

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И СВЯЗИ УКРАИНЫ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА
В. ЛАЗАРЯНА

На правах рукописи

Горобец Владимир Леонидович

УДК 629.4.023"4014".001

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕСУРСА
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Специальность: 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
БЛОХИН Е. П.,
научный руководитель Отраслевой научно-исследовательской лаборатории динамики и прочности подвижного состава,
заведующий кафедрой “Строительная механика” ДИИТа.

Днепропетровск – 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	7
ВВЕДЕНИЕ.	9
РАЗДЕЛ 1	
СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ВЫНОСЛИВОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	20
1.1 Исследования динамической нагруженности транспортных эки- пажей , ..	26
1.2 Понятие поэтапного продления срока службы подвижного состава	28
1.3. Проблема оценки выносливости несущих конструкций подвижно- го состава и его срока службы	30
1.3.1 Основные причины разрушений несущих конструкций подвижно- го состава	31
1.3.2 Концепция оценки и продления срока службы подвижного состава	32
1.3.3 Цели, необходимость и актуальность оценки и продления срока службы подвижного состава	41
Выводы	43
РАЗДЕЛ 2	
РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПРОДЛЕНИЯ ЕГО СРОКА СЛУЖБЫ	45
.	
2.1 Экспериментально - теоретический метод оценки ресурса несу- щих конструкций подвижного состава	46
2.2 Оценки прочности и ресурса несущих конструкций подвижного состава, основанные на критериях воспринятой ими наработки . .	57
2.3 Связь вероятностных параметров характеристик сопротивления усталости несущих конструкций с динамикой их отказов, осно- ванная на критерии воспринятой наработки	92
2.4 Метод оценки коэффициента запаса выносливости и его примене- ние к оценке ресурса несущих конструкций подвижного состава. .	106

Выводы	112
РАЗДЕЛ 3	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ СТЕНДОВЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	114
.	
3.1 Испытания несущих конструкций подвижного состава на действие натурных транспортных вибраций	115
3.1.1 Теоретические основы испытаний узлов и элементов подвижного состава на натурные вибрации	116
3.1.2 Математическая модель системы управления вибрационными стендами для испытаний крупногабаритных изделий на натурные транспортные вибрации	126
3.1.3 Структурная схема системы управления вибрационными стендами для испытаний крупногабаритных изделий	127
3.1.4 Принцип построения системы управления вибрационными стен- дами для испытаний крупногабаритных изделий на натурную виб- рацию	129
3.1.5 Расчетная схема контейнера крупногабаритного груза при его стендовых вибрационных испытаниях	132
3.1.6 Особенности реализации математической модели электрогидрав- лического вибростенда	134
3.1.7 Математическая модель исполнительной части вибрационного комплекса для испытаний крупногабаритных грузов на натурные вибрации	137
3.1.8 Принципы построения цифровой системы управления испытаня- ми крупногабаритного груза на натурные вибрации	140
3.2 Совершенствование методов организации лабораторных стендо- вых испытаний несущих конструкций подвижного состава с ис- пользованием гармонического и блочного нагружения	143
3.2.1 Назначение режимов стендовых вибрационных испытаний несу- щих конструкций подвижного состава с учетом накопления в них усталостных повреждений	143
3.2.2 Выбор параметров эквивалентного гармонического нагружения крупногабаритных конструкций подвижного состава	155

3.2.3	Основы уточненной оценки предела выносливости НК ПС на основе нормативного метода расчета их ресурса	159
	Выводы	162

РАЗДЕЛ 4

КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА		164
4.1	Обоснование эффективности использования косвенных методов оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава	165
4.2	Метод сравнительной оценки остаточного ресурса несущих конструкций путем сопоставления их динамической нагруженности .	166
4.3	Метод сравнительной оценки остаточного ресурса несущих конструкций подвижного состава по состоянию наименее долговечного элемента их конструкции	169
	Выводы	182

РАЗДЕЛ 5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ИХ РЕСУРСА		184
.		
5.1	Экспериментальная оценка нагрузок, действующих на несущие конструкции подвижного состава в эксплуатации	184
5.1.1	Способы формирования опытных сцепов при проведении испытаний для оценки и продления сроков службы их основных несущих конструкций	187
5.1.2	Объемы и приемы измерений динамических нагрузок, действующих на экипажную часть подвижного состава	191
5.2	Повышение достоверности регистрации некоторых динамических процессов при проведении динамических ходовых и прочностных испытаний подвижного состава	203
5.3	Исследование напряженно – деформированного состояния несущих конструкций подвижного состава	210
	Выводы	211

РАЗДЕЛ 6

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ, ВЫНОСЛИВОСТИ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	212
.	
6.1 Исследования прочности и ресурса несущих конструкций по- движного состава с использованием косвенных методов их оценки	213
.	
6.1.1 Оценка остаточного ресурса основных несущих конструкций электропоездов ЭР9М, ЭР9Е	214
6.1.2 Обоснование и некоторые результаты применения метода оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава по состоянию их наименее долговечного элемента	218
6.2 Воспроизведение натурных импульсных воздействий на сложную податливую механическую конструкцию	230
6.3 Оценка остаточного ресурса подвижного состава эксперименталь- но - теоретическими методами	234
6.3.1 Выбор частоты гармонического нагружения кузова пассажирского вагона открытого типа	235
6.3.2 Оценка остаточного ресурса рам тележек тепловозов М62, 2М62 .	240
6.3.3 Комплексная оценка ресурса несущих конструкций пассажирских вагонов после проведения их капитально-восстановительного ре- монта	248
6.4 Общая сводка результатов проведения экспериментально теоре- тических исследований по оценке и продлению сроков службы подвижного состава.	258
Выводы	261
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	264
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	268
ПРИЛОЖЕНИЯ	305
ПРИЛОЖЕНИЕ А История проблемы выносливости машиностроитель- ных конструкций	307
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Нормативная база расчетов на выносливость и ресурс	311
ПРИЛОЖЕНИЕ В Модели сопротивления усталости, методы оценки ре-	

сурса и срока службы несущих конструкций	318
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Влияние механических характеристик, технологических и эксплуатационных факторов на выносливость несущих конструкций	345
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Описание работ по исследованию и обеспечению и повышению выносливости металлоконструкций	368
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Методы диагностики состояния несущих конструкций и мониторинговые системы	373
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Классификация причин разрушений несущих конструкций подвижного состава	379
.	
ПРИЛОЖЕНИЕ З Технико-экономическое обоснование необходимости продления срока службы подвижного состава	389
ПРИЛОЖЕНИЕ И Общий обзор методов экспериментальной оценки выносливости несущих конструкций	400
ПРИЛОЖЕНИЕ К Обзор характеристик вибрационных стендов, используемых для организации стендовых вибрационных испытаний	409
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Применимость требований Норм расчета на прочность несущих конструкций подвижного состава при проведении работ по продлению его срока службы	425
ПРИЛОЖЕНИЕ М Исследование напряженно – деформированного состояния несущих конструкций подвижного состава	448
ПРИЛОЖЕНИЕ Н Оценка остаточного ресурса основных несущих конструкций электропоездов ЭР9М, ЭР9Е	487
.	
ПРИЛОЖЕНИЕ О Общее писание испытаний по оценке остаточного ресурса рам тележек тепловозов М62, 2М62	496
ПРИЛОЖЕНИЕ П Общее описание испытаний по комплексной оценке ресурса несущих конструкций пассажирских вагонов после проведения их капитально-восстановительного ремонта	505
ПРИЛОЖЕНИЕ Р. Акты внедрения результатов диссертационной работы	514

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

НК -	несущая конструкция;
ПС -	подвижной состав;
ТПС -	тяговый подвижной состав;
ТУ -	технические условия;
ЭВМ -	электронная вычислительная машина;
ПЭВМ –	персональная ЭВМ;
НИР -	научно-исследовательская работа;
СНиП -	строительные нормы и правила;
НВ -	твердость по Бринелю;
АЭ -	акустической эмиссии (метод);
ПОНАБ -	пост обнаружения нагрева букс;
КРП -	капитальный ремонт с продлением срока службы;
ТР -	текущий (деповской) ремонт;
КР -	капитальный (заводской) ремонт;
ТЭД -	тяговый электродвигатель;
ПЛ -	парк локомотивов;
ЭДВ -	электродинамический вибростенд;
ЭГВ -	электрогидравлический вибростенд;
АЧХ -	амплитудно-частотная характеристика;
МКЭ -	метод конечных элементов;
НДС -	напряженно – деформированное состояние;
ПФ -	передаточная функция;
ВС -	вибрационный стенд;
БК -	блок коррекции передаточной функции;
УСО -	устройство связи с объектом;
ЦКФ -	цифровой корректирующий фильтр;
БЗН -	блок задания неровностей;

ММТ -	математическая модель транспортного средства (транспортера);
ЦСУ -	цифровая система управления вибростендами;
АЦП -	аналого – цифровой преобразователь;
ЦАП -	цифро – аналоговый преобразователь;
СУВ -	система управления вибростендами;
ОИ -	объект испытаний;
БФ -	блок фильтров;
БД -	блок датчиков;
СВИ -	стендовые вибрационные испытания;
ЦФ -	целевая функция;
МВПС -	моторвагонный подвижной состав;
СЭ -	«слабый» элемент несущей конструкции;
СВ -	силовозбудитель;
РФ -	Российская федерация;
ВНИИЖТ -	Всероссийский научно – исследовательский институт железнодорожного транспорта;
КД -	конструкторская документация;
СКО -	среднеквадратичное отклонение.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения ресурса несущих конструкций (НК), в том числе, остаточного, является одной из приоритетных научных проблем, как в Украине, так и во всем мире. Это объясняется тем, что конструкции, назначенный срок службы которых исчерпан, должны быть исключены из эксплуатации [73], в то время как их дальнейшее использование в ряде случаев позволяет получить существенный экономический эффект. Это тем более привлекательно в условиях действия рыночных механизмов экономики, хотя не следует забывать, что продление общего срока службы несущих конструкций должно быть четко и всесторонне научно обосновано.

Работы по продлению срока службы в области железнодорожного транспорта Украины проводятся согласно Программе продления срока службы тягового подвижного состава (ТПС), принятой Государственной администрацией железнодорожного транспорта Украины (Укрзализница, УЗ) в 1998 году. Важность проведения исследований, связанных с оценкой и продлением сроков службы подвижного состава (ПС), неоднократно подчеркивалась руководством УЗ.

Исследования, связанные с совершенствованием методов оценки и обеспечения необходимого ресурса несущих конструкций ПС особенно актуальны, так как работа железнодорожного транспорта постоянно связана с массовыми пассажирскими перевозками, перевозками в межобластном и пригородном сообщении, транспортировкой грузов, в т.ч. опасных и крупногабаритных. При этом безопасность движения в области железнодорожного транспорта является основным принципом его работы [159].

В настоящее время на железных дорогах Украины эксплуатируется более 5000 единиц тягового подвижного состава, включая электровагоны, тепловозы, электро- и дизель-поезда. Значительная его часть исчерпала назначенный срок службы [228]. С учетом того, что в Украине эксплуатируются, в основном, электровагоны, дизель-, электропоезда (Россия, Латвия, Венгрия, Чехия) и пассажирские вагоны иностранного производства (Россия, Германия, Польша), а также с

учетом медленных темпов освоения производства нового подвижного состава отечественной промышленностью, целесообразно продлить эксплуатацию подвижного состава, который имеет достаточный для этого остаточный ресурс основных несущих конструкций, или его можно увеличить путем проведения организационных и ремонтных мероприятий, внедрения передовых материалов и технологий.

Решение проблемы оценки ресурса (в том числе, остаточного) несущих конструкций подвижного состава основывается на проведении научно – исследовательских работ с применением комплексных экспериментально - теоретических методов.

Подвижной состав, находящийся длительное время в эксплуатации, подвергается естественному износу, старению элементов, влиянию эксплуатационных нагрузок и окружающей среды. Отклонения его параметров от проектных также влияют и на его ресурс. Поэтому в сочетании с назначением новых сроков службы ПС, выполняются программы по диагностике и неразрушающему контролю его основных элементов и узлов, которые должны обеспечить индивидуальный периодический контроль их технического состояния.

Ситуация, когда большая часть парка подвижного состава эксплуатируется с превышением назначенного срока службы, заставляет по-новому взглянуть и на проектирование нового, перспективного подвижного состава. Подвижной состав должен быть изначально спроектирован и построен с учетом возможности продления сроков эксплуатации, то есть его основные несущие конструкции изначально должны иметь дополнительный ресурс, превышающий ресурс конструкции в целом. При этом желательно обеспечить максимальную унификацию и ремонтпригодность элементов и узлов подвижного состава, провести комплексную оценку ресурса основных несущих конструкций уже на этапе разработки технического задания и постройки опытных экземпляров с использованием современных расчетных и экспериментальных методов.

Проблема обеспечения сверхнормативной эксплуатации парка подвижного состава Украины должна решаться путем сочетания мероприятий по продлению

сроков службы существующего подвижного состава с постройкой нового, ориентированного на более продолжительные сроки эксплуатации, поэтому работы по продлению сроков службы тягового подвижного состава Украины сопровождались выполнением программ по проведению капитально - восстановительного ремонта электровозов ЧС4, изготовлению отечественных электровозов серий ДЭ1, ДСЗ, электропоездов ДЭЛ и дизель – поездов ДПЛ.

Актуальность темы. Основной функцией железнодорожного транспорта является транспортировка грузов и перевозка пассажиров при безусловном соблюдении требований безопасности движения поездов. Важной частью ее реализации является обеспечение требуемого технического состояния парка подвижного состава и правомерности его безопасной эксплуатации. В настоящее время сложилась ситуация, когда значительная часть основных видов подвижного состава железных дорог Украины (тягового, моторвагонного, вагонов) эксплуатируется с превышением назначенного срока службы. Полная замена парка подвижного состава новыми, прогрессивными конструкциями требует времени на их разработку, изготовление и освоение, перестройку ремонтной и эксплуатационной базы, и, как следствие, существенных капитальных вложений.

В связи с этим возникает проблема развития экспериментальных и теоретических методов оценки возможности эксплуатации подвижного состава, который исчерпал назначенный срок службы. Применение таких методов позволяет в ряде случаев обосновать дополнительные резервы его сверхнормативного использования, тем самым, способствуя обеспечению работоспособности отрасли.

Не менее ответственной является задача оценки ресурса на стадии проектирования и отработки конструкций нового подвижного состава в целях обеспечения его безопасной эксплуатации и внедрения долгосрочного планирования обновления локомотивного парка.

Возможность эксплуатации единиц подвижного состава в значительной мере определяется техническим состоянием их основных несущих конструкций - рам тележек и кузовов. Поэтому научно обоснованная оценка ресурса указанных конструкций, связанная с обеспечением их прочности, особенно после дли-

тельного периода эксплуатации, является путем решения рассматриваемой проблемы.

Это обуславливает актуальность диссертационной работы, направленной на развитие комплексных теоретических и экспериментальных методов оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава и научное обоснование возможности продления их срока службы.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа представляет собой составную часть научно - исследовательских работ (НИР) по оценке ресурса НК ПС, которые выполнялись Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна. Работы проводились на основании приказа Генерального директора Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины (Укрзализница) 44-Ц от 17.02.1998 г. и в соответствии с Программой продления срока службы тягового подвижного состава Украины.

Результаты работы использованы при проведении следующих научно – исследовательских работ (НИР):

- «Разработка специализированной системы на базе АВК-32 для моделирования колебаний агрегата 8Т710 и воздействий на объект при его отработке на случай транспортировки с использованием вибростенда «Шенк», № ГР 01850075421.– Днепропетровск, 1987. – 194 с.
- «Розробка рекомендацій по підвищенню терміну експлуатації дизель – поїздів Д1, ДР1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт», № ДР 0199U000049. – Дніпропетровськ, 1999. – 157 с.;
- «Розробка технічного відношення по визначенню залишкового ресурсу рам візків електровозів ЧС4», № ДР 0199U001439 – Дніпропетровськ, 1999. – 62 с.;
- «Дослідження залишкової втомлюваної міцності несучих конструкцій тепловозів М62, 2М62 та розробка заходів по підвищенню строку їх експлуатації», № ДР 0199U001440. – Дніпропетровськ, 2000. – 109 с.;

- «Визначення термінів та умов подовження строку служби кузовів електро-
возів ЧС2 та розробка заходів по забезпеченню їх наднормативної експлуа-
тації», № ДР 0103U005119. – Дніпропетровськ, 2003. – 87 с.;
- «Проведення випробувань кузовів (кабіна, боковини) електровозів ЧС-4,
ЧС-2, виготовлених ЗЕРЗ», № ДР 0103U005120. – Дніпропетровськ, 2003. –
210 с.;
- «Проведення досліджень та підготовка технічних рішень по поетапному по-
довженню терміну служби дизель – поїздів Д1, ДР1 до проведення їх капі-
тально – відновлювального ремонту», № ДР 0103U003336. – Дніпропет-
ровськ, 2003. – 39 с.;
- «Проведення досліджень та підготовка технічних рішень по поетапному по-
довженню терміну служби електропоїздів ЕР1, ЕР2 до проведення їх капі-
тально – відновлювального ремонту», № ДР 0103U003337. – Дніпропет-
ровськ, 2003. – 97 с.;
- «Дослідження з оцінки залишкового ресурсу та можливостей продовження
строку служби основних несучих конструкцій електропоїздів ЕР9Е, ЕР9М»,
№ ДР 0106U006495. – Дніпропетровськ, 2006. – 90 с.;
- «Розробка методики поетапного подовження терміну служби рам візків еле-
ктровозів ЧС4 понад встановлений термін експлуатації без їх заміни», № ДР
0106U006496. – Дніпропетровськ, 2006. – 58 с.

По указанным научно – исследовательским работам автор работы являлся их руководителем (ответственным исполнителем) и автором научно - техниче-
ских отчетов.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является совершен-
ствование методов комплексной экспериментально - теоретической оценки ха-
рактеристик выносливости и ресурса несущих конструкций подвижного состава
и научное обоснование его сверхнормативной эксплуатации.

Для достижения этой цели поставлены следующие *задачи*: выполнить ана-
лиз причин усталостных разрушений основных несущих конструкций подвижно-
го состава в эксплуатации; разработать и усовершенствовать методы оценки вы-

носливости и ресурса металлоконструкций подвижного состава; усовершенствовать методы комплексной теоретической и экспериментальной оценки характеристик сопротивления усталости несущих конструкций подвижного состава, в том числе, косвенные методы; разработать математическое описание вибрационных систем для испытания несущих конструкций подвижного состава на натурные транспортные вибрации; разработать научно - методологические основы создания системы единовременного и поэтапного продления срока службы основных несущих конструкций подвижного состава; усовершенствовать методы определения отдельных показателей динамики подвижного состава с целью повышения достоверности их оценок.

Объектом исследования является процесс сопротивления несущих конструкций железнодорожного подвижного состава действию циклических нагрузок.

Предметом исследования являются экспериментально - теоретические методы оценки ресурса и срока службы несущих конструкций подвижного состава железных дорог как меры продолжительности процесса их сопротивления действию циклических нагрузок.

В работе были использованы такие *методы*:

- методы экспериментальной оценки динамической нагруженности несущих конструкций подвижного состава в процессе его эксплуатации для получения количественных оценок указанной нагруженности и выявления причин, которые вызывают разрушение отдельных элементов несущих конструкций подвижного состава;
- методы теории вероятности и математической статистики для оценки статистических характеристик предела выносливости несущих конструкций подвижного состава и определения функций распределения параметров циклов переменных напряжений в элементах несущих конструкций в процессе испытаний и эксплуатации подвижного состава;
- метод конечных элементов (МКЭ) для оценки напряженно - деформированного состояния несущих конструкций подвижного состава;

- методы механики твердого тела для оценки остаточного ресурса несущих конструкций подвижного состава;
- методы высшей математики и сопротивления материалов для совершенствования моделей сопротивления усталости с целью оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава и разработки косвенных методов оценки их остаточного ресурса;
- методы адаптивного управления и вычислительной математики для разработки математического описания системы испытаний несущих конструкций на действие натуральных транспортных вибраций.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Впервые получено:

- теоретическое обоснование методов выбора режимов проведения стендовых вибрационных испытаний несущих конструкций подвижного состава (в том числе, крупногабаритных податливых объектов), которые обеспечивают линейное накопление повреждений в конструкции при ее блочном нагружении с нарастанием его амплитуды, а для крупногабаритных конструкций разрешают получать близкое к эксплуатационному соотношению наработок основных несущих элементов;
- научное обоснование методов оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава косвенными методами, позволяющих существенно сократить объемы экспериментальных исследований за счет использования статистических показателей отказов элементов несущих конструкций, результатов предыдущих исследований по оценке динамики, прочности и ресурса несущих конструкций - аналогов исследуемых конструкций;
- создание научно - методической базы проведения комплексных работ оценке ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава различных серий, которая характеризуется объединением существующих нормативных требований к новому подвижному

составу, а также объемов и методов выполнения теоретических и экспериментальных работ по оценке нагруженности, прочности, выносливости и остаточного ресурса основных несущих конструкций.

Получили дальнейшее развитие:

- экспериментально - теоретический метод проведения комплекса работ по оценке выносливости и ресурса основных несущих конструкций подвижного состава, который является обобщением существующего опыта проведения соответствующих исследований;
- математические модели сопротивления усталости, основанные на принципе оценки полученной конструкциями наработки, применительно к несущим конструкциям железнодорожного подвижного состава, сочетающие достоинства существующих подходов к оценке выносливости несущих конструкций, принятых в области железнодорожного транспорта.

Усовершенствованы:

- теоретические основы создания стендовых вибрационных систем для испытаний несущих конструкций подвижного состава на натурные эксплуатационные вибрации, в том числе, объектов большого веса, отличающиеся от существующих методов применением предварительной коррекции (предыскажения) воспроизводимых нагрузок, осуществляемое по результатам кратковременных тестовых нагружений объектов испытаний;
- метод оценки коэффициента запаса прочности с учетом экспериментальных распределений параметров циклов нагружения несущих конструкций, отличающийся учетом направления фактического отклонения параметров циклов нагружения от состояния равновесия конструкции.

Практическое значение полученных результатов состоит в следующем:

- основные разработанные в диссертации теоретические положения применены при выполнении комплексных работ по продлению срока

службы подвижного состава железных дорог Укрзализниці, Российских железных дорог (пассажирские вагоны) и подвижного состава промышленных предприятий для следующих серий подвижного состава железных дорог:

- моторные, головные и прицепные вагоны электропоездов ЭР1, ЭР2, ЭР9П, ЭР9Е, ЭР9М;
 - моторные, головные и прицепные вагоны дизель - поездов Д1, ДР1А;
 - несущие конструкции (рамы тележек и рамы кузовов) магистральных электровозов ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8 (два последних - с точки зрения прочности шкворневых балок), ВЛ8;
 - несущие конструкции (рамы тележек и рамы кузовов) магистральных тепловозов М62, 2М62, 2ТЭ10;
 - несущие конструкции (рамы тележек, надрессорные балки и кузова) пассажирских вагонов после проведения капитально - восстановительного ремонта на ОАО «Днепровагонремстрой»;
 - несущие конструкции (рамы тележек и рамы кузовов) маневровых тепловозов ТГМ6А.
- результаты работ внедрены при разработке нормативной документации по продлению срока службы локомотивов и моторвагонного подвижного состава (Акты о внедрении результатов работ по Укрзализниці от 24.04.08 г., Проектно - конструкторского бюро Главного управления локомотивного хозяйства Укрзализниці (ПКТБ ЦТ) от 28.05.08 г., Государственного конструкторского бюро «Южное» от 20.06.08 г., Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна от 10.07.08 г.)

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты, приведенные в работе, получены автором самостоятельно. Эти результаты опубликованы в работах [39, 40, 44, 45, 47, 49, 51]. В публикациях, опубликованных в соавторстве, автору работы принадлежит:

- разработка метода воспроизведения вибраций элементов подвижного состава в части обеспечения физической реализуемости алгоритма [13];
- выбор и обоснование режимов нагружения несущих конструкций подвижного состава при проведении их стендовых вибрационных испытаний [48, 53];
- разработка метода оценки уровня равномерной коррозии несущих конструкций [50];
- участие в разработке концепции продления срока службы тягового подвижного состава [52, 125, 163];
- разработка методики и анализ результатов циклического нагружения рам тележек в части контроля накопления их остаточных прогибов [14];
- разработка специфических методик проведения и программ обработки результатов динамических прочностных испытаний подвижного состава с целью оценки ресурса его основных несущих конструкций [33, 55, 155];
- сравнительный анализ существующих методик оценки ресурса несущих конструкций [24];
- разработка модели выносливости материалов и конструкций с учетом изменения их свойств в процессе нагружения [43];
- методическое обоснование и практическое выполнение расчетной части результатов по оценке ресурса несущих конструкций пассажирских вагонов [102, 103];
- сравнительный анализ моделей выносливости с целью оценки правомерности применения принципа снижения предела выносливости несущих конструкций в процессе полученной ими наработки [137];
- разработка и согласование методики и алгоритмов поэтапного продления сроков службы несущих конструкций [11];
- научное обоснование применения методов оценки показателей прочности, выносливости и ресурса несущих конструкций косвенными методами [17];

- анализ динамической нагруженности маневрового тепловоза ТГМ6А в части пригодности экспериментальных данных для применения методов косвенной оценки ресурса кузова локомотива [233];
- разработка метода сравнения динамической нагруженности несущих конструкций при оценке их выносливости и ресурса косвенными методами [23].

Апробация результатов диссертации. Основные идеи, положения и результаты работы обнародованы и обсуждены на Международных конференциях: ЮЖЕЛ'98 (г. Белград, 1998 г.); Проблемы механики железнодорожного транспорта. (Днепропетровск, 2000 р, 2004 г.); Ресурс 2000. Оценка и обоснования продолжения ресурса элементов конструкций" (г. Киев, 2000г.); Проблемы и перспективы развития транспортных систем: Техника, технология, экономика и управления. (Киев: КУЕТТ, 2003 г., 2005 г.); Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном транспорте (АР Крым: Алушта: ДНУЖТ - Днепротехтранс, 2006 р, 2007г., 2008 г.); на межкафедральном семинаре кафедр „Строительная механика”, „Вагоны”, „Теоретическая механика”, „Путь и путевое хозяйство”, „Высшая математика”, „Локомотивы”, „Энергоснабжение железных дорог”, „Прикладная механика” с участием представителей Отраслевой научно - исследовательской лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа, Института подвижного состава, пути и транспортных сооружений, Института технической механики НАН Украины и НКА Украины, Института ТСТ (ІТСТ) „Трансмаг” НАН Украины 14.05.2009 г.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 40 научных публикациях, в том числе в 27 научных статьях, опубликованных в издательствах, утвержденных ВАК Украины (из них 7 – без соавторов) и 13 тезисах докладов международных конференций.