

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

На правах рукописи
УДК 625.282.84:62-272.8

Чернобай Геннадий Александрович

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛОКОМОТИВА
С ПНЕВМОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕССОРНЫМ ПОДВЕШИВАНИЕМ
НА НЕРАВНОУПРУГОМ ПУТИ

Специальность 05.22.07 - Подвижной состав железных
дорог и тяга поездов

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

Днепропетровск - 1988

Работа выполнена на кафедре "Локомотивостроение" Харьков-
ского ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции политехни-
ческого института имени В.И.Ленина (ХПИ).

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки УССР,
доктор технических наук,
профессор С.М.Куценко

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор В.Д.Данович;

- кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
В.А.Ксенья.

Ведущее предприятие - Производственное объединение
"Львівське тепловоз".

Защита состоится "28" октября 1988 г. в 13⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета КИП.07.01 при Днепро-
петровском институте инженеров железнодорожного транспорта

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рост промышленного производства, намеченный директивами партии и правительства, предусматривает значительное увеличение грузооборота, производительности труда и надежности работы железнодорожного транспорта - основного звена транспортной системы СССР.

Железнодорожным транспортом колеи 750 мм, при общей эксплуатационной длине сети более 40000 км, осуществляется большой объем перевозок в лесной, торфодобывающей, горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности. Для обеспечения потребностей УМД Камбарским машиностроительным заводом ежегодно выпускается до 500 тепловозов, однако состояние и свойства узкоколейного железнодорожного пути, а также характеристики применяемых локомотивов налагают существенные ограничения на максимальные и участковые скорости движения при значительных динамических нагрузках на путь. Проблемы безопасности движения, повышения производительности и улучшения условий труда локомотивных бригад, вопросы конкурентоспособности при экспортных поставках делают актуальной задачу совершенствования динамических показателей узкоколейных тепловозов на основе теоретических и экспериментальных работ по созданию качественно новых систем ходовой части и одного из ее основных элементов - рессорного подвешивания.

Исследования отечественных и зарубежных ученых указывают на перспективность замены традиционных систем рессорного подвешивания принципиально новыми - пневматическими и пневмометаллическими, способными существенно улучшить динамические характеристики подвижного состава. При решении вопроса о применении на тепловозах УЖД пневмоподвешивания особую актуальность приобретают, наряду с опытно-конструкторскими работами, комплексные теоретические исследования процессов в единой системе "локомотив-путь" с учетом реальных переменных параметров ее основных элементов.

Цель работы, в соответствии с изложенным, являются теоретические и экспериментальные исследования системы "локомотив с различными вариантами рессорного подвешивания - путь", проектирование на этой основе опытных конструкций пневмометаллического рессорного подвешивания, обеспечивающих эффективное снижение динамических нагрузок в системе "локомотив-путь", их изготовление с установкой на узкоколейных тепловозах и проведением сравнительных динамичес-

ких и эксплуатационных испытаний, а также разработка предложений для промышленности.

Работа проведена в соответствии с координационными планами заданий Главного управления тепловозостроения Минтяжмаша СССР (тема Г.76.4.05.001). Теоретические и конструкторские разработки выполнены в Харьковском ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции политехническом институте имени В.И.Ленина (ХПИ) на кафедре "Локомотивостроение". Создание экспериментальной партии тепловозов ТУ7 с пневмометаллическим рессорным подвешиванием выполнено по разработкам ХПИ на Камбарском машиностроительном заводе (КМЗ). Натурные сравнительные динамические испытания локомотива ТУ7 с различными конструкциями рессорного подвешивания и эксперименты по определению динамических характеристик рельсовой колеи проведены на участке УЖД Выксунского леспромхоза Горьковской области комбината "Горьклес". Испытания производились ХПИ совместно с Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) при консультативной помощи Института физики Земли АН СССР (ИФЗ).

Методика исследований. В работе использованы: метод математического моделирования - при исследовании пространственных колебаний систем "локомотив - путь", метод физического моделирования - при стендовых испытаниях пневматических упругих элементов рессорного подвешивания, методы экспериментальной диагностики и идентификации - при определении упругих характеристик железнодорожного пути, а также метод сравнительных динамических и эксплуатационных натурных испытаний тепловозов с опытными и серийным образцами рессорного подвешивания.

Научная новизна работы. Разработана методика, создана установка и комплекс приспособлений, с помощью которых проведено определение переменных упругих характеристик опытного участка узкоколейного железнодорожного пути в горизонтальном поперечном направлении.

Разработана математическая модель пространственных колебаний узкоколейной динамической системы "локомотив с пневмометаллическим рессорным подвешиванием - путь", отражающая механические и термодинамические процессы в заданных режимах исследования. В модель введены переменные геометрические и жесткостные характеристики железнодорожного пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях, нелинейные геометрические характеристики резинокордной оболочки,

параметры упругого (аварийного) балансира. Аналогичная модель разработана для локомотива с серийным рессорным подвешиванием.

Разработаны и исследованы два типа пневмометаллического рессорного подвешивания узкоколейных тепловозов: с высоторегулирующим клапаном – открытое и без высоторегулирующего клапана – закрытое, герметизированное.

Практическая ценность. Экспериментальным путем определены перемещения геометрические и упругие характеристики типичного участка магистрального узкоколейного железнодорожного пути в горизонтальном поперечном направлении, рекомендуемые для применения в разработанных математических моделях пространственных колебаний узкоколейных систем "локомотив – путь", что дает возможность более строгого прогнозирования и сравнительного анализа динамических характеристик локомотива с различными вариантами рессорного подвешивания на стадии проектирования.

Введение в математическую модель параметров упругого продольного (аварийного) балансира позволяет проводить расчетный анализ поведения динамической системы в аварийной ситуации в случае разгерметизации (прорыва) резинокордных оболочек.

Структура математической модели пневматического рессорного подвешивания позволяет проводить исследования на ЭВМ различных его вариантов (трех- или четырехточечного) с произвольными схемами балансировки, определять их динамические показатели для выбора оптимальных конструктивных параметров.

Подтверждена возможность и целесообразность применения пневмометаллического рессорного подвешивания, значительно улучшающего динамические характеристики подвижного состава, на узкоколейном железнодорожном транспорте.

Рекомендовано к внедрению на локомотивах УЖД, как наиболее перспективное, пневмометаллическое рессорное подвешивание закрытого типа и определены его оптимальные конструктивные параметры – объем дополнительного резервуара и диаметры дроссельных отверстий соединительных трубопроводов, определяющих упругие и демпфирующие характеристики рессорного подвешивания.

Внедрение результатов работы. Рекомендации, представленные на основании теоретических и экспериментальных исследований, внедрены на Камбарском машиностроительном заводе при изготовлении экспериментальной партии узкоколейных тепловозов ТУ7 с пневмометаллическим

рессорным подвешиванием различных конструкций. Экономический эффект от внедрения методики расчета составляет 17068 руб, от внедрения пневмометаллического рессорного подвешивания на тепловозе - 3060 руб. на один тепловоз в год. Акты внедрения прилагаются.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на заседаниях кафедры "Локомотивостроение" ХПИ имени В.И.Ленина в 1978, 1981 и 1986 гг; на научно-технических конференциях ХПИ имени В.И.Ленина в 1982 и 1984 гг; на городском научно-методическом семинаре кафедр теоретической механики в 1985 г.; на Всесоюзной научно-технической конференции "Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности" в г.Ворошиловграде, 1985 г.; на заседании Научно-технического совета отдела главного конструктора ПО "Льдиновотепловоз" в 1988 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация (общий объем - 171 страница) состоит из введения, пяти глав, общих выводов и предложений, перечня использованной литературы (189 наименований) и приложений. Работа содержит 98 страниц машинописного текста (без библиографии и приложений), 59 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении освещены роль узкоколейного железнодорожного транспорта в системе народного хозяйства СССР и перспективы его развития, указана необходимость совершенствования подвижного состава и обоснована актуальность выбранной темы исследований.

В первой главе анализируется состояние исследуемого вопроса, приводится обзор литературы по избранной теме, формулируются цели и задачи диссертационной работы.

В связи с ростом интенсивности работы железнодорожного транспорта, увеличением объема перевозок и скорости движения большое значение приобретают вопросы взаимодействия пути и подвижного состава, улучшения их динамических качеств на основе создания новых перспективных конструкций, совершенствования расчетных и экспериментальных методов исследований.

Проблемам взаимодействия пути и железнодорожного подвижного состава колеи 1520 мм посвящали работы многие отечественные ученые:

С.В.Амелин, Е.П.Блохин, М.Ф.Вериго, С.В.Вершинский, М.В.Винокуров, А.М.Годыцкий-Цвирко, С.И.Голубятников, Л.О.Грачева, В.Н.Данилов, В.Д.Данович, А.С.Евстратов, О.П.Ершков, Б.Н.Иванов, А.А.Каммаев, В.А.Камаев, Н.А.Ковалев, К.П.Королев, А.Я.Коган, А.Н.Коняев, М.Л.Коротенко, Н.Н.Кудрявцев, Т.Ф.Кузнецов, С.М.Куценко, В.А.Лазарян, А.А.Львов, Л.А.Манашкин, В.Б.Медель, И.П.Нахонов, Н.П.Петров, Ю.С.Ромен, А.Н.Савоськин, Т.А.Тибилова, В.Ф.Ушкалов, В.Д.Хусидов, М.А.Фришман, Л.А.Шадур, А.К.Шафрановский, Г.М.Шахунянц, В.Ф.Яковлев и др.

Основной тенденцией развития исследований динамики железнодорожного подвижного состава является переход от разделения вертикальных и боковых колебаний к рассмотрению движения пространственных многомассовых систем, к углубленным теоретическим и экспериментальным исследованиям динамической структуры железнодорожного пути.

Исследования по динамике подвижного состава колеи 750 мм отражены в трудах С.А.Абрамова, В.В.Буверта, Б.Г.Гастева, Н.Г.Игнатов, С.И.Илюшкина, А.А.Камаева, В.А.Камаева, М.И.Кишинского, А.С.Королева, Б.И.Кувалдина, В.И.Куприянова, А.И.Логонова, В.И.Мельникова, Г.С.Михальченко, Д.Ю.Почтаря, М.В.Разживина, М.П.Смирнова, Н.В.Харламова, К.К.Хохлова и других. Эти исследования проводятся с учетом специфических особенностей УЖД - вдвое меньшей ширины колеи, слабости верхнего строения, малой длины рельсов и наличия на них значительных геометрических неровностей, меньшей поперечной устойчивости и малого диаметра колес подвижного состава, оказывающих существенное влияние на его движение. Однако, несмотря на большой объем и глубину исследований, разработанные математические модели, в основном, отражают особенности подвижного состава с традиционным разделением вертикальных и боковых колебаний; нет комплексного подхода к определению переменных динамических характеристик участка УЖД достаточной протяженности; конструкции рессорного подвешивания подвижного состава, базируясь на металлических упругих элементах, не претерпели качественных изменений. Их характерные недостатки - ограниченность статического прогиба, необходимость применения специальных демпферов, слабая изоляция надрессорного строения от высокочастотных колебаний - налагают существенные ограничения на скорость движения.

Одним из перспективных направлений в решении задач улучшения динамических качеств подвижного состава является применение пнев-

матического и пневмометаллического типов рессорного подвешивания, обеспечивающих возможность получения больших эквивалентных статических прогибов, обладающих самодемпфирующей способностью и надежной виброизоляции. Теоретическим и экспериментальным исследованиям пневматического рессорного подвешивания, внедрению его на железнодорожном подвижном составе нашей страны посвящены работы Р.А. Акопьяна, И.И. Галиева, А.М. Горелика, В.С. Завта, В.А. Закорецкого, А.В. Кузнецова, С.М. Куценко, М.П. Нахимова, Я.М. Певзнера, А.Н. Савоськина, С.С. Савушкина и других.

Ведущие научно-производственные коллективы страны - ВНИИЖТ, ВНИТИ, НИКТИ, ЦНИИМЭ, ВЗИИТ, МИИТ, ОМНИИТ, ВМи, ХПИ, ВТЭ, ЛТЭ, РВЭ, КМЭ и другие создали более пятнадцати образцов тягового подвижного состава с применением пневматических упругих элементов в рессорном подвешивании, надежность и высокие динамические качества которых были подтверждены всесторонними натурными испытаниями.

Во второй главе обоснованы расчетные схемы и составлены математические модели пространственных колебаний узкоколейных систем "локомотив с пневмометаллическим рессорным подвешиванием - путь", "локомотив с серийным подвешиванием - путь". Расчетная схема тепловоза представлена как система из семи абсолютно жестких тел: кузова, двух тележек с обрессорными массами и четырех колесных пар с необрессорными массами. Центром поворота тележки (виляния) является шкворень. Кузов экипажа через плоские опоры-скользуны опирается на рамы тележек. Колесные пары имеют упругую поперечную связь с рамой тележки, буксы-челюстные, буксовый упор с зазором и предварительным натягом. Путь принят безинерционным с переменными геометрическими и упругими характеристиками в вертикальном и поперечном горизонтальном направлениях. Движение рассматривается на выезде с постоянной скоростью. При исследовании термодинамических процессов использован квазистационарный метод расчета параметров воздуха в системе пневматического рессорного подвешивания.

Обобщенными координатами являются: для кузова - Z (подпрыгивание), Y (боковой отскок), Ψ (галопирование), Φ (виляние), Θ (боковая качка); для тележек - φ_i (виляние), $i = 1$ для первой по ходу тележки, $i = 2$ - для второй); для колесных пар - Z_{ij} (подпрыгивание, $j = 1$ для первой по ходу колесной пары, $j = 2$ для второй), Y_{ij} (боковой отскок), Θ_{ij} (боковая качка). Индекс "К" обозначает величины, связанные с левой ($K = 1$) и правой ($K = 2$) по ходу движения сторонами локомотива.

В матричной форме уравнения механических колебаний имеют вид:

$$M \ddot{\vec{q}} + B \dot{\vec{q}} + C \vec{q} = \vec{Q}$$

где M, B, C - соответственно матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов; $\vec{q}, \dot{\vec{q}}, \ddot{\vec{q}}$ - векторы обобщенных координат, скоростей и ускорений; \vec{Q} - вектор сил.

Герметизированное пневмометаллическое рессорное подвешивание тепловоза ТУ7 состоит из четырех групп элементов (пневморессора, продольный трубопровод, дополнительный резервуар и упругий балансир), объединенных поперечным трубопроводом в трехточечную сбалансированную систему, обеспечивающую статически определимое распределение нагрузок по колесам.

Термодинамические уравнения для наиболее сложного элемента воздушной системы - пневморессоры, имеющей два источника (стока) и переменные объем и эффективную площадь - имеют вид:

$$-K_T H_T (T_{ik} - T_0) dt + (C_V + R) \{ T_{ik} \sin(P_{ik} - P_{ik}^n) + T_{ik}^n [1 - \sin(P_{ik} - P_{ik}^n)] \} dG_{ik}^{nn} + (C_V + R) \{ T_{ik} \sin(P_{ik} - P_{ik}^u) + T_{ik}^u [1 - \sin(P_{ik} - P_{ik}^u)] \} dG_{ik}^{nu} - C_V G_{ik} dT_{ik} - C_V T_{ik} dG_{ik} - P_{ik} dV_{ik} = 0 ;$$

$$P_{ik} dV_{ik} + V_{ik} dP_{ik} - R G_{ik} dT_{ik} - R T_{ik} dG_{ik} = 0 ;$$

$$dG_{ik}^{nn} = (-M S_{nn} \sqrt{2 S_{ik}^{nn} |P_{ik} - P_{ik}^n|} dt) \text{sign}(P_{ik} - P_{ik}^n)$$

$$dG_{ik}^{nu} = (-M S_{nu} \sqrt{2 S_{ik}^{nu} |P_{ik} - P_{ik}^u|} dt) \text{sign}(P_{ik} - P_{ik}^u) ;$$

$$dG_{ik} = dG_{ik}^{nn} + dG_{ik}^{nu} ,$$

где: K_T - стационарный усредненный коэффициент теплопередачи; H_T - поверхность теплопередачи; $T_{ik}, P_{ik}, G_{ik}, V_{ik}$ - температура, давление, масса и объем воздуха в пневморессоре; T_0 - температура окружающего воздуха; C_V - изохорная теплоемкость воздуха; R - универсальная газовая постоянная; P_{ik}^u, T_{ik}^u - давление и температура воздуха в поперечном трубопроводе; $dG_{ik}^{nn}, dG_{ik}^{nu}$ - расход воздуха через дроссельные шайбы продольного и поперечного трубопроводов; M - коэффициент истечения; S_{nn}, S_{nu} - площадь проходного сечения

дроссельных шайб продольного и поперечного трубопроводов; $\rho_{ik}^{пл}$, $\rho_{ik}^{пл}$ - усредненные плотности воздуха; P_{ik}^n , T_{ik}^n - давление и температура воздуха в продольном трубопроводе; si - специальная функция ($si(q) = 1$, если $q > 0$; $si(q) = 0$, если $q \leq 0$).

В уравнении введены экспериментально определенные нелинейные геометрические характеристики резинокордной оболочки Н21 - ее эффективная площадь (F_{ik}) и объем (V_{ik}) в функции от высоты (h_{ik})

$$\begin{aligned} F_{ik} &= 0,106 - 0,288 h_{ik} + 0,889 h_{ik}^2 - 18,58 h_{ik}^3; \\ V_{ik} &= -0,00289 + 0,0964 h_{ik} - 0,0624 h_{ik}^2 - 0,6069 h_{ik}^3 \end{aligned}$$

В развернутом виде математическая модель пространственных колебаний локомотива ТУ7 с пневмометаллическим рессорным подвешиванием содержит 19 дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих механические колебания системы, 43 дифференциальных уравнения, описывающих термодинамические процессы и 132 вспомогательных алгебраических уравнения.

Аналогичная модель для локомотива с серийным металлическим рессорным подвешиванием содержит 19 дифференциальных уравнений второго порядка и 116 вспомогательных алгебраических уравнений.

В результате исследования на математических моделях сравниваемых систем "локомотив - путь" с различными вариантами рессорного подвешивания получены их расчетные параметры, анализ которых показал значительное улучшение (в среднем на 15 - 20 %) динамических характеристик локомотива с пневмометаллическим рессорным подвешиванием по сравнению с серийным образцом. Сравнение расчетных и экспериментальных показателей определило необходимость введения в математическую модель на постоянных (дающих заниженные значения), а переменных упругих характеристиках узкоколейного железнодорожного пути в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях, что позволяет более строго сравнивать исследуемые системы, определять их динамические показатели на стадии проектирования, выбирать оптимальные варианты и параметры конструкций. Для тепловоза ТУ7 с пневмометаллическим рессорным подвешиванием расчетные (при максимальной скорости движения - 50 км/ч) вертикальные ускорения кузова (\ddot{Z}) составляют 1,7 м/с², горизонтальные (\ddot{Y}) - 1,8 м/с², вертикальные ускорения первой колесной пары (\ddot{Z}_{1j}) - 75 м/с², рамные силы (F_B) - 8,7 кН; для тепловоза с серийным металлическим рессорным подвешиванием соответственно: $\ddot{Z} = 2,1$ м/с², $\ddot{Y} = 2,1$ м/с², $\ddot{Z}_{1j} = 82$ м/с², $F_B = 9,8$ кН. Максимальные расчетные значения давления

составили для пневморессоры и поперечного трубопровода 0,87 МПа, для продольного трубопровода - 0,855 МПа, для дополнительного резервуара - 0,844 МПа. Максимальные значения температур равны соответственно 296.7 К, 291.8 К, 289.6 К.

В третьей главе изложены теоретические предпосылки, методика и результаты эксперимента по определению переменных горизонтальных геометрических и упругих характеристик участка узкоколейного железнодорожного пути, достаточной для проведения натурных испытаний докомотива протяженности. Приведенной массой пути (вследствие ее малости) и его диссипативными свойствами (ввиду невысоких - до 50 км/ч - скоростей движения) на данном этапе исследований пренебрегаем. Текущие вертикальные (ϵ) и горизонтальные (η) геометрические неровности определяются непосредственным обмером ненагруженного участка пути длиной 100 м с помощью нивелира и прецизионной рейки в 500 сечениях с шагом 0,2 м. Жесткостные параметры определяются деформацией рельса под известной подвижной нагрузкой (F_n) в горизонтальном поперечном направлении. Нагружение производится с помощью экспериментальной установки - катка (массой M_k) с цилиндрическими бандажами, прокатываемой по опытному участку пути со скоростью V . Регистрация траектории бокового отбоя катка (Y), его поперечной скорости (V_y) и ускорения (W_y) производится сейсмометрическими приборами подвижной установки. Положение и контроль линии отсчета и масштабах коэффициентов определялись замером отката ($Y-\eta$) рельса в контрольных сечениях, осуществляемом стационарными измерительными комплексами, установленными в зонах минимального динамического воздействия проходящей подвижной установки - катка. Фиксация положения отдельных исследуемых и контрольных сечений пути на осциллограммах обеспечивалась с помощью фотоэлектрического отметчика пути. Величина коэффициента горизонтальной жесткости (C_{jr}) для каждого из 500 исследуемых сечений (j) опытного участка пути определяется из уравнения:

$$C_{jr} = \frac{F_n - M_k W_{yj} - k \frac{V_{yj}}{V}}{Y_j - \eta_j}$$

где k - коэффициент крива. Анализ приведенных в работе гистограмм распределения и статистических характеристик показывает, что коэффициенты горизонтальной жесткости весьма мало (в пределах 10 % относительной погрешности) зависят от скорости движения в исследу-

емом диапазоне (10–50 км/ч), что позволяет, дискретно усреднив их в каждом данном сечении, получить таблицу из 500 значений C_{jr}

Статистические характеристики переменных геометрических и упругих параметров опытного участка пути приведены в таблице.

Параметр участка	Обозначение	min величина	max величина	математическое ожидание	Среднее квадрат. отклон.
Горизонтальные неровности левого рельса, м. 10^{-3}	h_A	-380,5	-370,5	-374,9	1,1
Горизонтальные неровности правого рельса, м. 10^{-3}	h_n	371,5	381,5	376,2	1,63
Ширина колеи, м. 10^{-3}	$h_A + h_n$	745,5	756,5	751,2	1,99
Вертикальные неровности левого рельса, м. 10^{-3}	ϵ_A	-82,5	22,5	-24,57	31,2
Вертикальные неровности правого рельса, м. 10^{-3}	ϵ_n	-77,5	27,5	-24,07	30,1
Разность уровней головок рельсов, м. 10^{-3}	$\epsilon_A - \epsilon_n$	-17,0	13,0	-0,50	5,07
Горизонтальная жесткость рельса, Н/м. 10^4	C_{jr}	75,0	650	194,5	88,2

В четвертой главе диссертации описаны конструкторские разработки, методика и некоторые результаты сравнительных динамических испытаний узкоколейного тепловоза ТУ7-0088 с различными вариантами рессорного подвешивания.

Особенностью испытаний было исследование серийного (металлического) и экспериментального (пневмометаллического) рессорных подвешиваний на одном и том же локомотиве на участке УЖД, где проводились описанные выше опыты по определению переменных упругих и геометрических характеристик пути, что позволяет более качественно и строго оценивать сравниваемые системы и достоверность теоретических исследований. Динамические и эксплуатационные испытания серийного образца и трех конструкций пневмометаллического рессорного подвешивания: открытого типа с высоторегулирующим клапаном и листовой (аварийной) рессорой, закрытого типа (без высоторегулирующего клапана, герметизированное) с листовой рессорой и закрытого типа с упругим (аварийным) балансиrom, показали существенные преимущества последнего варианта как наиболее простого, надежного и удобного

го в эксплуатации и обеспечивающего значительное улучшение динамических показателей локомотива по сравнению с серийным подвешиванием.

Проведенные в процессе испытаний методом сбрасывания с клин-ев исследования свободных колебаний локомотива подтвердили оптимальность выбора основных конструктивных параметров пневмометаллического рессорного подвешивания – объема дополнительного резервуара и диаметров дроссельных майб и определили его основные динамические характеристики:

частоту свободных колебаний подпрыгивания – 1,7 Гц, галоширования – 1,6 Гц, боковой качки – 1,0 Гц (у серийного соответственно 2,0, 1,9 и 1,2 Гц);

число периодов до затухания колебаний подпрыгивания – 1,5, галоширования – 1,6, боковой качки – 2 (у серийного соответственно 2,6, 2,8 и 3,0), что определяет эквивалентную статическую осадку тепловоза ТУ7 с пневмометаллическим рессорным подвешиванием – 0,087 м (у серийного – 0,06 м) и коэффициент относительного трения – 3,8 % (у серийного – 3,2 %). Статическая осадка упругого (аварийного) балансира – 0,009 м – обеспечивает безопасную эксплуатацию тепловоза с пониженной (до 20 км/ч) скоростью в случае разрыва резинокордной оболочки или отсутствия воздуха в пневмосистеме.

В пятой главе приводятся результаты расчетно-теоретических (глава 2) и опытно-экспериментальных (главы 3,4) исследований, анализ которых показывает, что колебания кузова при всех вариантах рессорного подвешивания носят периодический, незатухающий характер с частотами, близкими к собственным. Для тепловоза ТУ7 с пневмометаллическим рессорным подвешиванием экспериментально определенные (при максимальной скорости движения – 50 км/ч) вертикальные ускорения кузова (\ddot{Z}) составляют – 1,49 м/с², горизонтальные (\ddot{Y}) – 1,7 м/с², равные силы на первой колесной паре (F_6) – 8,8 кН, коэффициент динамики вертикальных колебаний (K_3^B) – 0,3, давление в пневморессоре – 0,861 МПа, в дополнительном резервуаре – 0,84 МПа; для тепловоза с серийным металлическим рессорным подвешиванием соответственно $\ddot{Z} = 2,5$ м/с², $\ddot{Y} = 1,98$ м/с², $F_6 = 10,2$ кН, $K_3^B = 0,44$. Увеличенная эквивалентная статическая осадка пневмометаллического рессорного подвешивания, более эффективное демпфирование, наличие продольной и поперечной балансировки объясняют улучшение динамических показателей экспериментального

тепловоза по сравнению с серийным образцом и обеспечивают, в зависимости от скорости движения, пропорциональное снижение вертикальных ускорений буфы на 15-20 %, кузова и кабины машиниста на 25-30 %.

Уменьшение боковой качки снижает уровень горизонтальных ускорений кузова, Заметное влияние на динамику локомотива колебания боковой качки оказывают при увеличении скорости движения, поэтому применение пневмометаллического рессорного подвешивания практически не сказывается на уровне горизонтальных ускорений кузова и кабины при скорости движения до 30 км/час, а при увеличении скорости до 40-50 км/час обеспечивает их снижение на 15-20 % по сравнению с серийным.

Анализ коэффициентов динамики, уровня рывковых сил и вертикальных динамических нагрузок на рельсы показывает, что локомотив с экспериментальным рессорным подвешиванием оказывает на 20-30 % меньшее силовое воздействие на путь, чем серийный, что позволяет увеличить участковые скорости движения подвижного состава.

Опыт эксплуатации и положительные отзывы локомотивных бригад подтверждают хорошие ходовые качества и надежную работу экспериментальных тепловозов. Сравнительная простота конструкции не создает трудностей в эксплуатации и обслуживании пневматических систем и позволяет, с учетом вышесказанного, рекомендовать пневмометаллическое рессорное подвешивание к применению на подвижном составе узкоколейных железных дорог.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработаны теоретические предпосылки и методика исследований, на основании которых проведено экспериментальное определение переменных упругих характеристик и геометрических неровностей узкоколейного железнодорожного пути в горизонтальной плоскости.

2. Составлены математические модели пространственных колебаний локомотива с экспериментальным пневмометаллическим и серийным металлическим типами рессорного подвешивания с учетом термодинамических процессов, нелинейных геометрических характеристик пневморессоры, переменных упругих и геометрических параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расчетные исследования, проведенные на таких моделях, позволяют более объективно и строго сравнить динамические показатели рассматриваемых систем, а также

прогнозировать характеристики перспективных систем рессорного подвешивания на стадии проектирования.

3. Разработаны, построены и исследованы три варианта систем пневмометаллического рессорного подвешивания с установкой на тепловозе и проведением натуральных динамических испытаний на опытном участке пути с известными из предварительных экспериментов геометрическими и упругими характеристиками.

4. Эксплуатационные испытания, анализ экспериментальных и расчетных исследований сравниваемых систем рессорного подвешивания показали преимущества тепловоза с пневмометаллическим рессорным подвешиванием. Динамические характеристики локомотива с новым рессорным подвешиванием улучшились на 15-20 % по сравнению с серийным образцом.

5. Результаты натуральных динамических испытаний и расчетные характеристики имеют удовлетворительную сходимость (расхождение в результатах не превосходит 15 %).

6. Определены оптимальные параметры системы пневмометаллического рессорного подвешивания, определяющие его упругие и демпфирующие показатели: $V^P = 0,031 \text{ м}^3$ - объем дополнительного резервуара; $d_{др} = 0,015 \text{ м}$ - диаметр дроссельной шайбы продольного трубопровода; $d_{поп} = 0,018 \text{ м}$ - диаметр дроссельной шайбы поперечного трубопровода.

7. Результаты работы внедрены на Камбарском машиностроительном заводе. Эксплуатация опытных образцов тепловоза ТУ7 с различными конструкциями пневмометаллического рессорного подвешивания проводилась на узкоколейных железных дорогах Выксунского леспромпхоза комбината "Горькийс" и Крестовогорского торфобрикетного предприятия.

8. Предлагаемые в работе методику и результаты исследований целесообразно применять при определении характеристик железнодорожного пути и разработке перспективных систем рессорного подвешивания тепловозов колеи 750 мм.

9. Годовой экономический эффект от применения пневмометаллического рессорного подвешивания на одном тепловозе составил 3060 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Динамические характеристики экспериментального и серийного тепловоза ТУ7. - Вест.Харьк. политехн. ин-та "Локомотивостроение", 1977, вып.3, с.35-36.

2. Илюшкин С.Н., Почтарь Д.М., Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Тепловозы узкой колеи с пневматическим рессорным подвешиванием. ВНИПИЭИ леспром, 1983, вып.13, с.9-10.

3. Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Определение переменных динамических характеристик железнодорожного пути. Тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. "Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности", 21-23 мая 1985 г. - Ворошиловград, 1985, с.40.

4. Куценко С.М., Чернобай Г.А. К вопросу об идентификации модели железнодорожного пути с распределенными параметрами в горизонтальной плоскости. 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 3.02.86, № 376 - Ук86. - 12 с.

5. Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Математическая модель вертикальных колебаний узкоколейной системы "Локомотив ТУ7 с пневмоподвешиванием - путь". 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 3.02.86, № 381 - Ук86. - 9 с.

6. Адашевский В.М., Кашошныи Н.Н., Рубан А.Н., Чернобай Г.А. Применение при натурных испытаниях железнодорожного транспорта фотоэлектрического отметчика пути. 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 6.02.86, № 445 - Ук86. - 5 с.

7. Чернобай Г.А. Определение геометрических характеристик узкоколейного железнодорожного пути в горизонтальной плоскости. 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 22.05.86, № 1204 - Ук86. - 13 с.

8. Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Термодинамические характеристики пневматического рессорного подвешивания в динамической системе "Локомотив-путь". 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 12.07.86, № 1686 - Ук86. - 5 с.

9. Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Вертикальные жесткостные характеристики пути для математических моделей железнодорожных узкоколейных систем "экипаж-путь". 1986. - Деп. в УкрНИИТИ 12.07.86, № 1689 - Ук86. - 8 с.

10. Адашевский В.М., Елбаев Э.П., Чернобай Г.А. Геометрические характеристики пневматического упругого элемента рессорного

подвешивания тепловоза ТУ7. 1986. - Деп. в УкрНИИМТИ
12.07.86, № 1690 - Ук86. - 3 с.

II. Адамевский В.М., Куценко С.М., Чернобай Г.А. Определение оптимальных параметров демпфирования пневмоподвешивания узкоколейных лесовозных тепловозов ТУ7. 1986. - Деп. в УкрНИИМТИ 12.07.86, № 1691 - Ук86. - 4 с.

12. Рубан А.Н., Чернобай Г.А. Некоторые особенности применения квазистационарного метода при расчете термодинамических процессов в системе пневматического рессорного подвешивания. - Конструирование и пр-во трасп.машин. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. - Харьков: Вища школа, 1987, вып.19, с.41-43.

~~12.07.86~~

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

Чернобай Геннадий Александрович

**" Пространственные колебания локомотива
с пневмоэластическим рессорным подвешиванием
на нормальноупругом пути "**

**05.22.07 – Подвижной состав железных
дорог и тяга поездов**

Подписано к печати 18.08.88. БТ 70199. формат 60х84 1/16
Бумага для множительных аппаратов.Ротапринт. Усл. печ. л. I.
Уч.-изд. л. I. Тираж 100 экз. Заказ 1105. Бесплатно.

Учеток оперативной полиграфии ДИИТа.
320700, ГСП, Днепропетровск, 10,
ул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.

Сканировала Камякская Н.А.