

И П С
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМ. М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи
УДК625.2.012.8(043)

ЛОБАЧЕВ Николай Алексеевич

ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПОР И СВЯЗИ КУЗОВА ТЕПЛОВОЗА
С ТЕЛЕЖКАМИ

(05.22.07 – Подвижной состав и тяга поездов)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 1984 г.

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском
тепловозном институте

Научный руководитель - заслуженный деятель науки
и техники УССР, доктор
технических наук, профессор
Куценко С.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
доцент В.Д. Давович,
кандидат технических наук,
доцент В.А. Слачев.

Ведущая организация - Ворошиловградский тепло-
возостроительный завод
им. Октябрьской революции.

Защита состоится "30" III 1984 г. в "15" "ч." "мин.
в ауд. № 364 на заседании специализированного Совета КИИ.07.01 при
Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта
имени М.И. Калинина по адресу: 320629, ГСП, г. Днепропетровск-10,
ул. Акад. Лазаряна, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Днепропетровско-
го института инженеров железнодорожного транспорта.

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность исследований. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на II-ю пятилетку и на период до 1990 года перед железнодорожным транспортом ставится задача технического перевооружения с целью обеспечения дальнейшего увеличения провозной и пропускной способности, увеличения грузооборота на 14-15% и пассажирооборота на 9%, повышения производительности труда на 10-12%. Выполнение этой комплексной программы непосредственно связано с совершенствованием имеющихся или созданием новых конструкций экипажных частей, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность, хорошую динамику и минимальное воздействие на путь.

Одним из наиболее эффективных средств для удовлетворения указанных качеств экипажных частей является выбор приемлемых упругих и диссипативных характеристик рессорного подвешивания в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях, использование новых типов упругих элементов.

Исследования, проведенные советскими и зарубежными учеными, убедительно показывают, что реальным и перспективным направлением в этом отношении является применение пневматического рессорного подвешивания взамен традиционного металлического, которое, благодаря наличию ряда положительных, только ему присущих, качеств завоевывает в последнее время все большее признание.

В решении задач по применению пневматических рессор в системе подвешивания железнодорожных экипажей достигнуты значительные успехи, однако ряд теоретических и практических вопросов, связанных с выбором рациональных характеристик, обеспечением работоспособности элементов пневмоподвешивания в различных условиях эксплуатации, требует более глубокого изучения. Поэтому дальнейшее исследование пневматического рессорного подвешивания железнодорожных экипажей с учетом их особенностей является весьма актуальной задачей.

Целью работы является исследование и выбор характеристик пневматических рессор диафрагменного типа для создания системы опор и связи кузова с тележками, обеспечивающей существенное улучшение ходовых качеств и высокую стабильность динамических показателей локомотива на пути различного состояния.

Методика исследования основывается на применении теоретических (математическое моделирование) и экспериментальных (стен-

довые и натурные испытания) методов использованием современных технических средств, в том числе вы.

Научная новизна. Новыми научными результатами, полученными в работе являются:

- разработана математическая модель методика расчета вертикальных колебаний шестисосного локомотива с пневмоподвешиванием во второй, металлическими рессорами и фрикционными гасителями в первой ступенях, позволяющие выбрать на стадии проектирования параметры рессорного подвешивания, сократить доводочные работы и снизить материальные затраты на создание новой техники;
- определена зависимость поперечной жесткости диафрагменной пневморессоры от геометрических размеров наружного корпуса, которая позволит выбрать при разработке конструкции необходимую упруго-диссипативную характеристику связи кузова локомотива с тележками с учетом конструктивных и весовых показателей экипажа;
- установлена связь между параметрами пневмосистемы (конструктивными, упругими, диссипативными) и динамическими показателями тепловоза, а также разработаны научно-технические рекомендации по выбору этих параметров и конструктивному исполнению пневматической системы опор кузова локомотивов.

Практическая ценность. Разработана, создана и испытана на стенде и натурном тепловозе конструкция комбинированной боковой опоры кузова локомотива, включающая пневматическую рессору диафрагменного типа и ролики, защищенная авторским свидетельством. Испытания натурного тепловоза, оборудованного такими опорами, показали, что пневматическое подвешивание, выполняющее функции как вертикального подрессоривания, так и гибкой поперечной связи кузова с тележками, способствует существенному улучшению ходовых качеств, высокой стабильности динамических показателей экипажа на пути различного состояния и позволяет:

- уменьшить статический прогиб пружин буксовой ступени, что благоприятно с точки зрения работы элементов тягового привода и упругих связей букс с рамой тележки;
- отказаться от применения специальных гасителей колебаний, благодаря наличию пневматического демпфирования в системе с помощью дросселя.

Реализация результатов. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований реализованы на тепловозе 2ТЭ116-118 производства Ворошилов-градского тепловозостроительного завода, испытанного во Всесоюзном научно-исследовательском

тепловозном институте (ВНИТИ).

Экономический эффект от внедрения на локомотивах с осевой нагрузкой 23 т пневмоэроликотных опор составляет 1,5 тыс. руб./секц. в год.

Апробация работы. Диссертационная работа и ее основные результаты докладывались и обсуждались на 3 отделе научной конференции "Союзтепловозпутьмаша", Коломна, 1979; 15 научно-технической конференции Всесоюзного научно-исследовательского тепловозного института (ВНИТИ), Коломна, 1981; 26 научно-технической конференции тепловозостроительного завода им. В.В. Куйбышева, Коломна, 1981; научно-технической конференции Московского института инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ), Москва, 1981; заседании кафедры "Локомотивостроение" Харьковского политехнического института им. В.И. Ленина, Харьков, 1982; научно-техническом совете секции экипажа и приводов ВНИТИ, Коломна, 1982; научно-техническом совете отдела динамики ВНИТИ, Коломна, 1983; городском научном семинаре по механике, Днепропетровск, 1983.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей, получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем 164 стр., из них 115 стр. печатного текста, 36 страниц рисунков, 13 стр. списка литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение посвящено обоснованию актуальности выбранной темы.

Глава I. Анализ работ по применению пневматических рессор на железнодорожном подвижном составе.

Вспросам исследования колебаний локомотивов (вагсонов) уделяется большое внимание многочисленных коллективов ученых и специалистов. Значительный вклад в эту область внесли Е.П. Блохин, М.Ф. Вериги, С.В. Вершинский, В.Д. Данович, И.П. Исаев, В.В. Иванов, В.Н. Иванов, А.Н. Коняев, В.А. Камаев, М.Л. Коротенко, Н.Н. Кудрявцев, С.М. Куценко, В.А. Лазарян, Л.А. Манашкин, В.Б. Медель, М.П. Пахомов, С.П. Тимошенко, В.Ф. Ушкалов, И.И. Челноков, Шперлинг и другие.

Однако, несмотря на наличие фундаментальных работ в этом направлении, многие вновь создаваемые локомотивы не всегда удов-

детворяют современным техническим требованиям по ходовым качествам и воздействию на путь. Особенно остро ощущается данная проблема в связи с увеличением скоростей движения и осевых нагрузок локомотивов. Поэтому дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью создания и совершенствования экипажных частей, позволяющих получить лучшие динамические показатели, не вызывает сомнения. Это возможно, в частности, путем рационального выбора упругих и диссипативных характеристик рессорного подвешивания и применения новых, более эффективных типов упругих элементов. В последние годы на железнодорожном подвижном составе широко применяются пневматические упругие элементы, обладающие рядом преимуществ в сравнении с традиционными металлическими. Наибольшее распространение они получили в Японии, ФРГ, Италии, Франции, Англии. В нашей стране пневмоподвешивание нашло применение на электро- и дизель-поездах, вагонах метрополитена, локомотивах.

В главе анализируются результаты теоретических и экспериментальных исследований пневматического рессорного подвешивания, выполненных в СССР и за рубежом, приводится краткий обзор работ по применению пневматических рессор в конструкции тележек железнодорожного подвижного состава, перечисляются конструктивные особенности выполнения элементов пневматического рессорного подвешивания, их назначение и характеристики, ставятся задачи диссертационного исследования. Подчеркивается, что большой вклад в развитие пневматического рессорного подвешивания внесли многие видные советские и зарубежные ученые и исследователи, Акопян Р.А., Бидерман В.Л., Виташевский Е.П., Галашин В.А., Горелик А.М., Кузнецов А.В., Куценко С.М., Лапин А.Х., Пахомов М.П., Певзнер Я.М., Равкин Г.О., Савушкин С.С., Филиппов В.В. (СССР), Кюфман и Джарвис (Англия), Габлер, Кайзерлинг, Шмокер, Фалбук и Хофер (ФРГ), Брюха (Франция), Всенценцо Корренти (Италия), Масахару Кунеида и Майсудара (Япония) и другие, которые показали возможность качественного совершенствования существующих систем рессорного подвешивания путем применения пневматических упругих элементов.

Глава 2. Построение и исследование математической модели колебаний одноосного экипажа с пневморессорой во 2-й ступени.

Глава посвящена изучению качественных свойств работы рессор-

ного подвешивания одноосного экипажа с пневморессорой во второй, металлической рессорой и фрикционным гасителем колебаний в первой ступенях, рис. 1.

Колебания одноосного экипажа описывались единой комплексной математической моделью, включающей уравнения динамики колеблющихся масс кузова, тележки и уравнения термодинамики, решаемых совместно на ЭВМ.

Введены следующие обозначения:

M_2 и M_1 - соответственно массы кузова и тележки;

K_1 - жесткость буксового узла;

F - сила сопротивления демфера;

y - высота неровности рельса, принимаемого недеформированным;

Z_1, Z_2 - обобщенные координаты отклонений масс от положения статического равновесия;

$S_{эф}$ - эффективная площадь пневморессоры;

P, V, G, ρ, T - соответственно давление, объем, масса, плотность и абсолютная температура воздуха в пневморессоре (индекс 1) или дополнительном резервуаре (индекс 2);

H_1, H_2 - поверхности теплообмена элементов системы;

K_1, K_2 - коэффициенты теплопередачи элементов системы;

ω - площадь проходного сечения дросселя;

ξ - коэффициент истечения;

T_0 - абсолютная температура воздуха окружающей среды;

R, C_v, C_p - соответственно газовая постоянная, изохорная и изобарная теплоемкости воздуха.

Уравнение движения масс M_1 и M_2

$$M_1 \ddot{z}_1 + P_1 S_{эф} + K_1 (z_1 - y) + F \text{sign} (\dot{z}_1 - \dot{y}_1) = 0,$$

$$M_2 \ddot{z}_2 + M_2 g - P_2 S_{эф} = 0$$

Для определения P_1 составили уравнения термодинамики.

Ход сжатия: $P_1 > P_2$

$$C_v dT_1 G_1 - RT_1 dG_1 + P_1 dV_1 - K_1 H_1 (T_1 - T_0) dt = 0, \quad (1)$$

$$P_1 dV_1 + V_1 dP_1 - RT_1 dG_1 - RG_1 dT_1 = 0, \quad (2)$$

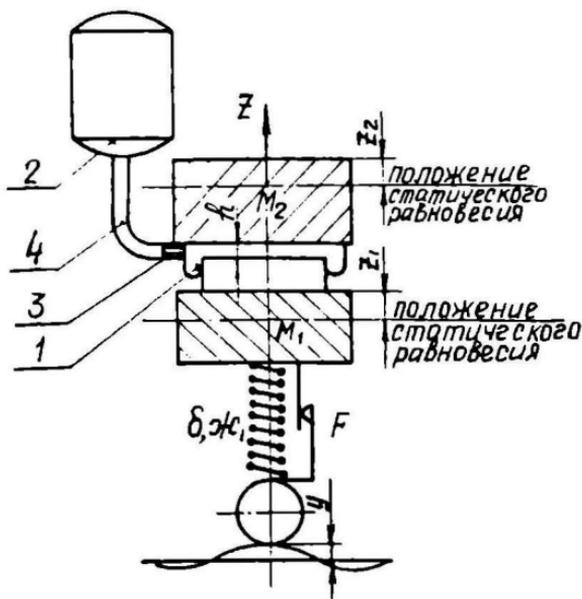
$$dG_1 = -\xi \omega \sqrt{2\rho_1 (P_1 - P_2)} dt, \quad (3)$$

$$C_v dT_2 G_2 + C_v T_2 dG_2 - C_p T_2 dG_2 - K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0, \quad (4)$$

$$V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0, \quad (5)$$

$$dG_2 = \xi \omega \sqrt{2\rho_2 (P_1 - P_2)} dt \quad (6)$$

Расчетная схема одноосного экипажа



- 1- диафрагменная пневморессора
- 2- дополнительный воздушный резервуар
- 3- дроссель
- 4- соединительный трубопровод

Рис 1

НТБ
ДНУЖТ

Ход расширения: $P_1 < P_2$

$$C_v T_1 dG_1 + C_v G_1 dT_1 + P_1 dV_1 - C_p T_2 dG_2 - K_1 H_1 (T_1 - T_0) dt = 0, \quad (1)$$

$$P_1 dV_1 + V_1 dP_1 - RT_1 dG_1 - RG_1 dT_1 = 0, \quad (2)$$

$$dG_1 = \frac{\xi \omega \sqrt{2\rho_1 (P_2 - P_1)}}{\epsilon} dt, \quad (3)$$

$$C_v G_2 dT_2 - RT_2 dG_2 + K_2 H_2 (T_2 - T_0) dt = 0, \quad (4)$$

$$V_2 dP_2 - RT_2 dG_2 - RG_2 dT_2 = 0, \quad (5)$$

$$dG_2 = \frac{\xi \omega \sqrt{2\rho_2 (P_2 - P_1)}}{\epsilon} dt, \quad (6)$$

где уравнения 1 (1'), 2 (2'), 3 (3') соответственно: уравнения первого закона термодинамики, Менделеева - Клапейрона и расхода воздуха через дроссель для пневморессоры; 4 (4'), 5 (5'), 6 (6') - то же для дополнительного резервуара.

Плотность воздуха ρ_i , входящая в уравнения, определена по формуле $\rho_i = \frac{P_i}{RT_i}$

По данному алгоритму составлена программа на языке Алгол-60 применительно к ЭВМ М-222. Численное интегрирование дифференциальных уравнений произведено методом Рунге-Кутты с шагом 0,001 с.

Источником возбуждения колебаний принята синусоидальная геометрическая неровность вида

$$y = A \sin \frac{2\pi x}{L}$$

где x - пройденный путь, м,

$L = 25$ м - длина рельса,

$A = 0,02$ м - амплитуда гармоники.

Исследования проводились для различных объемов дополнительного резервуара и диаметров дросселя. Оценивалось так же влияние различной степени конвективного теплообмена с окружающей средой и параметров буксовой ступени на колебания системы.

В результате анализа теоретических исследований рекомендован наиболее приемлемый вариант рессорного подвешивания: вторая ступень - объем дополнительного резервуара на пневморессору 0,06 м³, диаметр дросселя 0,015-0,02 м, что соответствует эквивалентному расчетному статическому прогибу около 0,2 м; буксовая ступень со статическим прогибом 0,06-0,08 м и с силой трения в гасителях 0-2500 Н. Исследования показали, что теплообмен с окружающей средой несущественно влияет на колебания системы.

Глава 3. Теоретические исследования вертикальной динамики

шестиосного тепловоза с пневморессорами во второй ступени подвешивания.

Рассматривались колебания шестиосного экипажа в продольной вертикальной плоскости симметрии с параметрами рессорного подвешивания предварительно выбранными при исследовании одноосного экипажа, рис 2 .

В задачу исследования колебаний шестиосного экипажа входило:

- выбор места установки в системе пневмоподвешивания дроссельных шайб;
- выбор объема дополнительного резервуара и диаметра дроссельных шайб для каждого варианта их установки в системе.

Расчеты производились для 2-х схем установки дроссельных шайб: А - дроссели стоят на выходе из каждой пневморессоры и Б - один общий дроссель на две пневморессоры, что равноценно замене двух пневморессор одной, эквивалентной им по жесткости, рис. 3.

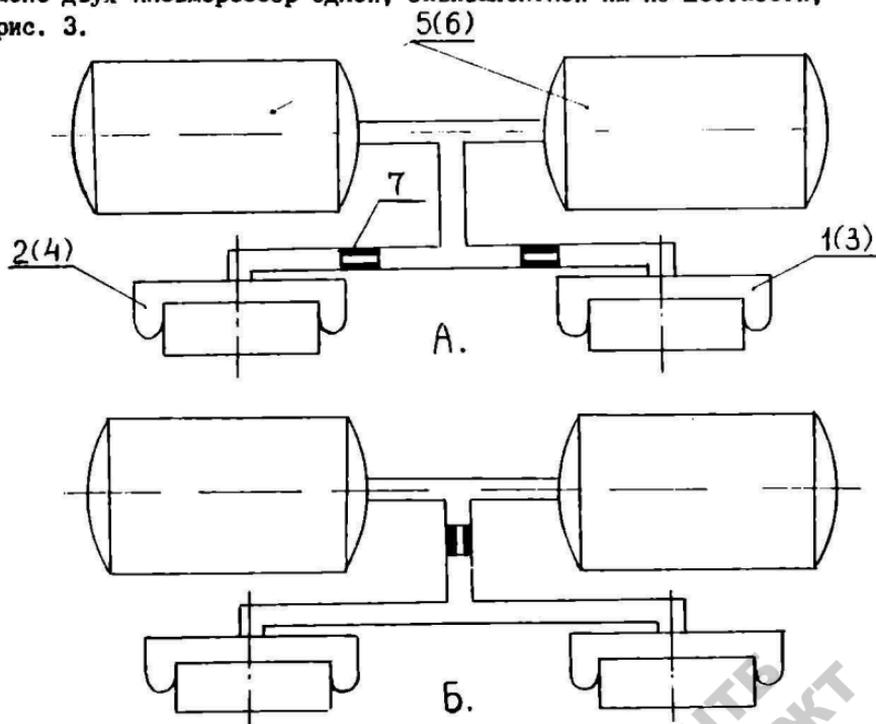


Рис. 3. Схемы установки дросселей в пневмосистеме.

Математическая модель колебаний шестисного экипажа построена на тех же принципах, что и одноосного экипажа, т.е. с применением уравнений движения масс кузова и тележек, составленных по методу Лагранжа, и уравнений термодинамики, решаемых совместно на ЭВМ.

$$\begin{aligned}
 m_k \ddot{z} - S_{\text{зф}}(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) &= 0, \\
 m_T \ddot{z}_1 + C[3Z_1 - (y_1 + y_2 + y_3) + \varphi_1(a_1 + a_2 - a_3)] + S_{\text{зф}}(P_1 + P_2) &= \\
 = -F(\text{sign } \dot{y}_1 + \text{sign } \dot{y}_2 + \text{sign } \dot{y}_3), \\
 m_T \ddot{z}_2 + C[3Z_2 - (y_4 + y_5 + y_6) - \varphi_2(a_1 + a_2 - a_3)] + S_{\text{зф}}(P_3 + P_4) &= \\
 = -F(\text{sign } \dot{y}_4 + \text{sign } \dot{y}_5 + \text{sign } \dot{y}_6), \\
 J_k \ddot{\varphi} - S_{\text{зф}}(P_1 d + P_2 b - P_3 b - P_4 d) &= 0, \\
 J_T \ddot{\varphi}_1 + C[Z_1(a_1 + a_2 - a_3) - (y_1 a_1 + y_2 a_2 - y_3 a_3) + \varphi_1(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)] + \\
 + S_{\text{зф}}(P_1 l_1 - P_2 l_2) &= -F(a_1 \text{sign } \dot{y}_1 + a_2 \text{sign } \dot{y}_2 - a_3 \text{sign } \dot{y}_3), \\
 J_T \ddot{\varphi}_2 + C[-Z_2(a_1 + a_2 - a_3) + (y_4 a_1 + y_5 a_2 - y_6 a_3) + \varphi_2(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)] + \\
 + S_{\text{зф}}(P_3 l_2 - P_4 l_1) &= -F(a_3 \text{sign } \dot{y}_4 - a_2 \text{sign } \dot{y}_5 - a_1 \text{sign } \dot{y}_6),
 \end{aligned}$$

где m_k , m_T - массы кузова и подрессоренных частей тележек соответственно;

J_k , J_T - моменты инерции кузова и подрессоренных частей тележек относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей через их центры тяжести;

d , b - расстояние от центра опор кузова до вертикальной оси Z , проходящей через центр тяжести кузова;

l_1 , l_2 - расстояние от центра опор кузова до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести тележки;

a_1 , a_2 , a_3 - расстояние от центра осей колесных пар до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести тележки;

y_1 , y_2 , y_3 , y_4 , y_5 , y_6 - величины неровностей под колесами;

φ , φ_1 , φ_2 - углы поворота кузова и тележек относительно поперечных горизонтальных осей, проходящих через их центры тяжести;

Z , Z_1 , Z_2 - вертикальные перемещения центров тяжести кузова и подрессоренных частей тележек локомотива относительно статических положений;

C - жесткость рессорного комплекта буксовой ступени;

F - сила трения фрикционного гасителя;

P_1 , P_2 , P_3 , P_4 - давление воздуха в пневморессорах;

γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 , γ_5 , γ_6 - деформации пружин буксовой ступени в обобщенных координатах.

Для определения давления воздуха в пневморессорах составили

термодинамические уравнения, описывающие состояние воздуха в системе: уравнения первого закона термодинамики, Менделеева-Клапейрона, истечения газа через дроссель. Учитывая незначительное влияние теплообмена на колебательный процесс, показанное при исследовании одноосного экипажа, уравнения термодинамики записаны без этого показателя.

$$\begin{aligned} P_1 dV_1 + V_1 dP_1 - RG_1 dT_1 - RT_1 dG_1 &= 0, \\ P_2 dV_2 + V_2 dP_2 - RG_2 dT_2 - RT_2 dG_2 &= 0, \\ V_3 dP_3 - RG_3 dT_3 - RT_3 dG_3 &= 0, \\ dG_3 &= dG_1 + dG_2. \end{aligned}$$

Если $P_1 \geq P_5$ и $P_2 > P_5$

$$\begin{aligned} dG_1 &= -\xi W \sqrt{2\rho_5(P_1 - P_5)} dt, \\ dG_2 &= -\xi W \sqrt{2\rho_5(P_2 - P_5)} dt, \\ C_v G_1 dT_1 - RT_1 dG_1 + P_1 dV_1 &= 0, \\ C_v G_2 dT_2 - RT_2 dG_2 + P_2 dV_2 &= 0, \\ C_v G_3 dT_3 + C_v T_3 dG_3 + C_p T_1 dG_1 + C_p T_2 dG_2 &= 0 \end{aligned}$$

Если $P_1 \geq P_5$ и $P_2 < P_5$

$$\begin{aligned} dG_1 &= -\xi W \sqrt{2\rho_5(P_1 - P_5)} dt, \\ dG_2 &= \xi W \sqrt{2\rho_5(P_5 - P_2)} dt, \\ C_v G_1 dT_1 - RT_1 dG_1 + P_1 dV_1 &= 0, \\ C_v G_2 dT_2 + C_v T_2 dG_2 - C_p T_3 dG_2 + P_2 dV_2 &= 0, \\ C_v G_3 dT_3 + C_v T_3 dG_3 + C_p T_1 dG_1 + C_p T_3 dG_2 &= 0. \end{aligned}$$

Если $P_1 < P_5$ и $P_2 < P_5$

$$\begin{aligned} dG_1 &= \xi W \sqrt{2\rho_1(P_5 - P_1)} dt, \\ dG_2 &= \xi W \sqrt{2\rho_2(P_5 - P_2)} dt, \\ C_v G_1 dT_1 + C_v T_1 dG_1 - C_p T_3 dG_1 + P_1 dV_1 &= 0, \\ C_v G_2 dT_2 + C_v T_2 dG_2 - C_p T_3 dG_2 + P_2 dV_2 &= 0, \\ C_v G_3 dT_3 + C_v T_3 dG_3 + C_p T_3 dG_1 + C_p T_3 dG_2 &= 0. \end{aligned}$$

Если $P_1 < P_5$ и $P_2 \geq P_5$

$$\begin{aligned} dG_1 &= \xi W \sqrt{2\rho_1(P_5 - P_1)} dt, \\ dG_2 &= -\xi W \sqrt{2\rho_5(P_2 - P_5)} dt, \\ C_v G_1 dT_1 + C_v T_1 dG_1 - C_p T_3 dG_1 + P_1 dV_1 &= 0, \\ C_v G_2 dT_2 - RT_2 dG_2 + P_2 dV_2 &= 0, \\ C_v G_3 dT_3 + C_v T_3 dG_3 + C_p T_3 dG_1 + C_p T_2 dG_2 &= 0 \end{aligned}$$

Ввиду того, что уравнения термодинамики для пневмосистемы второй тележки аналогичны уравнениям первой тележки (меняются только индексы 1, 2, 5 соответственно на 3, 4, 6), они здесь не

приводятся. Таким образом, для перечисленных комбинаций давлений воздуха (P_1, P_2, P_5 - I тележка, P_3, P_4, P_6 - II тележка), характеризующих сжатие - расширение пневморессор при колебаниях тепловоза, составлено 24 нелинейных дифференциальных уравнения с таким же числом неизвестных ($z_1, \mathcal{Y}_1, P_1, P_2, P_5, T_1, T_2, T_5, G_1, G_2, G_5$ - I тележка, $z_2, \mathcal{Y}_2, P_3, P_4, P_6, T_3, T_4, T_6, G_3, G_4, G_6$ - II тележка, z, \mathcal{Y} - кузов).

Функцией возмущения принята геометрическая неровность, выведенная Н.Н. Кудрявцевым

$$y_i = 0,01796 \sin \frac{\pi x}{L} + 0,00736 \sin \frac{3\pi x}{L}$$

где x - пройденный путь, м,

$L = 25$ м - длина рельса.

Результаты расчета показали, что наилучшие динамические показатели системы получены при объеме дополнительного резервуара $0,06 \text{ м}^3$ и диаметрах дросселей $0,015-0,017$ м для схемы А и $0,021-0,024$ м для схемы Б.

Сопоставление схем А и Б по динамическим показателям показывает, что по колебаниям подпрыгивания эти две схемы практически равноценны, но с точки зрения гашения колебаний галопирования схема А лучше, чем Б.

Полученные результаты теоретических исследований были рекомендованы для оборудования натурального тепловоза 2ТЭ116-118 опытными опорами и проведения динамических ходовых испытаний.

Глава 4. Стендовые исследования характеристик объединенных систем диафрагменных пневморессор и опор кузова.

Учитывая многообразие конструктивных и весовых показателей железнодорожных экипажей, были проведены исследования для выявления возможности широкого варьирования поперечной жесткостью диафрагменных пневморессор при применении одного типа оболочки. путем изменения высоты наружного корпуса рессоры и внутреннего давления воздуха. Исследования проводились на диафрагменной пневморессоре, имеющей цилиндрические направляющие арматуры. Высота наружного корпуса пневморессоры менялась от $0,145$ до $0,075$ м; давление - от $2 \cdot 10^5$ до $5,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

В результате проведенных исследований была выведена эмпирическая зависимость поперечной жесткости диафрагменной пневморессоры с цилиндрическими направляющими арматуры от высоты наружного корпуса, которая имеет вид

$$C = \frac{C_0}{2} \frac{h^2}{H_0^2} \left(1 + \frac{H_0}{h}\right),$$

где C_0 - начальное значение поперечной жесткости при исходной высоте наружного корпуса H_0 ; h - текущее значение высоты наружного корпуса.

Поперечная жесткость пневморессоры, рассчитанная по этой формуле, дает хорошее совпадение с экспериментом: погрешность не превышает 5 %. По результатам стендовых исследований рекомендуется высота наружного корпуса 0,075 м. При давлении воздуха $5,5 \cdot 10^5$ Н/м², что соответствует статической нагрузке 110 кН, поперечная жесткость пневматической рессоры эквивалентна маятнику длиной 0,4 м.

Таким образом, на основании проведенных исследований показана возможность осуществить с помощью диафрагменной пневморессоры не только амортизацию вертикальных колебаний тепловоза, но и горизонтальных (поперечных) с приемлемыми упругодиссипативными характеристиками.

Автором под общим руководством д.т.н. Куценко С.М. и к.т.н. Голубятникова С.М. разработана конструкция комбинированной боковой опоры кузова, состоящая из диафрагменной пневморессоры типа Н-6, 580x170 и роликов, которая осуществляет функции как второй ступени подвешивания, так и гибкой поперечной связи кузова с тележками (пневмороликовая опора). Конструкция защищена авторским свидетельством. Указанными опорами, с учетом проведенных исследований, произведено оборудование тепловоза 2ТЭ116-118 производства Ворошиловградского тепловозостроительного завода. Пневмороликовые опоры устанавливаются между кузовом и тележками в тех же местах и габаритах, что и серийные опоры. В систему пневмоподвешивания тепловоза, кроме диафрагменных пневморессор, входят: дополнительные воздушные резервуары, высоторегулирующие клапаны, срывные клапаны, соединительный трубопровод, дроссели, запорные краны.

Глава 5. Исследование колебаний натурального тепловоза с пневмоподвешиванием во второй ступени.

Ходовые (динамические) испытания тепловоза 2ТЭ116-118, оборудованного пневмороликовыми опорами кузова, проведенные ВНИИ на участке Голутвин-Озера Московской железной дороги, подтвердили правильность теоретических расчетов. Наилучшие динамические результаты получены при объеме дополнительного резервуара на одну пневморессору 0,06 м³, диаметре дросселя 0,02 м, стати-

ческом прогибе буксовой ступени 0,06 м и силе сопротивления гасителя колебаний 0–2500 Н, что свидетельствует о достоверности математической модели и метода теоретического исследования.

При указанных параметрах рессорного подвешивания вертикальные ускорения кузова на скорости 27,8 м/с составляют 0,2g, коэффициент вертикальной динамики буксовой ступени 0,21. Показатель демпфирования собственных колебаний тепловоза 0,29, частота – 1,22 Гц.

Применение диафрагменных пневморессор в качестве опор кузова существенно улучшило вибростояние рабочих мест локомотивной бригады и обеспечило показатель плавности хода опытного тепловоза на уровне пассажирских вагонов.

Проведенные исследования показали возможность уменьшить статический прогиб рессор буксовой ступени, что создает благоприятные условия работы для элементов тягового привода и упругих связей бугс с рамой тележки, полностью отказаться от применения специальных гасителей колебаний, благодаря наличию пневматического демпфирования с помощью дросселя, установленного между пневморессорой и дополнительным резервуаром.

В связи с тем, что пневматическая рессора относится к элементу с упруго-вязким сопротивлением, т.е. совмещающему функции упругого элемента и вязкого гасителя колебаний, то в данной работе решалась задача: исследовать как меняются упругие, диссипативные, жесткостные и энергетические характеристики пневмоподвешивания в зависимости от параметров пневмосистемы и режима колебаний тепловоза. Исследования, проведенные с помощью диаграмм работ пневморессор за цикл, построенных по собственным колебаниям и колебаниям тепловоза в движении, показали, что с увеличением скорости все показатели, оценивающие вышеперечисленные характеристики, кроме коэффициента относительного демпфирования, растут. Коэффициент относительного демпфирования D , определенный по колебаниям тепловоза в поездках, заметно ниже, чем при собственных, и уменьшается с ростом скорости, однако находится вблизи нижней границы рекомендуемого предела 0,2–0,3. Выявлено, что для получения более стабильного значения коэффициента D при движении тепловоза во всем диапазоне скоростей необходимо задавать диаметр дросселя несколько больший, чем определенный в результате анализа собственных колебаний. Наиболее рациональным путем в этом отношении является введение переменного по величине

не проходного сечения дросселя, изменяющегося по определенному закону в соответствии с переменными амплитудой и частотой колебаний: с увеличением амплитуды (частоты) проходное сечение должно увеличиваться и наоборот, т.е. внедрить в пневмоподвешивание систему автоматического регулирования колебаний локомотива.

Глава 6. Расчет технико-экономической эффективности.

В главе дается технико-экономическая оценка пневмороликовых опор применительно к унифицированному шестиосному экипажу тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10В.

Экономический эффект от внедрения пневмороликовых опор кузова на магистральных тепловозах создается за счет улучшения ходовых (динамических) качеств экипажа, снижения динамического воздействия на путь и уменьшения расходов на его ремонт и текущее содержание, а также за счет отказа от применения гасителей колебаний в буксовой ступени и обслуживания их в эксплуатации.

Расчетом установлено, что экономический эффект от применения пневмороликовых опор составляет 1,5 тыс. руб./секц. в год.

В В В О Д Ы

1. Разработана методика расчета вертикальных колебаний шестиосного локомотива с пневматическими рессорами во второй, винтовыми пружинами и фрикционными гасителями в первой ступенях, апробированная путем сопоставления теоретических и экспериментальных данных, которые хорошо согласуются между собой.

2. Применение математической модели колебаний локомотива, составленной с учетом реальных физических (газодинамических) процессов, протекающих в пневмосистеме, для описания которых использованы уравнения термодинамики, позволяет выбрать на стадии проектирования рациональные параметры рессорного подвешивания, сократить доводочные работы и снизить материальные затраты на создание новой техники.

3. Проанализировано влияние изменения высоты борта наружного корпуса диафрагменной пневморессоры на величину ее поперечной жесткости. На основании экспериментальных исследований предложена эмпирическая зависимость поперечной жесткости пневморессоры с цилиндрическими направляющими арматуры от высоты борта наружного корпуса. В результате выбрана высота борта, равная 0,075 м, обеспечивающая приемлемую характеристику упругой поперечной связи кузова локомотива с тележками.

4. На основании результатов проведенных исследований разработана, создана, испытана на стенде и натурном тепловозе конструкция комбинированной боковой опоры кузова локомотива, включающая пневматическую рессору диафрагменного типа и ролики, защищенная авторским свидетельством.

5. Пневматическое рессорное подвешивание локомотива, выполняющее многоцелевую функцию (упругую амортизацию вертикальных и горизонтальных колебаний кузова), способствует существенному улучшению ходовых качеств и высокой стабильности динамических показателей экипажа на пути различного состояния. Так, например, при скорости 27,8 м/с (100 км/ч) вертикальные и горизонтальные ускорения кузова и коэффициент вертикальной динамики буксовой ступени опытного тепловоза 2ТЭ116-116 не превышают соответственно 0,2g, 0,18g и 0,21; отличие перечисленных показателей на пути удовлетворительного и неудовлетворительного состояний не превышает 20-45%, тогда как у серийных конструкций экипажных частей отличие достигает двух раз.

6. Применение пневматических рессор во второй ступени подвешивания локомотивов позволяет: уменьшить статический прогиб буксовой ступени, что благоприятно скажется на работу элементов тягового привода и упругих связей букс с рамой тележки; полностью отказаться от применения специальных гасителей колебаний, благодаря наличию пневматического демпфирования с помощью дросселя, установленного между пневморессорой и дополнительным резервуаром.

7. В процессе колебаний локомотива на пневморессорах наблюдается перераспределение соотношения между упругой и диссипативной составляющими динамического усилия в зависимости от диаметра дросселя, объема дополнительного резервуара и скорости движения (амплитуд колебаний) тепловоза, существенно влияющих на динамические характеристики экипажа.

8. Выбор демпфирования, осуществляемого в системе пневматического рессорного подвешивания локомотива с помощью дросселя, по собственным колебаниям является первым этапом, после чего величина демпфирования должна быть уточнена в режиме движения тепловоза с различными скоростями.

9. Установлена связь между параметрами пневмосистемы (конструктивными, упругими, диссипативными) и динамическими показателями тепловоза. На основании полученных результатов разработа-

на пневматическая система опор кузова локомотива с параметрами, рекомендованными в данном исследовании.

10. Пневматическая система связи кузова с тележками в виде диафрагменных пневматических рессор в сочетании с роликовыми опорами рекомендуется для пассажирских и мощных грузовых локомотивов, особенно с высокими осевыми нагрузками, а также для скоростного пассажирского подвижного состава.

11. Результаты проведенных исследований реализованы на тепловозе 2ТЭ116-118 производства Ворошиловградского тепловозостроительного завода.

12. Экономический эффект от применения пневматических рессор во второй ступени подвешивания шестисных экипажей тепловозов 2ТЭ116 и 2ТЭ10В составляет 1,5 тыс. руб./секц. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лобачев Н.А. Исследование вертикальной динамики тепловоза с пневмоподвешиванием во второй ступени. В сб. "Совершенствование конструкции ходовых частей тепловозов" (ЦНИИТЭИТЯЖМАШ), вып. 5-82-20, М., 1982, с. 9-12.

2. Лобачев Н.А., Голубятников С.М. Пневматические рессоры диафрагменного типа. В сб. "Транспортное машиностроение" (ЦНИИТЭИТЯЖМАШ), вып. 5-79-16, М., 1976, с. 8-12.

3. Голубятников С.М., Лобачев Н.А., Куценко С.М. Конструкция и характеристики комбинированной пневматической опоры кузова. В сб. трудов ВНИТИ "Исследование узлов и агрегатов тепловозов" (под ред. Нестерова Э.И.), вып. 52, Коломна, 1980, с. 52-55.

4. Лобачев Н.А., Куценко С.М., Рубан А.Н. Исследование вертикальных колебаний тепловоза с пневморессорами во второй ступени рессорного подвешивания. В сб. трудов ВНИТИ "Исследование динамики и прочности узлов тепловозов и путевых машин" (под ред. Голубятникова С.М.), вып. 53, Коломна, 1981, с. 48-58.

5. Лобачев Н.А., Голубятников С.М., Куценко С.М. Демпфирование пневматического рессорного подвешивания. В сб. трудов ВНИТИ "Повышение эксплуатационной надежности тепловозов и путевых машин" (под ред. Голубятникова С.М.), вып. 58, Коломна, 1983.

6. А.С. № 779134 (СССР). Комбинированная боковая опора кузова железнодорожного транспортного средства на тележку (С.А. Голубятников, С.М. Куценко, Н.А. Лобачев, В.А. Кондриков, В.В. Науменко, Ю.В. Аведиков - Опубл. в Б.И., 1980, № 42.

Днепропетровский
институт инженеров
жел. дор. транспорта
им. М. И. Калинина
БИБЛИОТЕКА

Handwritten signature
ДНУЖТ

Сканировала Юнаковская В. В.

Автореферат.
БТ 70166 Подписано к печати 31.01.84г. Формат 60x84/16.
Бумага писчая. Печать плоская. Усл. печ. л. 0,93. Тираж 100.
Заказ № 1475. Бесплатно. Городская типография № 3. Днепропетровского областного управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 320000 г. Днепропетровск ул. Серова, 7.