше ширины большого зубчатого колеса в 1,12 раза:

$$b_{\text{ш}} = 1,12 b_{\text{бзк}};$$
$$b_{\text{ш}} = 1,12 \cdot 109 = 122 \text{ мм.}$$

**Реактивный момент от работы тягового электродвигателя.** Сила тяги на ободу колеса при максимальном коэффициенте сцепления

$$F_T = 2\Pi\psi_{\text{max}};$$
$$F_T = 248 \cdot 0,3 = 74,4 \text{ кН.}$$

Максимальный момент, развиваемый колесной парой,

$$M_{\text{кп}}^{\text{max}} = \frac{F_T D_{\text{кп}}}{2};$$
$$M_{\text{кп}}^{\text{max}} = \frac{74,4 \cdot 1,25}{2} = 46,5 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Максимальный момент, развиваемый двигателем,

$$M_{\text{дв}}^{\text{max}} = \frac{M_{\text{кп}}^{\text{max}}}{\mu};$$
$$M_{\text{дв}}^{\text{max}} = \frac{46,5}{4,19} = 11,1 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Так как число ТЭД в одной тележке электровоза  $n_{\text{дв}} = 2$ , то реактивный момент от работы ТЭД

$$M = n_{\text{дв}} M_{\text{дв}}^{\text{max}};$$
$$M = 2 \cdot 11,1 = 22,2 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

### Определение размеров некоторых элементов тяговой передачи.

Диаметр вала шестерни

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{16 M_{дв}^{\max}}{\pi [\tau]}}$$

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 11,1}{3,14 \cdot 80000}} = 0,089 \text{ м.}$$

Базу подвешивания редуктора принимаем  $l = 0,88$  м, тогда реакция в точке подвески редуктора к раме тележки

$$R = \frac{M_{дв}^{\max} (\mu + 1)}{l};$$

$$R = \frac{11,1 (4,19 + 1)}{0,88} = 65,5 \text{ кН.}$$

Диаметр стержня подвески ТЭД

$$d_{ст} = \sqrt[3]{\frac{4RK_{\sigma}}{\pi [\sigma]_{ст}}}$$

$$d_{ст} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 65,5 \cdot 3}{3,14 \cdot 100000}} = 0,050 \text{ м.}$$

**Определение размеров амортизаторов подвески ТЭД.** Внутренний диаметр амортизаторов

$$d_{вн} = d_{ст} + 0,004;$$

$$d_{вн} = 0,050 + 0,004 = 0,054 \text{ м.}$$

Требуемая площадь стержня амортизатора

$$B = \frac{2R(1-\varepsilon)}{[\sigma]_{рез}};$$

$$B = \frac{2 \cdot 65,5 (1 - 0,2)}{5000} = 0,021 \text{ м}^2.$$

Наружный диаметр амортизаторов

$$d_{н} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left( B + \frac{\pi d_{вн}^2}{4} \right)};$$

$$d_{н} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \left( 0,021 + \frac{3,14 \cdot 0,054^2}{4} \right)} = 0,172 \text{ м.}$$

## 5 ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ВПИСЫВАНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В КРИВУЮ

Геометрическое вписывание выполняется круговым или эллиптическим (параболическим) способом. При выполнении курсового проекта предлагается круговой способ, менее точный, но более наглядный. При этом способе рельсовый путь изображается в виде двух дуг, вычерченных радиусами из одного центра. Радиус внешней дуги соответствует заданному радиусу кривой, а радиус внутренней дуги будет меньше на величину суммарного зазора  $2\sigma$  между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей (рисунок 5.1) и на величину уширения колеи в кривой  $\Delta$ .

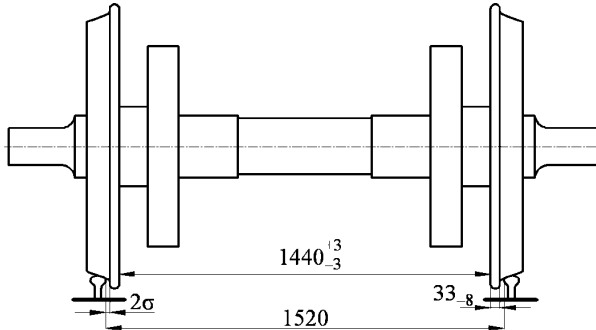


Рисунок 5.1 – Определение суммарного зазора ( $2\sigma$ ) между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей

Изображение экипажа в виде линии позволяет легко определить в натуральную величину перемещения различных точек экипажа относительно рельсов и проверить геометрическую проходимость экипажа с базой  $L_6$  в кривой заданного радиуса.

Ширина полей зазоров  $2\sigma + \Delta$  измеряется в миллиметрах, длина экипажа – в десятках метров, а радиус кривой – в сотнях метров. Все эти размеры невозможно изобразить на чертеже в одном масштабе. Поэтому для их изображения используются разные, связанные между собой масштабы ( $m_r = 5, 10 \dots 20$ ), а также выбирается коэффициент искажения ( $n = 8 \dots 10$ ).

Радиус внешней дуги (рельса) в масштабе, мм,

$$R_1 = \frac{1000 R_r}{m_r n^2}, \quad (5.1)$$

где  $R_r$  – радиус кривой для геометрического вписывания (по заданию), м.

Радиус внутренней дуги (рельса) в масштабе, мм,

$$R_2 = R_1 - \frac{2\sigma + \Delta}{m_r}. \quad (5.2)$$

Ширину полей зазоров  $2\sigma + \Delta$  при геометрическом вписывании следует принять минимальную с учетом допускаемых отклонений от номинальных размеров. Суммарный зазор  $2\sigma$  между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей в прямом участке пути

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} - (1440_{-3}^{+3} + 2 \cdot 33_{-8}^0) \text{ мм, при скорости до } 120 \text{ км/ч;}$$

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} - (1440_{-3}^{+3} + 2 \cdot 33_{-5}^0) \text{ мм, при скоростях свыше } 120 \text{ км/ч.} \quad (5.3)$$

Согласно ПТЭ Белорусской железной дороги уширение колеи  $\Delta$  в кривой принимается

$\Delta = 15$  мм – при радиусе кривой до 300 м;

$\Delta = 10$  мм – при радиусе кривой от 300 до 350 м. (5.4)

База тележки в выбранном масштабе, мм,

$$b = \frac{L_T}{m:n}. \quad (5.5)$$

База локомотива в выбранном масштабе, мм,

$$l = \frac{L_6}{m:n}. \quad (5.6)$$

Все необходимые построения выполняются на листе формата А3 (А4).

### 5.1 Порядок построения

На рисунке 5.2 показан пример построений, необходимых для проверки геометрического вписывания электровоза в кривой участок пути, при этом размер  $x_2$  показывает несимметричное расположение шкворня относительно центра тележки (для упрощения построений можно не учитывать).

Порядок построений следующий:

1 Проводим дуги радиусом  $R_1$  и  $R_2$  и отмечаем на них базу передней тележки в положении наибольшего перекоса, при котором первая колесная пара I прижата гребнем к наружному, а задняя III – к внутреннему рельсу.

2 Отметив на линии базы первой тележки точку II, соответствующую шкворню, проводим через эту точку дугу радиусом  $R_3$ . Делаем на дуге  $R_3$  засечку из точки II радиусом, равным расстоянию между шкворнями  $L$ . Получим точку расположения средней оси задней тележки V.

3 Из точки V раствором циркуля  $b/2$  делаем засечки на дугах, условно изображающих наружный и внутренний рельсы. Получим точки расположения соответствующих осей задней тележки (IV и VI) в положении наибольшего перекоса.

4 Опустив из центра кривой  $O_1$  перпендикуляры на линию баз тележек, получим центры их поворотов  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ . Опустив перпендикуляр из точки  $O_1$  на прямую II – V, получим углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

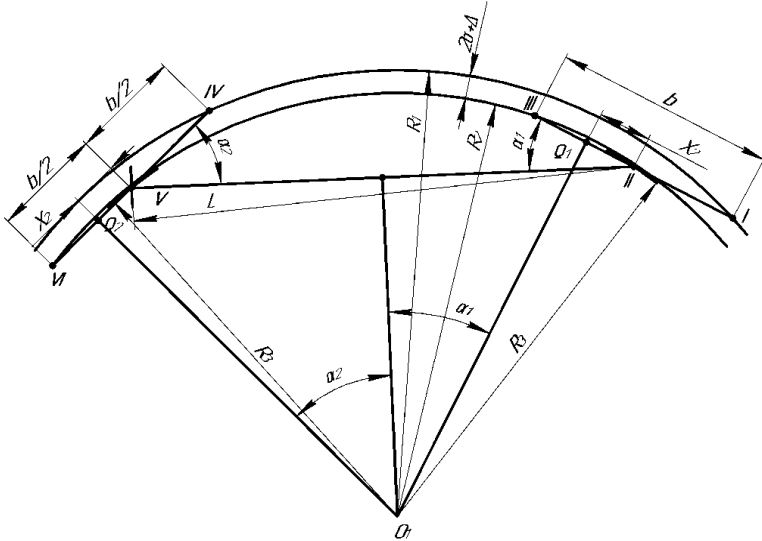


Рисунок 5.2 – Геометрическое вписывание электровоза в кривую

Рисунок следует вычертить на миллиметровой бумаге (формата А3, А4) для определения углов поворота тележек.

Истинные значения углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  определяются по формулам:

$$\arcsin A_1 = \frac{\sin \alpha_1}{n}, \quad (5.7)$$

$$\arcsin A_2 = \frac{\sin \alpha_2}{n}. \quad (5.8)$$

Если углы поворота тележек  $A_1$  и  $A_2$  не превышают  $3,5^\circ$ , то геометрическое вписывание электровоза в кривую выполняется.

### 5.1.1 Пример расчета

Для выполнения геометрического вписывания необходимы следующие исходные данные (таблица 5.1): радиус кривого участка пути, размеры баз тележки и локомотива.

Таблица 5.1 – Исходные данные для выполнения геометрического вписывания

Серия электровоза-образца	ВЛ80 <sup>С</sup>
Радиус кривого участка пути для геометрического вписывания, м	280
База тележки электровоза, мм	2800
База электровоза, мм	8867

Принимаем: коэффициент искажения  $n = 10$ ; масштаб  $m_r = 10$ .

Радиус наружного рельса

$$R_1 = \frac{1000 R_r}{m_r n^2};$$
$$R_1 = \frac{1000 \cdot 280}{10^2 \cdot 10} = 280 \text{ мм.}$$

Минимальный суммарный зазор  $2\sigma$  между головкой рельса и гребнем бандажа колесной пары при скорости движения в кривой до 120 км/ч принимаем согласно (5.3)

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} - (1440_{-3}^{+3} + 2 \cdot 33_{-8}^0) =$$
$$= (1520 - 4) - ((1440 + 3) + 2 \cdot (33 + 0)) = 1516 - (1443 + 2 \cdot 33) = 7 \text{ мм.}$$

Уширение колеи в кривой согласно (5.4) при  $R_d = 280$  м составляет  $\Delta = 15$  мм. Тогда радиус внутреннего рельса

$$R_2 = R_1 - \frac{2\sigma + \Delta}{m_r};$$
$$R_2 = 280 - \frac{7 + 15}{10} = 277,8 \text{ мм.}$$

База тележки электровоза в масштабе

$$b = \frac{L_r}{m_r n};$$
$$b = \frac{2800}{10 \cdot 10} = 28 \text{ мм.}$$

База электровоза в масштабе

$$L = \frac{L_6}{m_r n};$$
$$l = \frac{8867}{10 \cdot 10} = 89 \text{ мм.}$$

Выполнив необходимые построения согласно подразделу 5.1, определяем углы поворота тележек  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Они составили:  $\alpha_1 = 20^\circ$  и  $\alpha_2 = 31^\circ$ , тогда

$$\arcsin A_1 = \frac{\sin \alpha_1}{n} = \frac{\sin 20}{10} = \frac{0,342}{10} = 0,0342;$$

$$A_1 = 1,96^\circ;$$

$$\arcsin A_2 = \frac{\sin \alpha_2}{n} = \frac{\sin 31}{10} = \frac{0,515}{10} = 0,0515;$$

$$A_2 = 2,95^\circ.$$

Так как углы поворота тележек при проследовании кривого участка пути радиусом 280 м не превышают  $3,5^\circ$ , геометрическое вписывание электровоза в кривую выполняется.



## 6 ДИНАМИЧЕСКОЕ ВПИСЫВАНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В КРИВУЮ

Решение задач динамического вписывания предусматривает определение максимальной скорости движения локомотива в кривой, при которой обеспечивается безопасность движения и комфорт пассажиров.

Безопасность движения оценивается критериями безопасности, которые характеризуют величины боковых усилий на рельсы и упругое отжатие рельсов под действием этих усилий. Большая величина бокового усилия может привести ксползанию колеса на рельс и сходу, а большая величина отжатия рельс – к расшивке пути.

Критерием комфорта пассажиров является величина непогашенного ускорения  $a_n$ . Это максимальное ускорение, при котором человек не испытывает чувства страха при входе экипажа в кривую. Его величина не должна превышать  $0,7 \text{ м/с}^2$ .

При динамическом вписывании определяются горизонтальные усилия, передаваемые колесами локомотива на головки рельсов. При движении в кривой на локомотив действует множество сил, весь комплекс которых учесть не всегда удастся. Поэтому решение задач динамического вписывания выполняют с некоторыми допущениями и учитывают только следующие силы:

- горизонтальные составляющие сил трения бандажей о рельсы  $F_i$ ;
- центробежную силу, действующую на тележку  $C$ ;
- горизонтальную составляющую веса локомотива, возникающую от возвышения наружного рельса в кривой  $C_1$ ;
- боковые реакции со стороны рельсов от воздействия упирающихся в них колес (направляющие усилия)  $u_i$ ;
- боковые давления колес на головки рельсов  $u_{1д}'$ , представляющие собой разность между направляющими усилиями и силами трения бандажей о рельсы;
- возвращающие силы и моменты при наличии в экипаже возвращающих устройств  $M_b$ , а также моменты трения в опорах  $M_{тр}$ .

Реакции со стороны головок рельсов  $u_i$  являются внешними силами, направляющими движение экипажа в кривой. Это движение может быть представлено в виде непрерывной суммы двух движений: поступательного вдоль продольной оси экипажа и вращательного вокруг точки, называемой **центром поворота** или **полюсом тележки**  $\Omega$ . Расстояние от осей колесных пар до центра поворота тележки называют **полюсным расстоянием**  $x_i$ .

В зависимости от скорости движения электровоза в кривой тележка может занимать следующие положения (рисунок 6.1):

- **положение наибольшего перекоса**, когда первая колесная пара прижата к наружному рельсу, а задняя – к внутреннему (линия НП);

- **положение свободной установки**, когда задняя колесная пара не передает усилия на рельсы (линия СУ);
- **положение высоких скоростей** (установка по хорде), когда обе колесные пары прижаты к наружному рельсу (линия ВС).

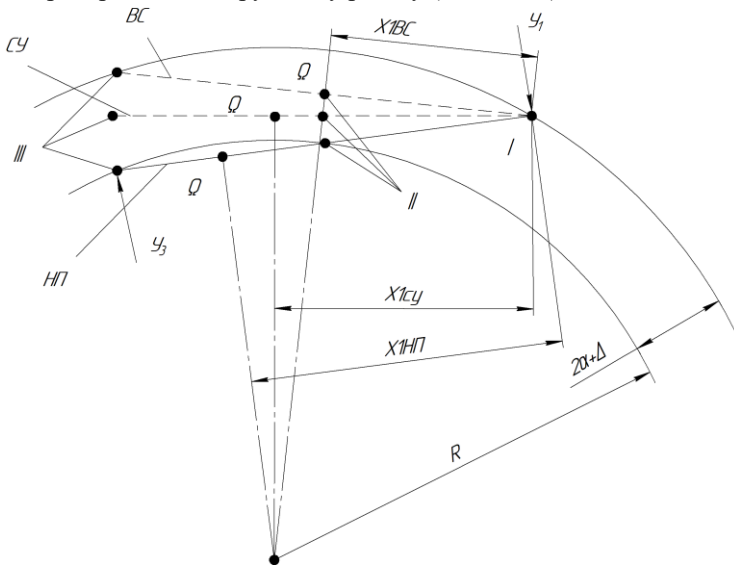


Рисунок 6.1 – Положения, занимаемые тележкой в кривой в зависимости от скорости движения локомотива:

$y_1, y_3$  – боковые реакции со стороны рельсов от воздействия упирающихся в них колес;  
 I, II, III – колесные пары;  $x_{1BC}, x_{1СУ}, x_{1НП}$  – полюсные расстояния

### 6.1 Составление уравнений равновесия сил и моментов

Зависимости направляющих усилий  $y_i = f(v)$  и бокового давления  $y_{1д}' = f(v)$  обычно называют **динамическим паспортом локомотива в горизонтальной плоскости**. Для построения этих зависимостей необходимо решить систему уравнений равновесия тележки для различных ее положений в кривой, обусловленных скоростью движения локомотива. Тележка считается находящейся в равновесии, если силы и моменты, приложенные к ней, уравновешиваются внешними силами, то есть реакциями рельсов. Для рассматриваемой тележки (рисунок 6.2) реакциями рельсов являются усилия  $y_1$  и  $y_3$ . Начать следует с определения допустимой скорости движения электровоза в кривой, а затем вычерчивания схемы тележки электровоза и указания всех основных сил и моментов, действующих на нее. Для определения центра поворота тележки  $\Omega$  считаем, что **тележка находится в положении наибольшего перекоса**.

Наибольшая допустимая скорость движения электровоза в кривой, км/ч,

$$v_{\text{доп}} = \sqrt{R_{\text{д}}(0,08h + 13a_{\text{н}})}, \quad (6.1)$$

где  $h$  – возвышение наружного рельса в кривой (по заданию), мм;

$a_{\text{н}}$  – непогашенное ускорение ( $a_{\text{н}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ ).

Полусное расстояние для первой (направляющей) колесной пары, м,

$$x_1 = \frac{L_{\text{т}}}{2} + \frac{R_{\text{д}}(2\sigma + \Delta)}{L_{\text{т}} 1000}, \quad (6.2)$$

где  $L_{\text{т}}$  – база тележки электровоза, м;

$R_{\text{д}}$  – радиус кривой для динамического вписывания (по заданию), м;

$2\sigma$  – суммарный зазор между внутренними гранями головок рельсов и гребнями бандажей (5.3), мм;

$\Delta$  – уширение колеи в кривой при динамическом вписывании следует принять согласно (5.4) в зависимости от радиуса для динамического вписывания  $R_{\text{д}}$ , мм.

Полусные расстояния  $x_2$  и  $x_3$  определяются как расстояния от точки поворота тележки  $\Omega$  до, соответственно, оси второй и третьей колесной пары. Следует отметить, что полусное расстояние  $x_1$  с увеличением скорости уменьшается до  $L_{\text{т}}/2$ .

У трехосных тележек разбег средней колесной пары составляет 14 мм, поэтому первая составляющая силы  $F_2$ , равная  $F_2 \cos \alpha_2$  (рисунок 6.3), на раму тележки не передается и при составлении уравнения равновесия сил не учитывается. Однако при составлении уравнения равновесия моментов учитывается составляющая силы  $F_2$ , действующая вдоль рельсов и равная  $F_2 \sin \alpha_2$ .

Следует иметь в виду, что от положения центра поворота тележки  $\Omega$  зависит знак силы  $F_3 \cos \alpha_3$ ; если центр поворота находится за задней осью, то эта сила положительна, если между второй или третьей осями – отрицательна.

Для схемы с двухосной тележкой, показанной на рисунке 6.2, уравнения равновесия имеют вид:

– уравнение сил

$$-y_1 + C - C_1 + y_2 + 2F_1 \cos \alpha_1 + 2F_2 \cos \alpha_2 = 0; \quad (6.3)$$

– уравнение моментов

$$y_1 x_1 - C \left( x_2 + \frac{L_{\text{т}}}{2} \right) + C_1 \left( x_2 + \frac{L_{\text{т}}}{2} \right) - y_2 x_2 - M - 2F_1 r_1 - 2F_2 r_2 = 0, \quad (6.4)$$

где  $y_1, y_2$  – направляющие усилия от рельсов, обеспечивающие поворот тележки в кривой;

$C$  – центробежная сила, действующая на тележку при движении в кривой;

$C_1$  – горизонтальная сила, возникающая от возвышения наружного рельса  $h$ ;

- $M$  – суммарный момент сопротивления, возникающий в опорновозвращающих устройствах при повороте тележки вокруг шкворня;
- $F_1, F_2$  – силы трения в опорных точках колес, направленные перпендикулярно лучам  $r_1, r_2$ ;
- $2S$  – расстояние между кругами катания бандажей колес ( $2S = 1,6$  м).

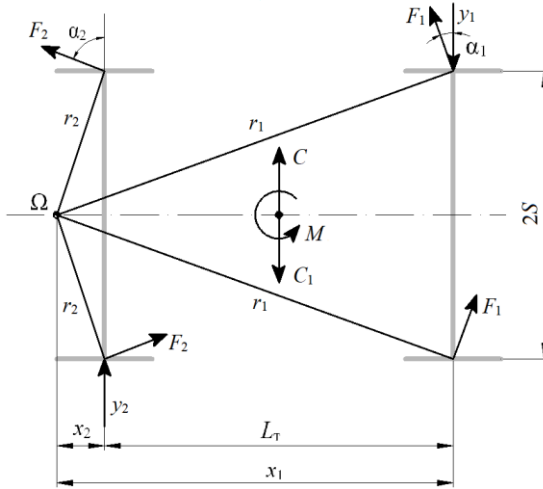


Рисунок 6.2 – Силы и моменты, действующие на двухосную тележку

Для схемы с трехосной тележкой, показанной на рисунке 6.3, уравнения равновесия имеют вид:

– уравнение сил

$$-y_1 + C - C_1 + y_3 + 2F_1 \cos \alpha_1 - 2F_3 \cos \alpha_3 = 0; \quad (6.5)$$

– уравнение моментов

$$y_1 x_1 - C x_2 + C_1 x_2 + y_3 x_3 - M - 2F_1 r_1 - 2S F_2 \sin \alpha_2 - 2F_3 r_3 = 0, \quad (6.6)$$

где  $y_1, y_3$  – направляющие усилия от рельсов, обеспечивающие поворот тележки в кривой;

$C$  – центробежная сила, действующая на тележку при движении в кривой;

$C_1$  – горизонтальная сила, возникающая от возвышения наружного рельса  $h$  в кривой;

$M$  – суммарный момент сопротивления, возникающий в опорновозвращающих устройствах при повороте тележки вокруг шкворня;

$F_1, F_2, F_3$  – силы трения в опорных точках колес, направленные перпендикулярно лучам  $r_1 - r_3$ ;

$2S$  – расстояние между кругами катания бандажей колес ( $2S = 1,6$  м).

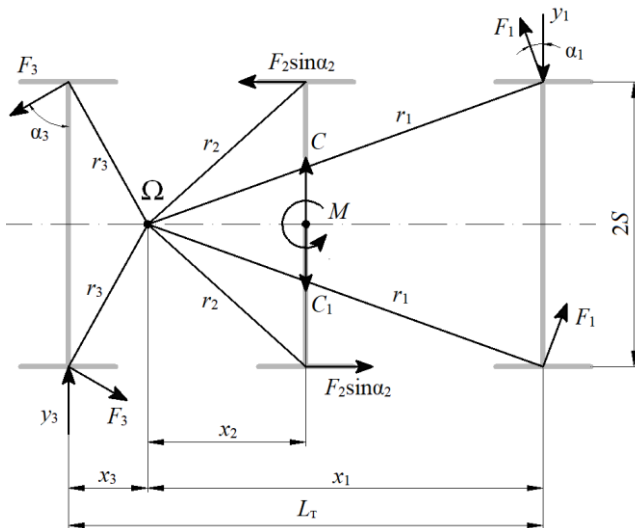


Рисунок 6.3 – Силы и моменты, действующие на трехосную тележку

## 6.2 Определение сил, входящих в уравнения равновесия

Средние значения сил трения в опорных точках колес (бандажей о рельсы) считаются равными для всех колесных пар электровоза. Приближенно они могут быть определены следующим образом, кН,

$$2F_i = 2\Pi f_{\text{тр}}, \quad (6.7)$$

где  $2\Pi$  – статическое давление от колесной пары на рельсы, кН;

$f_{\text{тр}}$  – коэффициент трения между рельсами и бандажами ( $f_{\text{тр}} = 0,25$ ).

Центробежная сила, действующая на тележку в кривой (рисунок 6.4)

$$C = \frac{G v^2}{3,6^2 g R_d}, \quad (6.8)$$

где  $G$  – часть веса электровоза, приходящаяся на тележку, кН;

$v$  – скорость движения электровоза в кривой, км/ч;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ );

$R_d$  – радиус кривой для динамического вписывания (по заданию), м.

Часть веса электровоза, приходящегося на тележку, кН,

$$G = \frac{N_{\text{сц}}}{n_t}, \quad (6.9)$$

где  $n_t$  – число тележек на электровозе (по электровозу-образцу).

Сила от возвышения наружного рельса (см. рисунок 6.4)

$$C_1 = \frac{Gh}{2S}, \quad (6.10)$$

где  $h$  – возвышение наружного рельса в кривой, м.

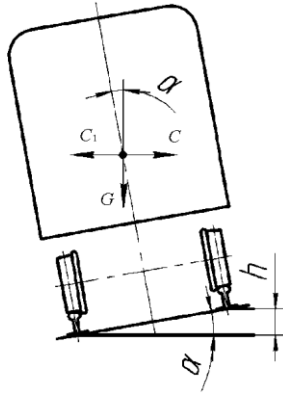


Рисунок 6.4 – Сила  $C_1$ , возникающая от возвышения рельса

Значения  $\cos\alpha_i$  определяются по вспомогательным кривым  $\cos\alpha_i = f(x_i)$ , приведенным на рисунке 6.5.

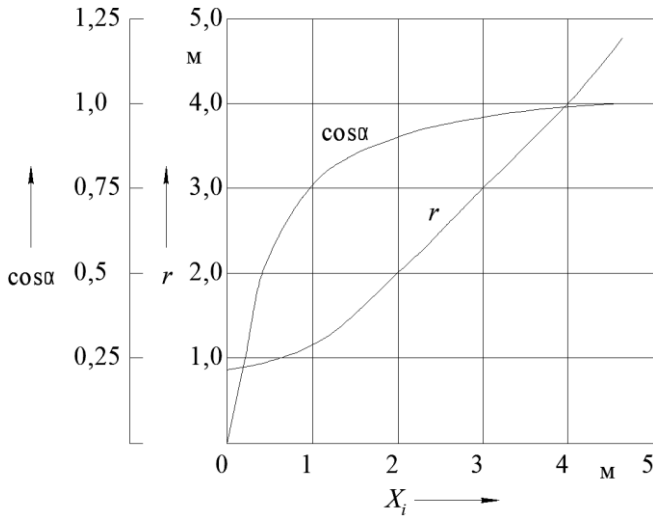


Рисунок 6.5 – Вспомогательные кривые для определения  $\cos\alpha_i$

Значения  $r_i$  можно также определить из соотношения, м,

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + 0,8^2}. \quad (6.11)$$

Наличие тележек, имеющих возможность поворачиваться на некоторый угол относительно кузова, позволяет локомотиву успешно проходить кривые участки пути при значительной длине его базы. При этом для снижения динамических боковых усилий колесные пары имеют с рамой тележки упругую связь, имеющую свои особенности в зависимости от типа локомотива. Также подвешивание кузова у электровозов различных серий имеет свое конструктивное исполнение; наличие боковых опор, шкворневого узла с возвращающим устройством (или без него), люлечного подвешивания или комплектов пружин в боковинах рамы тележки влияет на характер возникновения сил сопротивления в элементах подвешивания при повороте тележки относительно кузова (при этом сам кузов может отклоняться от вертикальной оси в поперечном к оси пути направлении), в кривом участке пути. Все это требует учета расположения элементов подвешивания, жесткости пружин, диаметров опор и коэффициентов трения в них, а также расчета нагрузок, приходящихся на каждый из этих элементов.

Поэтому, для упрощения расчетов, суммарный момент сопротивления устройств подвешивания для всех типов электровозов  $M$  условно принимается по рисунку 6.6 в зависимости от угла поворота тележки в кривой.

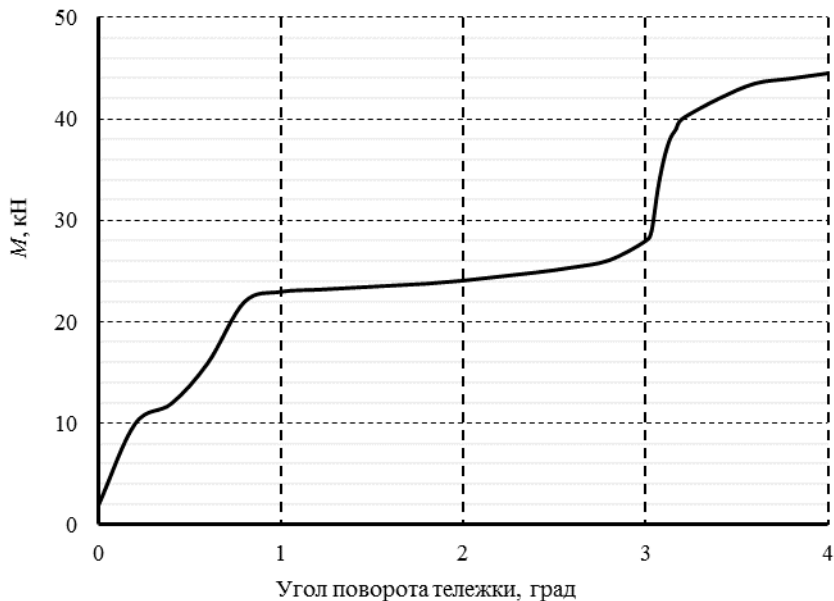


Рисунок 6.6 – Зависимость суммарного момента сопротивления устройств подвешивания кузова электровоза от угла поворота тележки

Углы поворота передней и задней тележек, рад,

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{п}} = \frac{\frac{L_{\text{б}}}{2} + \frac{L_{\text{т}}}{2} - x_1}{R_{\text{д}}}; \operatorname{tg}\alpha_3 = \frac{\frac{L_{\text{б}}}{2} - \frac{L_{\text{т}}}{2} + x_1}{R_{\text{д}}}. \quad (6.12)$$

Результаты расчета направляющих усилий от рельсов на колесные пары сводят в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет направляющих усилий от рельсов на КП

$v$ , км/ч	$C$ , кН	$y_1$ , кН	$y_3$ , кН

### 6.3 Оценка динамических качеств проектного электровоза

Боковое давление колеса на рельс меньше направляющего усилия на величину силы трения в контакте с внутренним рельсом, кН,

$$y_1' = y_1 - F_1. \quad (6.13)$$

Рамное давление (усилие), передаваемое колесной парой на раму тележки, меньше направляющего усилия на величину сил трения обоих колес, кН,

$$y_p = y_1 - 2F_1. \quad (6.14)$$

Рельсовая кривая имеет различные неровности в плане, поэтому движение локомотива в кривой имеет динамический характер, учитываемый коэффициентом горизонтальной динамичности при упругой связи букс с рамой тележки или упругих упорах

$$k_{\text{гд}} = 1 + 0,002v. \quad (6.15)$$

Боковое давление колеса на рельс с учетом  $k_{\text{гд}}$ , кН,

$$y_{1\text{д}}' = (y_1 - F_1)k_{\text{гд}}. \quad (6.16)$$

Результаты расчетов необходимо свести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Расчет бокового давления колеса на рельс

$v$ , км/ч	$y_1'$ , кН	$y_p$ , кН	$k_{\text{гд}}$	$y_{1\text{д}}'$ , кН

По результатам расчетов необходимо построить графики зависимостей направляющих усилий  $y_i = f(v)$  и бокового давления  $y_{1\text{д}}' = f(v)$  от скорости. Отрицательные значения направляющих усилий на заднюю колесную пару  $y_2$  ( $y_3$ ) говорят о том, что тележка располагается в положении высоких скоростей (рисунок 6.1).

В соответствии с техническими требованиями на проектируемые локомотивы расчетное значение бокового давления  $y_{1\text{д}}'$  **не должно превышать 100 кН**, а для скоростных локомотивов с конструкционной скоростью 200 км/ч и более – **70 кН**, в противном случае – динамическое вписывание не выполняется.



## 6.4 Порядок расчета

1 Определить полное расстояние  $x_1$  по формуле (6.2), где суммарный зазор  $2\sigma$  и уширение колеи  $\Delta$  в кривой принимаются согласно (5.3) и (5.4). Далее вычерчивается схема тележки электровоза (см. рисунки 6.2, 6.3) и определяется ее центр поворота  $\Omega$ . Для этого считаем, что тележка находится в положении наибольшего перекоса, при котором первая колесная пара прижата к наружному рельсу, а задняя – к внутреннему. Затем указываются все силы и моменты, действующие на тележку.

2 Полусные расстояния  $x_2$  и  $x_3$  находятся как расстояния от точки поворота тележки  $\Omega$  до, соответственно, оси второй и третьей колесной пары (для случая с двухосной тележкой – только расстояние  $x_2$ ).

3 После вычерчивания схемы тележки с нанесением всех сил и моментов составляются уравнения равновесия: первое – уравнение равновесия сил, второе – уравнение равновесия моментов, относительно точки поворота тележки  $\Omega$ . Затем определяются значения сил и моментов, входящих в уравнения.

4 Силы трения в опорных точках  $F_i$  определяются по формуле (6.7) и принимаются одинаковыми для всех колесных пар.

5 По формуле (6.9) определяется часть веса, приходящегося на тележку  $G$ , и из выражения (6.8) определяется центробежная сила  $C$ , действующая на тележку при проследовании кривой.

6 Наружный рельс в кривой имеет возвышение, сила от которого определяется по формуле (6.10), где величина  $2S$  – расстояние между кругами катания бандажей колес ( $2S = 1,6$  м).

7 По вспомогательным кривым  $\cos\alpha_i = f(x_i)$ , приведенным на рисунке 6.5, определяются значения  $\cos\alpha_i$ , входящие в уравнения равновесия; значения ( $r_i$ ) можно определить как по вспомогательным кривым (см. рисунок 6.5), так и по формуле (6.11).

8 По формулам (6.12) определяются углы поворота передней ( $\alpha_n$ ) и задней ( $\alpha_3$ ) тележки, и по графику, изображенному на рисунке 6.6, выбирается суммарный момент сопротивления  $M$  устройств подвешивания кузова и тележки электровоза для максимального угла поворота ( $\alpha_n$  или  $\alpha_3$ ).

9 В уравнениях (6.3), (6.4) неизвестными остаются следующие величины: направляющие усилия  $u_i$ , действующие на колесные пары, и центробежная сила  $C$ , зависящая от скорости движения электровоза. Для решения этих уравнений по формуле (6.1) определяется наибольшая (допустимая) скорость движения электровоза в кривой (если допустимая скорость движения локомотива оказалась выше конструкционной, то за допустимую скорость следует принять конструкционную).

10 Далее принимаются несколько (от 4 до 6) значений скорости движения электровоза с интервалом в 5–20 км/ч от допустимого значения  $v_{\text{доп}}$  в

сторону уменьшения, и для выбранных значений скорости определяются центробежные силы ( $C_1 \dots C_n$ ). Полученные значения центробежных сил поочередно подставляются в уравнения (6.3), (6.4), в результате чего определяются направляющие усилия  $y_i$  от рельсов на колесные пары. Полученные данные сводят в таблицу.

11 Для выбранных скоростей движения: по формуле (6.13) определяется боковое давление колеса на рельс  $y'_1$ , по формуле (6.14) определяется рамное давление, передаваемое колесной парой на раму тележки  $y_p$ ; из выражения (6.15) определяется коэффициент горизонтальной динамичности  $k_{гд}$ , учитывающий динамический характер движения локомотива в кривой, вызванный различными неровностями пути; по формуле (6.16) рассчитывается боковое давление колеса на рельс. Результаты расчетов необходимо свести в таблицы, отдельно для направляющих усилий и бокового давления.

12 По результатам расчетов необходимо построить графики зависимостей направляющих усилий  $y_i = f(v)$  и бокового давления  $y'_{1д} = f(v)$  от скорости и сделать вывод о соответствии спроектированного электровоза требованиям динамического вписывания.

#### 6.4.1 Пример расчета для грузового электровоза

Для выполнения динамического вписывания необходимы следующие исходные данные (таблица 6.3): радиус кривого участка пути, возвышение наружного рельса в кривой.

Таблица 6.3 – Исходные данные для выполнения динамического вписывания

Серия электровоза-образца	ВЛ80 <sup>С</sup>
Радиус кривого участка пути для геометрического вписывания, м	600
Возвышение наружного рельса в кривой, мм	150
База тележки электровоза, м	2,8

Минимальный суммарный зазор  $2\sigma$  между головкой рельса и гребнем бандажа колесной пары при скорости движения в кривой до 120 км/ч принимаем согласно (5.3)

$$2\sigma = 1520_{-4}^{+6} - (1440_{-3}^{+3} + 2 \cdot 33_0^0) = \\ = (1520 - 4) - ((1440 + 3) + 2 \cdot (33 + 0)) = 1516 - (1443 + 2 \cdot 33) = 7 \text{ мм.}$$

Уширение колеи в кривой согласно (5.4) при радиусе кривой свыше 350 м не применяется, поэтому при  $R_d = 600$  м уширение колеи принимаем  $\Delta = 0$  мм.

Полосное расстояние направляющей (первой) колесной пары

$$x_1 = \frac{L_r}{2} + \frac{R_d (2\sigma + \Delta)}{L_r \cdot 1000};$$

$$x_1 = \frac{2,8}{2} + \frac{600(7+0)}{2,8 \cdot 1000} = 2,9 \text{ м.}$$

Так как база тележки  $L_T = 2,8$  м, то ее центр поворота  $\Omega$  лежит снаружи. Полосное расстояние до второй колесной пары

$$x_2 = x_1 - L_T;$$

$$x_2 = 2,9 - 2,8 = 0,1 \text{ м.}$$

Для двухосной тележки электровоза ВЛ80<sup>С</sup> (см. рисунок 6.2) уравнения равновесия имеют вид:

– уравнение сил

$$-y_1 + C - C_1 + y_2 + 2F_1 \cos \alpha_1 + 2F_2 \cos \alpha_2 = 0;$$

– уравнение моментов

$$y_1 x_1 - C \left( x_2 + \frac{L_T}{2} \right) + C_1 \left( x_2 + \frac{L_T}{2} \right) - y_2 x_2 - M - 2F_1 r_1 - 2F_2 r_2 = 0.$$

Средние значения сил трения в опорных точках колес КП

$$2F_i = 2\Pi f_{\text{тр}};$$

$$2F_i = 248 \cdot 0,25 = 62,0 \text{ кН.}$$

Так как число тележек электровоза ВЛ80<sup>С</sup>  $n_T = 4$ , часть веса электровоза, приходящегося на тележку,

$$G = \frac{N_{\text{сц}}}{n_T};$$

$$G = \frac{1986}{4} = 496,5 \text{ кН.}$$

Сила от возвышения наружного рельса

$$C_1 = \frac{Gh}{2S};$$

$$C_1 = \frac{496,5 \cdot 0,15}{1,6} = 46,5 \text{ кН.}$$

Значения  $\cos \alpha_i$  определяются по вспомогательным кривым  $\cos \alpha_i = f(x_i)$ , приведенным на рисунке (6.5):  $\cos \alpha_1 = 0,98$ ,  $\cos \alpha_2 = 0,1$ .

Значения  $r_i$  определяются из соотношения (6.11)

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + 0,8^2};$$

$$r_1 = \sqrt{2,9^2 + 0,8^2} = 3,01 \text{ м;}$$

$$r_2 = \sqrt{0,1^2 + 0,8^2} = 0,81 \text{ м.}$$

Угол поворота тележек определяем по формулам, рад,

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{п}} = \frac{\frac{L_6}{2} + \frac{L_7}{2} - x_1}{R_d}; \quad \operatorname{tg}\alpha_3 = \frac{\frac{L_6}{2} - \frac{L_7}{2} + x_1}{R_d};$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{п}} = \frac{\frac{8,867}{2} + \frac{2,800}{2} - 2,9}{600} = 0,005; \quad \operatorname{tg}\alpha_3 = \frac{\frac{8,867}{2} - \frac{2,800}{2} + 2,9}{600} = 0,010.$$

Угол поворота задней тележки больше угла поворота передней и составляет  $\alpha_3 = 0,57^\circ$ , тогда исходя из рисунка 6.6 суммарный момент сопротивления для этого значения угла –  $M \approx 16$  кН.

Наибольшая (допустимая) скорость движения электровоза в кривой

$$v_{\text{доп}} = \sqrt{R_d(0,08h + 13a_{\text{н}})};$$

$$v_{\text{доп}} = \sqrt{600(0,08 \cdot 150 + 13 \cdot 0,7)} = 112,5 \text{ км/ч.}$$

Принимаем следующие значения скоростей движения электровоза в кривой: 110, 100–70 км/ч. Находим центробежные силы для выбранных скоростей движения:

$$C_i = \frac{G v^2}{3,6^2 g R_d};$$

$$C_{110} = \frac{496,5 \cdot 110^2}{3,6^2 \cdot 9,8 \cdot 600} = 78,8 \text{ кН};$$

$$C_{100} = \frac{496,5 \cdot 100^2}{3,6^2 \cdot 9,8 \cdot 600} = 65,1 \text{ кН};$$

$$C_{90} = \frac{496,5 \cdot 90^2}{3,6^2 \cdot 9,8 \cdot 600} = 52,7 \text{ кН};$$

$$C_{80} = \frac{496,5 \cdot 80^2}{3,6^2 \cdot 9,8 \cdot 600} = 41,7 \text{ кН};$$

$$C_{70} = \frac{496,5 \cdot 70^2}{3,6^2 \cdot 9,8 \cdot 600} = 31,9 \text{ кН.}$$

Полученные значения центробежной силы подставляются в уравнения (6.3), (6.4), и определяются направляющие усилия ( $y_i$ ) от рельсов на колесные пары. Результаты расчетов сводят в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет направляющих усилий ( $y_i$ )

$v$ , км/ч	$C$ , кН	$y_1$ , кН	$y_2$ , кН
110	78,8	104,1	4,8
100	65,1	97,2	11,6
90	52,7	91,0	17,8
80	41,7	85,5	23,3
70	31,9	80,6	28,2

Для определения бокового давления колеса на рельс воспользуемся формулами (6.13), (6.16) и сведем полученные результаты в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Расчет бокового давления колеса на рельс

$v$ , км/ч	$y_1$ , кН	$y_p$ , кН	$k_{гд}$	$y'_{гд}$ , кН
110	73,1	42,1	1,22	89,2
100	66,2	35,2	1,20	79,4
90	60,0	29,0	1,18	70,8
80	54,5	23,5	1,16	63,2
70	49,6	18,6	1,14	56,5

В соответствии с техническими требованиями на проектируемые локомотивы расчетное значение бокового давления не должно превышать 100 кН. Поэтому, по результатам расчетов, можно сделать вывод, что динамическое вписывание выполняется (рисунок 6.7).

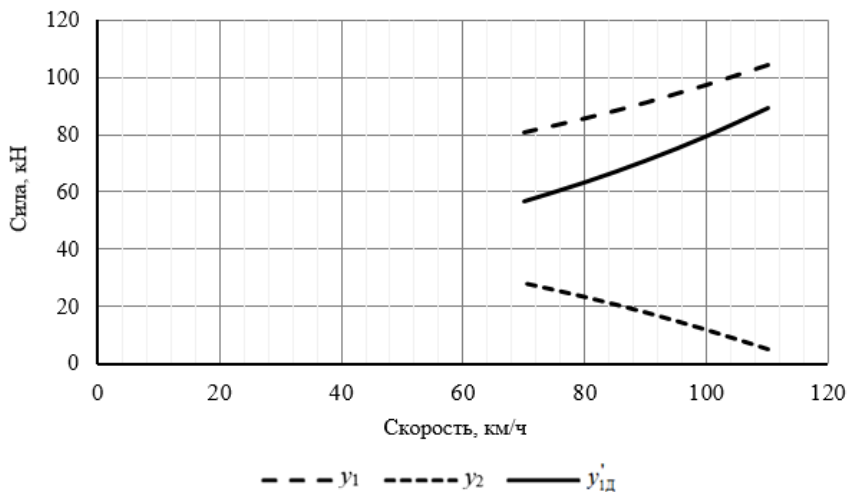


Рисунок 6.7 – Графики зависимостей направляющих усилий  $y_1 = f(v)$ ,  $y_2 = f(v)$  и бокового давления колеса на рельсы  $y'_{гд} = f(v)$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Бирюков, И. В.** Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
- 2 Устройство и работа электровозов переменного тока / Х. Я. Быстрицкий [и др.]. – М. : Транспорт, 1982. – 486 с.
- 3 Грузовые электровозы переменного тока. Справочник / З. М. Дубровский [и др.]. – М. : Транспорт, 1991. – 471 с.
- 4 **Дубровский, З. М.** Электровозы ВЛ60<sup>К</sup> и ВЛ60<sup>КП</sup>. Руководство по эксплуатации / З. М. Дубровский, Л. М. Лорман. – М. : Транспорт, 1993. – 400 с.
- 5 Конструкция и динамика тепловозов / под ред. В. Н. Иванова. – 2-е изд., доп. – М. : Транспорт, 1974. – 336 с.
- 6 Конструкция, расчет и проектирование локомотивов / А. А. Камаев [и др.] ; под ред. А. А. Камаева. – М. : Машиностроение, 1981. – 351 с.
- 7 Механическая часть тягового подвижного состава / под ред. И. В. Бирюкова. – М. : Транспорт, 1992. – 440 с.
- 8 Пассажирские электровозы ЧС4 и ЧС4<sup>Т</sup> / В. А. Каптелкин [и др.]. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1975. – 384 с.
- 9 Пассажирский электровоз ЧС-2<sup>Т</sup> / под общей ред. А. Л. Лисицына – М. : Транспорт, 1979. – 288 с.
- 10 **Раков, В. А.** Локомотивы отечественных железных дорог (1956–1975 гг.) / В. А. Раков. – М. : Транспорт, 1999. – 442 с.
- 11 Устройство и ремонт электровозов постоянного тока / С. А. Алябьев [и др.]. – М. : Транспорт, 1977. – 464 с.
- 12 Электровоз ВЛ8. Руководство по эксплуатации. – М. : Транспорт, 1982. – 320 с.
- 13 Электровоз ВЛ80<sup>С</sup>. Руководство по эксплуатации. – М. : Транспорт, 1982. – 622 с.
- 14 Электровоз. Управление и обслуживание / З. М. Дубровский [и др.]. – М. : Транспорт, 1979. – 231 с.
- 15 Электровозы ВЛ10 и ВЛ10<sup>У</sup>. Руководство по эксплуатации / под ред. О. А. Кикнадзе. – М. : Транспорт, 1981. – 519 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(справочное)

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

Показатель	Серия электровоза									
	ВЛ-10	ВЛ-60ПК	ВЛ-80С	ВЛ-82М	ЧС-2Г	ЧС-4Г	ЭП-2К	БКТ-1		
Номинальное напряжение, кВ	3	25	25	3/25	3	25	3	25		
Род службы	груз.	пас./ груз.	груз.	груз.	пас.	пас.	пас.	груз.		
Осевая формула электровоза	2(20-20)	30-30	2(20-20)	2(20-20)	30-30	30-30	30-30	2(20-20)		
Осевая мощность часов. режима, кВт	5200	4590	6520	6000	4200	5100	4800	—		
Мощность длит. режима, кВт	4462	4070	6160	5600	3708	4920	4320	9600		
Скорость часов. режима, км/ч	48,7	72,8/52,0	51,6	51,4	91,5	106	87,8	65		
Конструкцион. скорость, км/ч	110	100	110	110	160	180	160	120		
Масса электровоза, т	184	138	184	200	123	123	135	200		
Диаметр колесных пар, м	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250		
Длина электровоза по автосц., мм	32840	20800	32840	32840	18920	19980	21700	38150		
База тележки, мм	3000	4600	3000	3000	4600	4600	4600	2600		
Тип тягового двигателя	ТЛ-2К1	НБ-412К	НБ-418К6	НБ-407	АЛ-4846П	АЛ-4442нР	ДТК-800К	4Г1А7058А		
Частота вращ. вала ТЭД, об/мин	790	850	890	745	680	1200	945	1499		
Централь, мм	555	560	545	570	605	510	660	715		
Передачное отношение редуктора ( $Z_{взв}/Z_{м}$ )	3,826 (88/23)	2,73 (82/30)	4,19 (88/21)	3,38 (88/26)	1,75 (77/44)	2,187 (70/32)	2,45 (93/38)	5,217 (120/23)		

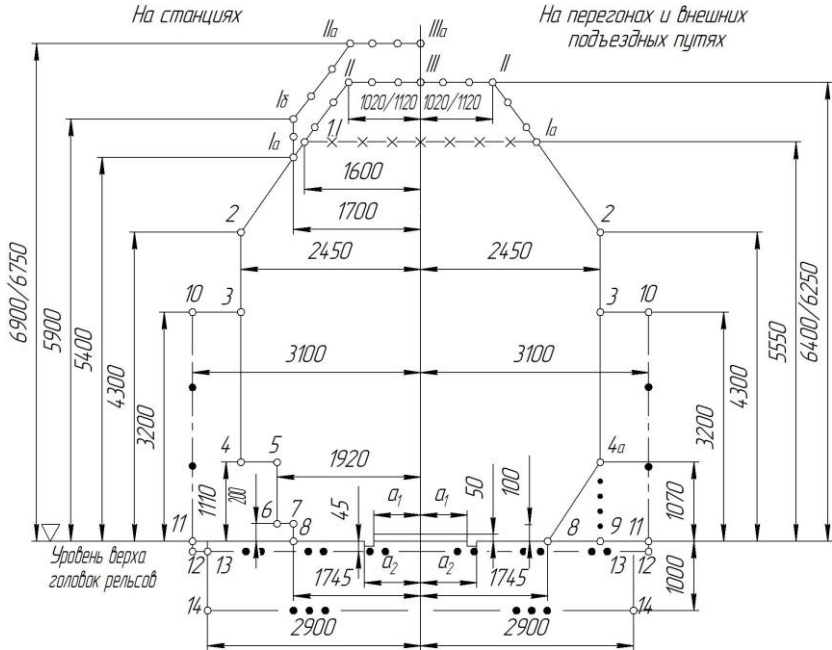
**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
(справочное)

**ГАБАРИТ ПРИБЛИЖЕНИЯ СТРОЕНИЙ (ГАБАРИТ С)**

Размеры  $a_1$  и  $a_2$  принимают:

$a_1 = 670$  мм,  $a_2 = 760$  мм – при ширине колеи 1520 мм;

$a_1 = 672$  мм,  $a_2 = 762$  мм – при ширине колеи 1524 мм.



*Условные обозначения:*

— линия приближения пролетных строений мостов, конструктивных элементов тоннелей, галерей, платформ, настилов переездов, индукторов локомотивной сигнализации, механизмов стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), а также сооружений и устройств, располагаемых на междупутьях станций;

○ линия приближения всех вновь строящихся сооружений и устройств, кроме расположенных на путях, электрификация которых исключена даже при электрификации данного участка железнодорожной линии (размеры, показанные в виде дроби, означают: в числителе – для контактной подвески с несущим тросом, в знаменателе – без несущего троса);

I – II – III – для перегонов, а также путей на станциях (в пределах инженерных сооружений) при высоте подвески контактного провода 5750 мм;

Ia – Ib – IIa – IIIa – при высоте подвески контактного провода 6250 мм.



—х— линия приближения сооружений и устройств для путей, электрификация которых исключена даже при электрификации данного участка железнодорожной линии;

—●— линия приближения зданий, сооружений и устройств (кроме пролетных строений мостов, конструктивных элементов тоннелей, галерей, платформ), расположенных с внешней стороны крайних путей перегонов и станций, а также у отдельно лежащих путей на станциях;

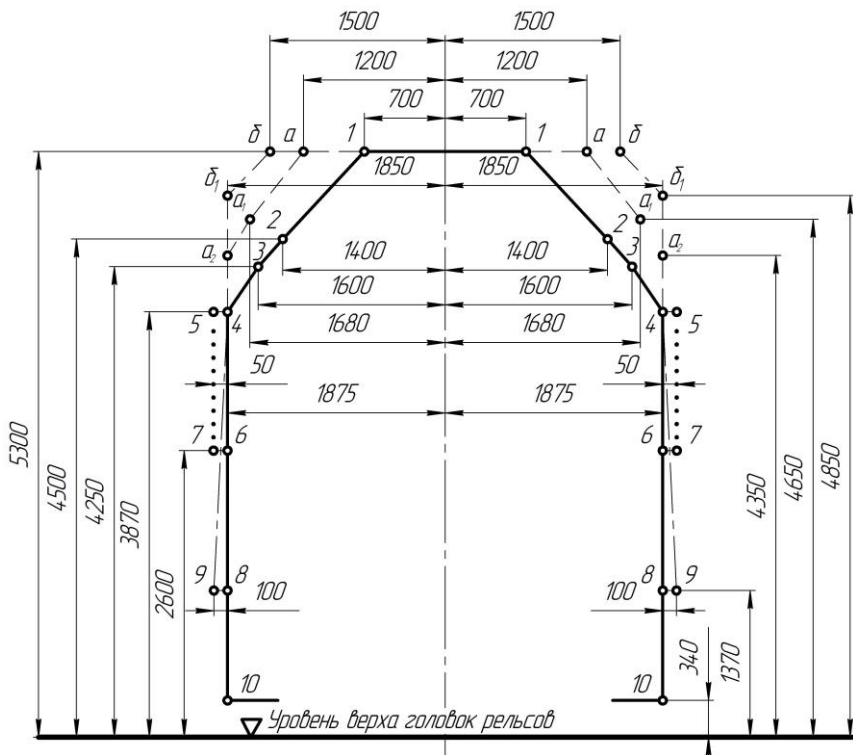
—●●— линия, выше которой на перегонах и в пределах полезной длины путей на станциях не должно подниматься ни одно устройство, кроме инженерных сооружений, настилов переездов, индукторов локомотивной сигнализации, а также механизмов стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств СЦБ;

—●●●— линия приближения фундаментов зданий и опор, подземных тросов, кабелей, трубопроводов и других, не относящихся к пути сооружений на перегонах и станциях, за исключением инженерных сооружений и устройств СЦБ в местах расположения сигнальных и трансляционных точек;

●●●●●●●● линия приближения конструктивных элементов тоннелей, перил на мостах, эстакадах и других инженерных сооружениях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В  
(справочное)

**ГАБАРИТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА (ГАБАРИТ Т)**



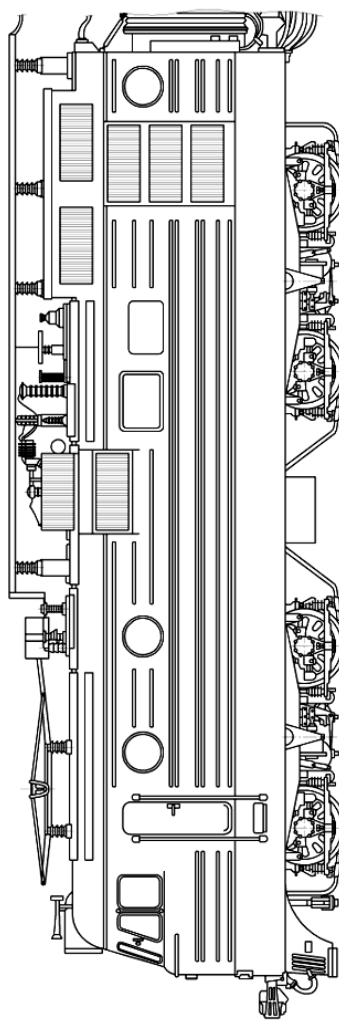
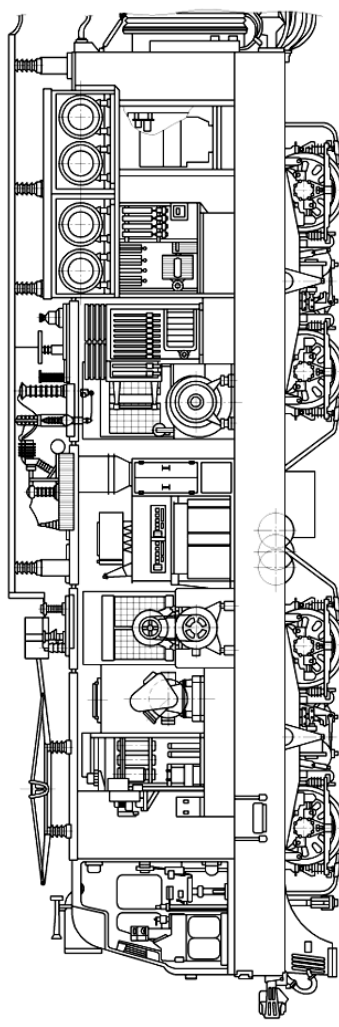
Условные обозначения:

- только для сигнальных устройств;
- для выступающих частей: поручней, подлокотников, козырьков для стока воды, параванов и др. В открытом положении параваны должны вписываться в очертание для сигнальных устройств;
- для габаритов Т, Тпр и 1-Т с использованием их очертаний по штриховым линиям подвижной состав должен проектироваться и строиться после устранения соответствующих негабаритностей сооружений и устройств.

*ПРИЛОЖЕНИЕ Г*

*(справочное)*

**РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗЕ**



Учебное издание  
*ЗАГОРЦЕВ Вадим Александрович*  
*АНАНЬЕВА Оксана Сергеевна*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
Учебно-методическое пособие

Редактор Т. М. Маруняк  
Технический редактор В. Н. Кучерова  
Корректор Л. С. Репикова

Подписано в печать 17.01.2018 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,46. Тираж 50 экз.  
Зак. № Изд. № 132.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя  
и распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель.